



DIPLOMARBEIT

MASTER THESIS

Baubetriebliche Aspekte bei absorberbelegten Bauteilen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Betreuer: O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl
und als verantwortlich mitwirkend

Dipl.-Ing. Lukas Steinschaden

E234

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Verfasser: **Christoph Unterköfler**

0625714

Hervicusgasse 4/4/7, 1120 Wien

Wien, im März 2014

Danksagung

Ich möchte den Firmen Enercret und Österreichische Bundesbahnen sowie der Magistratsabteilung 29 danken, für die Bereitstellung eines Großteiles der Informationen und Bildmaterials dieser Arbeit. Insbesondere möchte ich Herrn Ing. Bayer (Gesamtleitung Technik) und Frau Dipl.-Ing. Oles (Beratung, Simulation) von der Firma Enercret, Herrn Dipl.-Ing. Wichra (örtlicher Bauleiter des Hauptbahnhofes Wien) und Herrn Dipl.-Ing. Meszner (Projektleitung des Hauptbahnhofes Wien) von den Österreichischen Bundesbahnen und Frau OSt-Br. Mag. Dr. Jaweckı von der Magistratsabteilung 29 (Leiterin Gruppe Geologie und Baugrundinformation) dafür danken, dass Sie sich die Zeit genommen haben, all meine Fragen umfassend zu beantworten. Ohne diese ausführlichen Gespräche wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Ich möchte außerdem O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Jodl und seinem Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement danken, für die Möglichkeit meine Abschlussarbeit in einem sehr interessanten Gebiet zu schreiben. Ein besonderer Dank geht auch an Herrn Dipl.-Ing. Steinschaden, der mir beim Verfassen dieser Arbeit wegweisend zur Seite gestanden ist.

Ein herzlicher Dank geht auch an meine Eltern Dipl.-Ing. Maria Unterköfler und Dipl.-Ing. Werner Unterköfler, die mich nicht nur während der Diplomarbeit, sondern während meines gesamten Studiums unterstützt haben.

Kurzfassung

Aufgrund der steigenden Energiepreise werden alternative Energiequellen immer attraktiver. Neben anderen Energiegewinnungsmethoden, wie Solar- oder Windkraft, ist auch die Nutzung geothermischer Energie von immer größerem Interesse.

Die mittels geothermischer Anlagen gewonnene Energie kann zum Heizen als auch zum Kühlen von Gebäuden verwendet werden und stellt eine Alternative zu den erdöl- und stromgebundenen Heiz- und Kühlsystemen dar. Im Zuge dieser Arbeit wird die Herstellung von geothermischen Anlagen erläutert. Neben den rechtlichen Rahmenbedingungen zeigt die Arbeit vor allem den Herstellungsprozess auf der Baustelle. Für den geothermischen Energieentzug aus dem Untergrund werden in den Bauteilen Leitungssysteme verlegt. In diesen fließt eine Flüssigkeit, welche die Energie aus dem Untergrund zur Wärmepumpe oder Kältemaschine transportiert. Um diese Leitungssysteme in den Bauteilen zu verlegen ist der Herstellungsprozess der Bauteile anzupassen. Dieser wird für die verschiedenen Bauteile in der vorliegenden Arbeit beschrieben.

Der Herstellungsprozess der Bauteile enthält Schadensrisiken für die bereits verlegten Leitungssysteme. Da eine Beschädigung der Rohre in den meisten Fällen zum Ausfall des gesamten Kreislaufs führt, sind diese zu vermeiden. Diese Arbeit erläutert häufig auftretende Schadensfälle und gibt Maßnahmen zu deren Vermeidung an. Weiters sind die vorgeschriebenen Qualitätsprüfungen, welche zum Erkennen von Schäden an den Leitungen dienen beschrieben.

Abschließend werden in der Arbeit bereits durchgeführte und zur Zeit in Durchführung befindliche Bauwerke, welche geothermische Energie nutzen beschrieben. Diese sollen zeigen, dass solche Systeme ohne großen finanziellen und baubetrieblichen Aufwand in den Baustellenablauf integriert werden können.

Abstract

Due to increasing energy prices alternative sources for energy are becoming more and more attractive. Next to other sources like solar power or wind power, geothermal energy is becoming of greater interest.

Energy generated with geothermal systems can be used for either heating or cooling and is a good alternative to heating or cooling systems which use heating oil or electricity. In the course of this thesis the construction of geothermal systems is explained. Apart from the legal regulations, this thesis elaborates particularly on the working steps at the construction site for such a system. Pipes are placed into components to generate geothermal energy from the ground. These pipes are filled with fluid which transports the energy from the ground to the heating pump or the cooling unit. In order to place these pipes into the components, their manufacturing process has to be adapted. This manufacturing process is described in this thesis.

The manufacturing process of the components bears risks of damaging the already existing pipes. Damage has to be avoided because defect of one pipe leads in most cases to failure of the entire circulation. This thesis describes frequent cases of damage and methods to avoid them. Furthermore, the obligatory quality test is explained, which helps to detect damage of the pipes.

In conclusion, buildings and structures, which are using geothermal energy, are described. They should demonstrate that these systems can be easily integrated in the construction process without any exceptional financial or technical efforts.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	Aufbau der Diplomarbeit	1
2	Grundlagen der Geothermie	3
2.1	Tiefe Geothermie	5
2.1.1	Hydrothermale Systeme	6
2.1.2	Petrothermale Systeme	7
2.2	Oberflächennahe Geothermie	8
2.2.1	Funktionsprinzip der oberflächennahen Geothermie	8
2.2.2	Systeme der oberflächennahen Geothermie	12
3	Recht	19
3.1	Deutsches Recht	19
3.1.1	Bundesberggesetz (BBergG)	19
3.1.2	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	20
3.1.3	VDI 4640	21
3.2	Österreichisches Recht	22
3.2.1	Wasserrechtsgesetz (WRG)	22
3.2.2	ÖWAV-Regelblatt 207	25
4	Errichtung einer geothermischen Anlage	26
4.1	Baustelleneinrichtung für den Einbau von Wärmeträgern	27
4.1.1	Lagerplätze	27
4.1.2	Geräte	28
4.2	Rohrmaterial	33
4.2.1	Mindestbiegeradien	35
4.2.2	HD-PE-Rohr Schweißen	36
4.3	Bodenplatte	39
4.3.1	Ablauf des Einbaus	41

Inhaltsverzeichnis

4.3.2	Besonderheiten	44
4.4	Energiepfahl	45
4.4.1	Ablauf des Einbaus - Ortbetonpfahl	48
4.4.2	Ablauf des Einbaus - Schnecken-Ortbetonpfahl	52
4.4.3	Ablauf des Einbaus - Beton- und Stahlbeton-Fertigrammpfahl	53
4.4.4	Ablauf des Einbaus - Hohlpfahl	54
4.5	Schlitzwand	55
4.5.1	Ablauf des Einbaus	56
4.5.2	Besonderheiten	58
4.6	Energietunnel	60
4.6.1	Ablauf des Einbaus - Energievlies	61
4.6.2	Ablauf des Einbaus - Energieanker	62
4.6.3	Ablauf des Einbaus - Energietübbinge	64
4.7	Horizontale Anschlussarbeiten	66
4.8	Befüllen und Spülen	70
5	Qualitätskontrolle	72
5.1	Druckprüfung	73
5.2	Durchflussprüfung	76
6	Schäden und Vermeidung	77
6.1	Schäden beim Lagern	77
6.1.1	UV-Strahlung	77
6.1.2	Regen + Sonne	78
6.2	Schäden beim Einbau	79
6.2.1	Temperaturwechsel	79
6.2.2	Spiralförmige Belegung bei verrohrten Bohrpfählen	80
6.2.3	Instabiler Bewehrungskorb bei SOB-Pfählen	82
6.3	Schäden nach der Fertigstellung	83
6.3.1	Anbohren der HD-PE-Rohre	83
7	Beispielprojekte	85
7.1	Hauptbahnhof - Wien	85
7.1.1	Allgemeines	85
7.1.2	Geothermie	86

Inhaltsverzeichnis

7.2	Strabag Konzernzentrale - Wien	87
7.2.1	Allgemeines	87
7.2.2	Geothermie	87
7.3	Columbus Center - Wien	89
7.3.1	Allgemeines	89
7.3.2	Geothermie	90
7.4	U-Bahnstation U2/3 Praterstern - Wien	91
7.4.1	Allgemeines	91
7.4.2	Geothermie	92
8	Zusammenfassung	93
	Literaturverzeichnis	97
	Abbildungsverzeichnis	99
	Tabellenverzeichnis	101

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft
BBergG	Bundesberggesetz
bzw.	beziehungsweise
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ca.	circa
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
HD-PE	High Density Polyethylen
HW-Schwinge	Hochstrasser-Weise-Schwinge
IBO-Selbstbohranker	Injektionsbohr-Selbstbohranker
Kfz	Kraftfahrzeug
LD-PE	Low Density Polyethylen
Lkw	Lastkraftwagen
MA	Magistratsabteilung
max.	maximal
mind.	mindestens
NÖT	Neue Österreichische Tunnelbaumethode
Nr.	Nummer
PB	Polybutylen
PBT	Polybutylenterephthalat
PE	Polyethylen
PN	Nominal Pressure
PP	Polypropylen

Inhaltsverzeichnis

PP-H	Polypropylen Homopolymer
PVC-U	Polyvinylchlorid unplasticized
ÖBA	Örtliche Bauaufsicht
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
OK	Oberkante
ÖNORM	Österreichische Norm
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
S.	Seite
S-Bahn	Schnellbahn
SDR	Standard Dimension Ratio
SOB-Pfahl	Schnecken-Ortbetonpfahl
UK	Unterkante
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WP	Wärmepumpe
WRG	Wasserrechtsgesetz
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Die Geothermie und deren energetische Nutzung ist aufgrund der steigenden Energiepreise immer mehr von Interesse. Aufgrund dessen werden bereits in vielen Bauwerken Bauteile zur geothermischen Nutzung herangezogen. Trotzdem gibt es kaum Literatur, welche sich mit der Herstellung von geothermisch aktivierten Bauteilen beschäftigt.

Diese Arbeit soll eine Hilfestellung bei der Errichtung geothermischer Anlagen darstellen. Im Speziellen sollen die möglichen Bauteile, welche sich zur energetischen Nutzung eignen aufgezählt werden und deren Herstellungsprozess in Verbindung mit der geothermischen Aktivierung beschrieben werden. Die Arbeit behandelt den Einbau der dafür notwendigen Rohrleitungen sowohl in den verschiedenen Bauteilen als auch deren Weiterführung bis zur Wärmepumpe. Weiters werden mögliche Schäden und deren Vermeidung beschrieben.

1.2 Aufbau der Diplomarbeit

Die vorliegende Arbeit gibt anfangs einen Überblick über die Grundlagen der Geothermie. Es wird die Entstehung der vorhandenen Wärme in unserem Planeten als auch deren Wärmetransport in der Erdkruste beschrieben. Anschließend wird die Unterscheidung zwischen tiefer und oberflächennaher Geothermie erläutert. Das Hauptaugenmerk wird in dieser Arbeit auf die oberflächennahe Geothermie gelegt. Die möglichen Nutzungsmethoden wie der reine Heiz- und Kältebetrieb sowie die hauptsächlich angewandte Kombination des Heiz-Kühlbetriebs werden beschrieben.

In Kapitel 3 werden die rechtlich notwendigen Schritte zur Genehmigung einer geothermischen Anlage und deren Errichtung beschrieben. Da sich das ÖWAV-Regelblatt des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes zur Herstellung und Bemessung dieser Anlagen auf die deutsche Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure stützt, wird sowohl auf die deutschen als auch auf die österreichischen Regelungen eingegangen.

1 Einleitung

Der Hauptteil dieser Arbeit ist der Herstellung von absorberbelegten Bauteilen auf der Baustelle gewidmet. Dafür ist es notwendig die benötigte Baustelleneinrichtung sowie das verwendete Material der Rohre und deren Eigenschaften zu beschreiben. Anschließend werden die Herstellungsprozesse der Bauteile, welche mit Leitungen belegt werden, beschrieben. Sowohl die im Tiefbau als auch im Tunnelbau verwendeten Bauteile sind hier aufgeführt. Die horizontalen Anschlüsse, welche die Bauteile mit der Wärmepumpe verbinden, werden im Anschluss erläutert.

Im Kapitel 5 sind die nötigen Qualitätsprüfungen, welche an den verlegten Rohrleitungen durchzuführen sind, beschrieben. Hierbei handelt es sich um die Druck- und Durchflussprüfung.

Das Kapitel 6 beschäftigt sich mit häufig auftretenden Schadensfällen welche sowohl bei der Lagerung der Rohre, bei deren Einbau und nach deren Fertigstellung auftreten können. Weiters werden hier Hinweise zu deren Vermeidung gegeben.

In Kapitel 7 werden durchgeführte oder momentan in Durchführung befindliche Bauwerke beschrieben.

Abschließend werden in Kapitel 8 die Vor- und Nachteile, welche sich aus den Herstellungsprozessen der absorberbelegten Bauteile ergeben zusammengefasst. Ebenso werden Aufwandswerte für die Belegung sowie Preise der belegten Bauteile angegeben. Weiters sind die möglichen Schadensfälle, welche bei absorberbelegten Bauteilen auftreten können in einer Tabelle zusammengefasst.

2 Grundlagen der Geothermie

Geothermie, oft auch Erdwärme genannt, ist die in der Erdkruste gespeicherte Energie in Form von Wärme. Eine weitere Definition für den Begriff der Geothermie wäre: „Wärme unterhalb der Oberfläche der festen Erde“¹. Die in unserem Planeten gespeicherte Wärme stammt einerseits aus der Restwärme des Entstehungsprozesses der Erde und andererseits aus radioaktiven Zerfallsprozessen.²

- **Restwärme:** Die Erde ist vor etwa 4,5 Milliarden Jahren durch Akkretion entstanden. Akkretion beschreibt den Prozess bei dem sich unter anderem Staub, Gas und Gestein verdichten und durch die Anziehungskräfte untereinander, durch Gravitationskräfte, einen Himmelskörper bilden. Beim Zusammenstoß der einzelnen Teile wird die Gravitationsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Dieser Vorgang dauerte etwa 200 Millionen Jahre. Zusätzliche Energie wurde der noch jungen Erde durch den Zusammenstoß mit einem Meteoriten zugefügt. Nach der Kollisionstheorie entstand infolge dessen der Mond. Der Großteil dieser Wärmeenergie wurde an den Weltraum abgegeben, aber ein Teil blieb auf Grund der geringen Wärmeleitfähigkeit der Gesteine, etwa zwischen 2-5 W/mK, bis heute im Planeten gespeichert. Die Restwärme stellt ca. ein Viertel der gesamten gespeicherten Wärme der Erde dar.
- **Radioaktive Zerfallsprozesse:** Langlebige radioaktive Isotope, wie beispielsweise Uran, Thorium und Kalium, befinden sich in den Kristallgittern von Mineralien. In Granit sind diese zum Beispiel in Feldspäten und Glimmern enthalten. Durch den natürlichen Zerfall dieser Isotope entsteht Energie die in Form von Wärme freigesetzt wird. Die Menge der entstandenen Wärme entspricht etwa drei Viertel der gespeicherten Wärme der gesamten Erde.

Der Wärmetransport innerhalb der Erde erfolgt entweder über die Konduktion, das ist der Wärmestrom in Feststoffen oder die Konvektion, das ist der Wärmestrom in flüssigen oder

¹Bußmann: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde (2011), S.13

²vgl. Bußmann: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde (2011), S.11-15

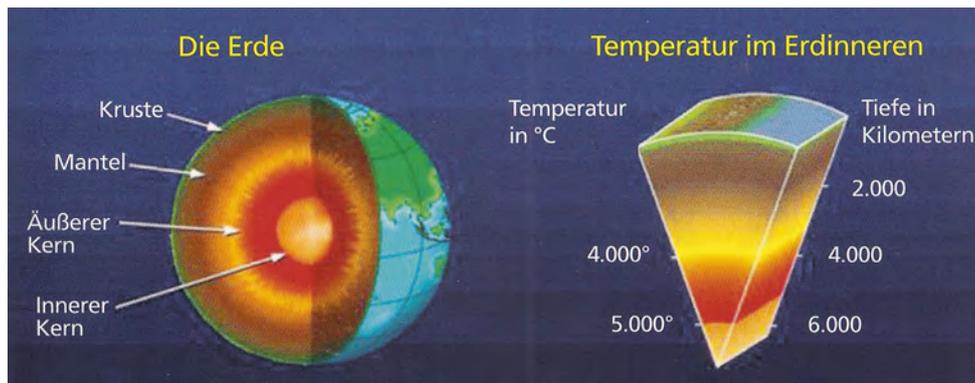


Abbildung 2.1: Links: Schnitt der Erde, Rechts: Temperaturverlauf vom Mittelpunkt zur Kruste³

gasförmigen Teilchen:⁴

- **Konduktion:** Die Wärmeleitung die in den Feststoffen, das sind die Gesteine der Kruste, stattfindet ist die Konduktion. In Abbildung 2.1 ist der Temperaturverlauf vom Erdkern bis zur Kruste dargestellt. Schätzungen zufolge beträgt die Temperatur im Erdkern zwischen 4.000 und 6.000 °C. Die Temperatur des die Erde umgebenden Weltalls entspricht etwa dem absoluten Nullpunkt von -273,15 °C. Da nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik Wärme immer in Richtung der geringeren Temperatur fließt, fließt im Falle der Erde die Temperatur vom Erdkern über die Kruste ins Weltall. Die Wärmeleitung ist maßgeblich von der Wärmeleitfähigkeit λ des durchströmten Gesteins abhängig. Die Wärmeleitung wird durch die Wärmestromdichte q dargestellt und errechnet sich wie folgt:

$$q = Q/A = \lambda * \Delta T / \Delta z \quad (2.1)$$

q ... Wärmestromdichte [W/m²]

Q ... Wärmestrom [W]

A ... durchströmte Fläche [m²]

λ ... Wärmeleitfähigkeit des Gesteins [W/mK]

ΔT ... Temperaturdifferenz zwischen den betrachteten Punkten [K]

Δz ... Mächtigkeit des durchströmten Körpers [m]

- **Konvektion:** Wärme kann neben der Leitung durch Feststoffe auch durch Flüssigkeiten und Gase transportiert werden. Dieser Wärmetransport wird Konvektion genannt. Hierbei handelt es sich um erwärmte Flüssigkeiten oder Gase, welche die Wärme transportieren. Im Falle der Erde handelt es sich hierbei um Tiefengewässer oder unterirdisch entstandene Gase, welche aufgrund der erhöhten Umgebungstemperatur selbst ein höheres

³Bußmann: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde (2011), S.11

⁴vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.16-31

Temperaturniveau als Gewässer oder Gase an der Oberfläche besitzen. Diese strömen durch Kluftsysteme oder durchlässige Gesteinsschichten und transportieren so die Wärme auch zu kälteren Schichten der Kruste. Durch Anbohren solcher Kluftsysteme kann die in der Flüssigkeit oder im Gas transportierte Wärme genutzt werden.

Im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energiegewinnungsmethoden, wie Solarenergie oder Windkraft, steht der oben angeführte Energiefluss konstant zur Verfügung. Andere Methoden sind abhängig vom Klima, vom Wetter sowie auch von der Jahreszeit und von der Tageszeit. Erdwärme steht immer im gleichen Ausmaß zur Verfügung, da die Wärme ihren Weg in Richtung Weltraum folgt. Wird bei einer Bohrung, welche durch geothermische Nutzung Energie gewinnt, mehr Wärme entzogen als durch den konstanten Wärmefluss nachgeliefert werden kann, so bildet sich hier eine Wärmesenke. Das heißt, dass an dieser Stelle der Untergrund stationär abkühlt und die Leistung der Energiegewinnungsanlage sinkt. Die Wärmesenke *füllt* sich wieder, wenn weniger Wärme als der konstante Wärmefluss nachliefert entzogen wird.⁵

Entsprechend dem Energieerhaltungssatzes bleibt die Energie während ihres Transportes erhalten und kann an der Oberfläche vom Mensch genutzt werden. Zur Förderung dieser Energie unterscheidet man zwei Gruppen von Systemen:

- **Tiefe Geothermie**
- **Oberflächennahe Geothermie**

Diese Systeme unterscheiden sich hauptsächlich durch die Tiefe der Bohrungen und die vorhandenen Temperaturen in der Erdkruste. Der Unterscheidungspunkt wurde aufgrund der technischen Möglichkeiten der Bohrtechnik auf etwa 400 m festgelegt.⁶

2.1 Tiefe Geothermie

Bei tiefer Geothermie handelt es sich um Systeme, welche die Energie aus Tiefen ab 400 m verwenden. Bei einer Tiefe von mehr als 400 m befinden sich die dort vorgefundenen Temperaturen im Bereich von 20-25 °C. Die tiefe Geothermie strebt allerdings zu höheren Temperaturen von über 60 °C, weshalb meist größere Tiefen, ab 1000 m, benötigt werden. Mit den Bohrungen

⁵vgl. Bußmann: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde (2011), S.11-15

⁶vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.32

wird im Normalfall versucht tektonisch aktive Zonen zu durchbohren, da in diesen Bereichen höhere Temperaturen angetroffen werden.⁷

Die mittels tiefer Geothermie geförderte Energie wird hauptsächlich für die:

- Stromerzeugung und
- die Beheizung von Bauwerken verwendet.

Im Unterschied zur oberflächennahen Geothermie, siehe Kapitel 2.2, ist das vorgefundene Energieniveau deutlich höher. Dies ermöglicht die Stromerzeugung aus der gewonnenen Energie. Man unterscheidet zwei verschiedene Systeme, welche die Förderung der Energie aus großer Tiefe bewerkstelligen. Hierbei handelt es sich um hydrothermale oder petrothermale Systeme.⁸

2.1.1 Hydrothermale Systeme

Hydrothermale Systeme nutzen jene Energie, welche im Grundwasser gespeichert ist. Bei diesen Systemen wird das Wasser selbst als Wärmeleitmedium verwendet, welches nach dem Temperaturentzug wieder dem Grundwasserleiter rückgeführt wird. Das Wasser kann in vulkanisch aktiven Gebieten auch gasförmig als Dampf im Untergrund angetroffen und genutzt werden.⁹

Um diese Art der Förderung nutzen zu können benötigt man Thermalwasservorkommen. Thermalwasser ist Grundwasser, welches in der Tiefe über das umliegende Gestein Wärme aufnimmt und deshalb Wasser mit erhöhtem Temperaturniveau entspricht. Die Vorkommen sind selten, da die Voraussetzung ein hoch permeabler oder stark geklüfteter Untergrund ist, durch welchen das Wasser fließen kann. Weiters ist die Mächtigkeit des Thermalwasserleiters für die Nutzung des Thermalwasservorkommens von Bedeutung. Das Produkt aus Mächtigkeit und Permeabilität nennt man Transmissibilität. Dieser Wert gibt die Geschwindigkeit an, mit der das Wasser einen 1 m breiten, vertikalen Streifen mit der Höhe des verfügbaren Aquifers durchfließt. Dieser Messwert ist für die Leistungsfähigkeit der geothermischen Anlage entscheidend.¹⁰

⁷vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.32

⁸vgl. Bußmann: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde (2011), S.19-22

⁹vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.32

¹⁰vgl. Bußmann: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde (2011), S.51

2.1.2 Petrothermale Systeme

Petrothermale Systeme nutzen die Temperatur des Gesteins. Hier unterscheidet man zwei Systeme:¹¹

- Das erste System besteht aus Erdwärmesonden. Das sind geschlossene Schlauchsysteme die in die Bohrungen eingebracht werden, siehe auch Seite 14, die ca. 2-3 km tief in den Untergrund reichen. Diese Sonden stellen einen geschlossenen Rohrkreislauf dar, in dem eine Flüssigkeit als Wärmeleitmedium zirkuliert. Die kalte Flüssigkeit wird in die Tiefe geleitet, erwärmt sich durch die höhere Temperatur des umgebenden Gesteins und wird anschließend wieder nach oben geführt, wo die geförderte Energie genutzt werden kann.

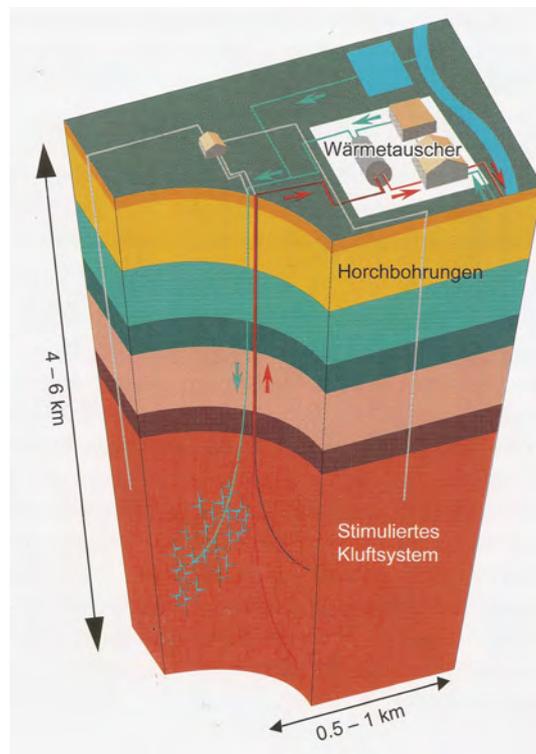


Abbildung 2.2: Hot-Dry-Rock System¹²

- Das zweiten System ist das Hot-Dry-Rock System. Hierbei handelt es sich nicht um ein geschlossenes System sondern um ein offenes. Durch eine Injektionsbohrung, in Abbildung 2.2 blau dargestellt, wird Wasser in die Klüfte des heißen Gesteins geleitet. Das Wasser rinnt entlang der Klüfte und erwärmt sich. Über die sogenannten Produktionsbohrungen, in Abbildung 2.2 rot dargestellt, wird das heiße Wasser dem Untergrund entzogen

¹¹vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.33

¹²Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.33

und kann an der Oberfläche mittels eines Wärmetauschers oder einer Wärmepumpe genutzt werden.

2.2 Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie nutzt die Energie bis in Tiefen von 400 m. In diesem Bereich des Untergrundes trifft man auf Temperaturen von bis zu 25 °C.

Die Hauptaufgabe der oberflächennahen Geothermie ist der Heiz- und der Kühlbetrieb, sowie der Heiz-Kühl-Betrieb für Gebäude, der eine Wechselwirkung von heizen und kühlen darstellt. Dies kann entweder über eine Wärmepumpanlage bzw. eine Kältemaschine erfolgen, ist aber auch als direkte thermische Nutzung ohne Wärmepumpe bzw. Kältemaschine möglich. Ein weiterer Nutzen der oberflächennahen Geothermie ist die Verwendung des Untergrundes als thermischer Energiespeicher, dabei wird überschüssige Wärme in den Untergrund geleitet. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Gesteins kann über einen begrenzten Zeitraum die Energie gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder genutzt werden.¹³

2.2.1 Funktionsprinzip der oberflächennahen Geothermie

Die gewonnene Energie wird sowohl für den Heizbetrieb als auch den Kühlbetrieb verwendet. Dies wird durch das über die Jahreszeiten konstante Temperaturniveau ermöglicht sowie durch die thermische Speicherkapazität des Untergrundes. Abbildung 2.3 zeigt den Temperaturverlauf der oberen 20 m unter der Geländeoberkante in Abhängigkeit von den Jahreszeiten. Sie lässt erkennen, dass in den oberen 10 m die Temperatur des Untergrundes stark variiert und von den Jahreszeiten beeinflusst wird. Aber bereits ab einer Tiefe zwischen 10 und 15 m entspricht die Temperatur des Untergrundes das ganze Jahr über etwa der Jahresmitteltemperatur¹⁴. Diese ist abhängig von der örtlichen Lage und beträgt in Österreich ca. 10 °C.¹⁵

Im Normalfall ist das Temperaturniveau in einer Tiefe von etwa 10-15 m ausreichend für den Kühlbetrieb, ohne Notwendigkeit einer zusätzlichen Kältemaschine. Beim Heizbetrieb reicht die vorhandene Energie allerdings nicht aus um eigenständig ein Gebäude zu beheizen.

¹³vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.35

¹⁴vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.13

¹⁵vgl. www.zamg.ac.at: Jahresrückblick (2013)

Deswegen wird eine Wärmepumpe benötigt, welche durch zuführen von zusätzlicher Energie (Strom) die Temperatur des Wärmeträgermediums anhebt um mehr Leistung zu erzielen.¹⁶

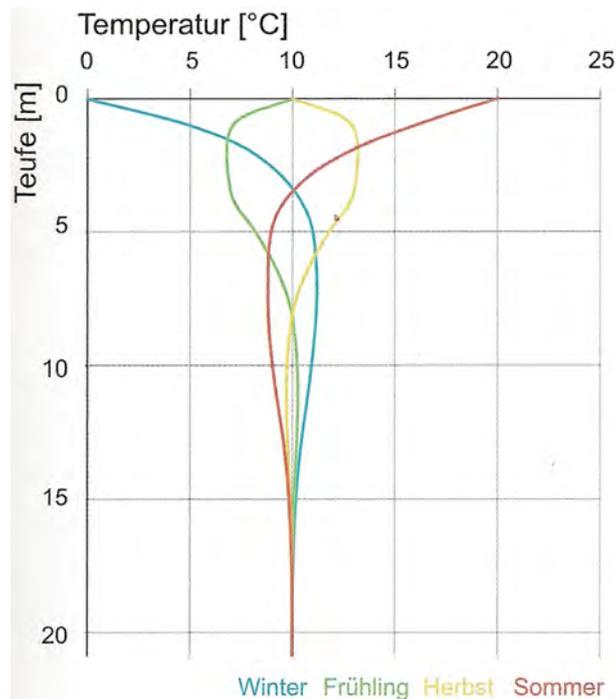


Abbildung 2.3: Abhängigkeit der Untergrundtemperatur von der saisonalen Außentemperatur¹⁷

Da diese beiden Fälle, kühlen ohne Kältemaschine und heizen mit Wärmepumpe, die meiste Anwendung findet, werden diese Beispiele im Folgenden genauer erläutert:¹⁸

Kühlbetrieb

Im Kühlbetrieb wird dem Gebäude Wärme entzogen. Über das Trägermedium wird die entzogene Wärme in den Untergrund geleitet, dort kühlt das Trägermedium ab und der Untergrund erwärmt sich. Die linke Seite der Abbildung 2.4 zeigt, wie die Energie in Form von Wärme, in rot dargestellt, in den Untergrund eingebracht wird, während das kühle Wärmeträgermedium, in blau dargestellt, wieder in das Gebäude zurückfließt. Somit fließt die Energie vom Gebäude in den Untergrund.

Heizbetrieb

Im Heizbetrieb fließt der Energie in die entgegengesetzte Richtung, vom Untergrund aufwärts zum Gebäude. Das Trägermedium entzieht dem Untergrund Wärme und kühlt ihn ab. Im erwärmten Zustand, in Abbildung 2.4 rot dargestellt, wird es zur Wärmepumpe (WP) geleitet. Die Wärmepumpe, in Abbildung 2.5 zwischen Wärmequelle und Wärmesenke dargestellt,

¹⁶vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.13

¹⁷Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.13

¹⁸vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.13-16, S.20-23

2 Grundlagen der Geothermie

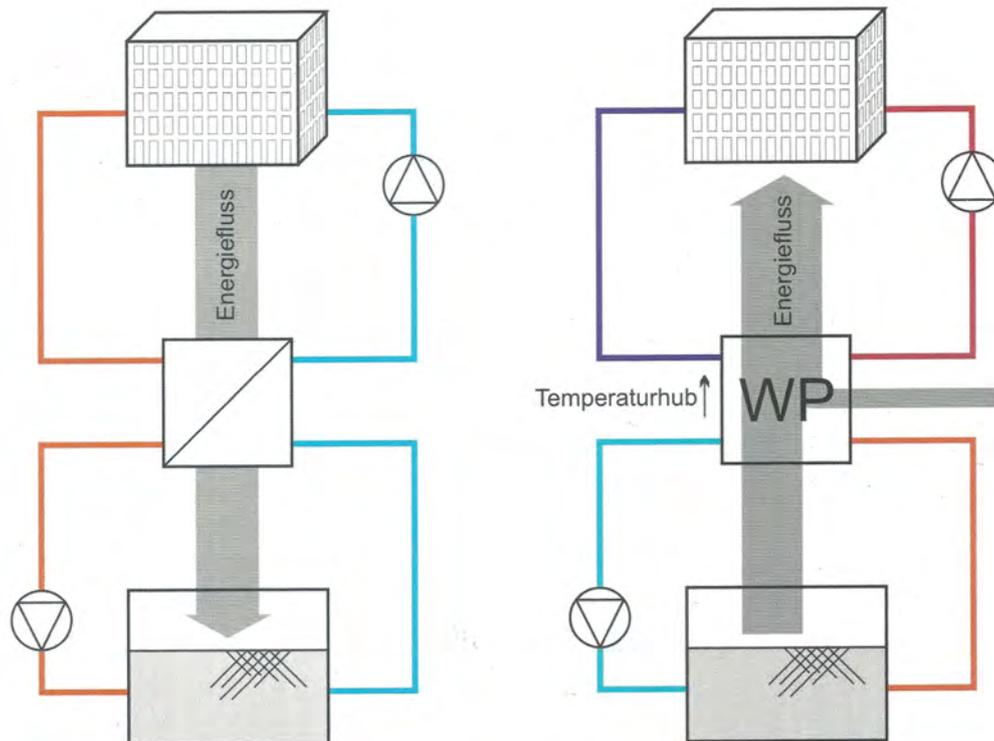


Abbildung 2.4: Links: Kühlbetrieb, Rechts: Heizbetrieb¹⁹

besteht im Wesentlichen aus einem Verdampfer, einem Kondensator sowie einem Kompressor und einem Expansionsventil. Diese Teile sind durch einen Rohrkreislauf verbunden, in dem ein Kältemittel zirkuliert. Im Verdampfer nimmt das Kältemittel die Wärme des Trägermediums auf. Dadurch verdampft das Kältemittel unter geringem Druck. Im Kompressor wird unter Zuführen von externer Energie der Druck des Kältemittels und damit auch dessen Temperatur erhöht. Im Kondensator gibt das Kältemittel die Wärme an die kühlere Umgebung ab. Durch die Wärmeabgabe verflüssigt sich das Kältemittel wieder. Im darauffolgenden Expansionsventil wird der Druck auf den Ausgangszustand reduziert und das Kältemittel gelangt in flüssigem Zustand wieder in den Verdampfer.

Im Gegensatz zum oben angeführten Kühlbetrieb ist dieses System nur in Kombination mit Energie aus anderen Quellen einsetzbar, weil die Wärmepumpe benötigt zusätzliche Energie für den Kompressor. Außerdem ist die erzeugte Leistung meist nicht ausreichend um den gesamten Wärmebedarf eines Gebäudes zu decken. Deswegen wird bei größeren Heizlasten das System meist auf 40-60% der Gesamtheizlast ausgelegt. Darübergehende Spitzen werden mit konventionellen Heizsystemen abgedeckt.

¹⁹Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.14

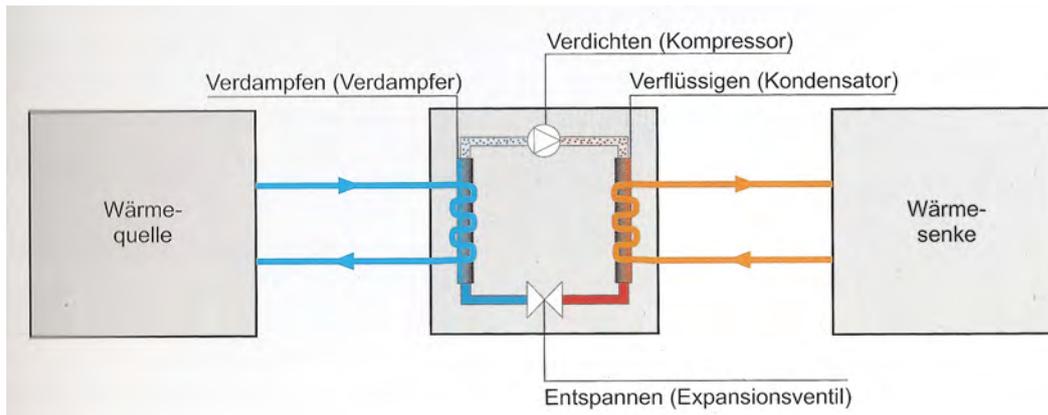


Abbildung 2.5: Wärmepumpe²⁰

Heiz-Kühl-Betrieb

Da beim Kühlbetrieb dem Untergrund Wärme zugeführt und beim Heizbetrieb Wärme entzogen wird besteht bei jedem dieser Systeme die Gefahr, dass der Untergrund sich nicht vollständig regenerieren kann. Die Temperatur des Untergrundes kann sich dauerhaft erhöhen oder senken, was eine Leistungssenkung des Systems zur Folge hat. Da in der Heizperiode dem Untergrund Energie entzogen und in der Kühlperiode wieder zugeführt wird, wird die Regeneration des Untergrundes unterstützt. In Abbildung 2.6 ist der saisonale Wechselbetrieb dargestellt. Im Winter wird dem Untergrund Wärme entzogen und kühlt dadurch ab. Im Frühling wird die Temperatur des Untergrundes auf einem konstanten Niveau gehalten, die im Winter eingebrachte niedrige Temperatur ist gespeichert. Im Sommer wird dem Untergrund die überschüssige Wärme des Gebäudes zugeführt, die im Frühling gespeicherte kühle Temperatur wird entzogen. Somit wird das Temperaturniveau des Bodens wieder erhöht und die Wärme wird anschließend über den Herbst im Boden gespeichert, um im Winter erneut genutzt werden zu können.

Aufgrund dieser Wechselwirkung ist der Heiz-Kühl-Betrieb effektiver, wenn das eigene Regenerationsvermögen des Untergrundes nicht ausreicht.

²⁰Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.21

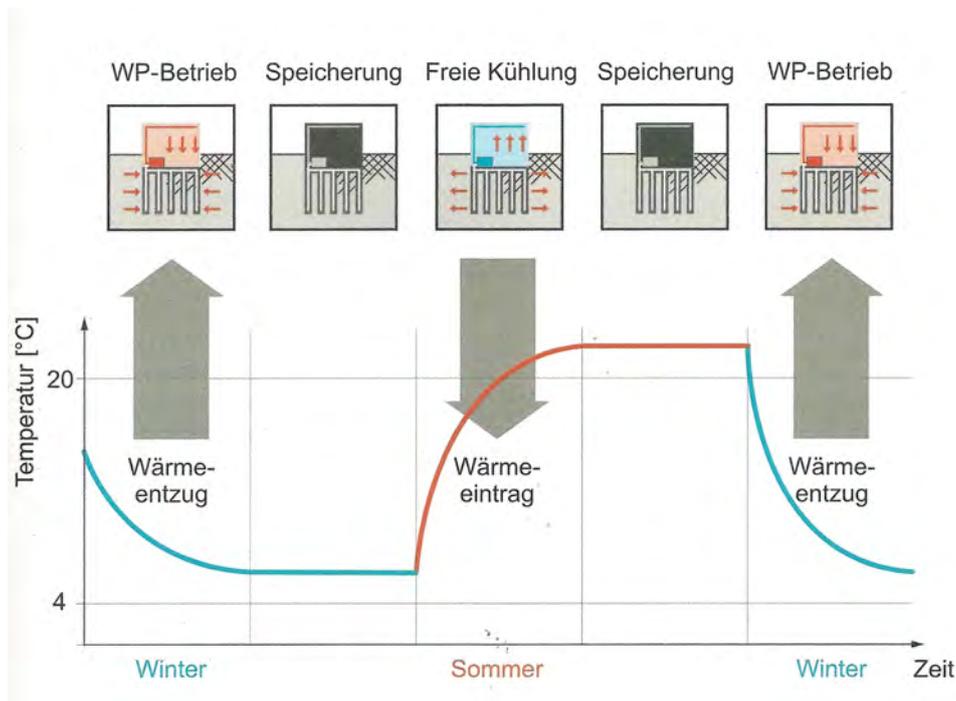


Abbildung 2.6: Saisonale Wechselwirkung ²¹

2.2.2 Systeme der oberflächennahen Geothermie

Um dem Untergrund die Energie zu entziehen, kommen verschiedene Systeme zur Anwendung. Unterschieden wird hier zwischen offenen und geschlossenen Systemen:²²

Offene Systeme

Bei offenen Systemen wird das im Untergrund vorhandene Grundwasser als Trägermedium verwendet. Über einen Förderbrunnen wird das Wasser abgepumpt und im Gebäude (siehe Kapitel 2.2.1) verwendet. Nach dem Wärmeentzug aus dem Grundwasser wird es in den Untergrund zurück geleitet. Diese Systeme eignen sich sowohl für den direkten Nutzen der Energie, als auch für die Zwischenschaltung einer Wärmepumpenanlage bzw. einer Kältemaschine.

Da bereits genutztes Grundwasser wieder zurück in den Untergrund geleitet wird, kann es zu einer thermischen Beeinflussung des noch nicht genutztem Wassers kommen. Weil dem zuvor genutztem Wasser die Energie bereits entzogen wurde, kann es die gewünschte Leistung nicht mehr erbringen. Deshalb ist eine erneute Förderung bzw. thermische Beeinflussung des noch nicht genutztem Wassers zu verhindern. Dies wird durch ausreichende Entfernung zwischen dem Schluckbrunnen und dem Förderbrunnen erreicht. Ebenfalls muss der Schluckbrunnen

²¹Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.15

²²vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.15-16, S.19-20

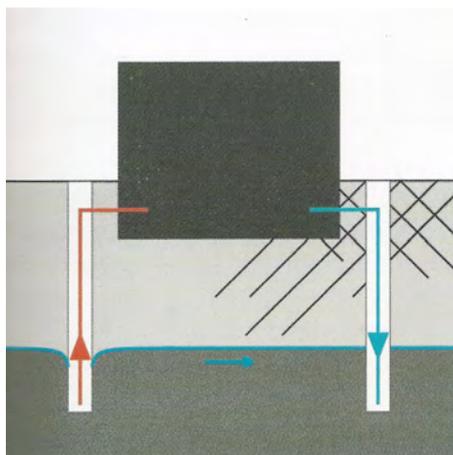


Abbildung 2.7: Offene Erdwärmesysteme²³

stromabwärts errichtet werden, um nicht bereits erwärmtes bzw. gekühltes Wasser erneut zu fördern.

Der Vorteil dieses Systems ist die einfache Herstellung. Weiters ist der Leistungsverlust der geschlossenen Systeme beim Wärmeübergang auf das externe Trägermedium nicht vorhanden, da das Grundwasser selbst das Trägermedium darstellt. Nachteilig ist vor allem der erhöhte Stromverbrauch der Pumpen sowie der Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt des Untergrundes. Dies bedarf einer wasserrechtlichen Bewilligung, siehe Kapitel 3.1.2 und 3.2.1.

Geschlossene Systeme

Im Unterschied zu den offenen Systemen verwenden geschlossene Systeme nicht das Grundwasser als Wärmeleitmedium, sondern ein extern zugeführtes Trägermedium. In geschlossenen Schlauchsystemen wird meist Wasser oder Sole in den Boden eingebracht. Das Trägermedium im Schlauch wird mittels einer Umwälzpumpe in den Untergrund gepumpt. Dort nimmt es die Wärme auf oder gibt sie ab, abhängig ob Heiz- oder Kühlbetrieb stattfindet. Anschließend wird das Trägermedium wieder an die Oberfläche gepumpt und thermisch genutzt.

Im Gegensatz zu den offenen Systemen sind die geschlossenen vom Grundwasserstrom weitestgehend unabhängig, da diese das Grundwasser selbst nicht als Trägermittel verwenden. Allerdings unterstützt der natürliche Grundwasserstrom die thermische Regeneration des Untergrundes und erhält somit die Leistungsfähigkeit des Systems. Geschlossene Systeme werden häufig für den Heiz-Kühl-Betrieb, siehe Kapitel 2.2.1, verwendet. Dadurch tragen sie selbst zur Regenerierung des Untergrundes bei, da sie die thermische Speicherfähigkeit des Untergrundes durch den Wechselbetrieb von heizen und kühlen nutzen.

²³Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.19

2 Grundlagen der Geothermie

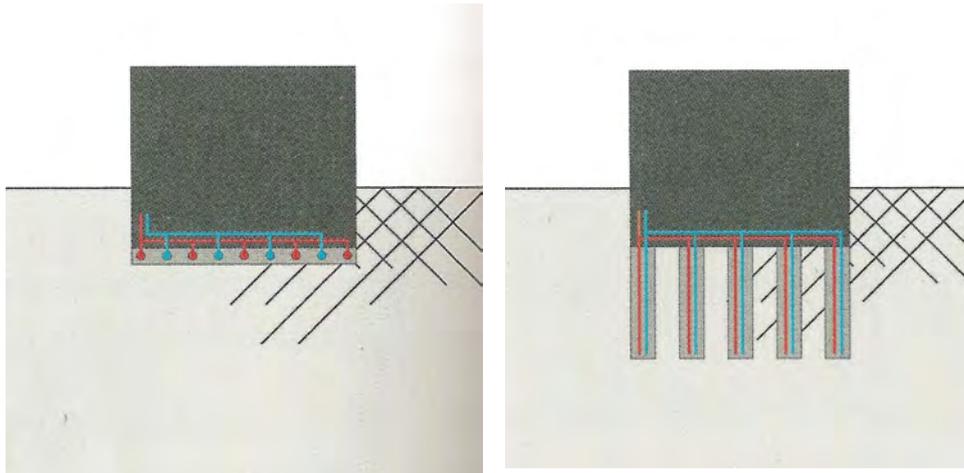


Abbildung 2.8: Links: Bodenplatte, Rechts: Pfahlsystem²⁴

Geschlossene Systeme finden zur Zeit in folgender Form Anwendung:

- *Bodenplatte* (siehe Abbildung 2.8 links)
- *Energiepfahl* (siehe Abbildung 2.8 rechts)
- *Schlitzwand*
- *Erdwärmesonde* (siehe Abbildung 2.9)
- *Erdwärmekollektor / -korb*

Erdwärmesonden

Erdwärmesonden sind Anlagen, die nur zur Energiegewinnung genutzt werden. Sie stellen somit die reinste Form der geothermischen Nutzung des Untergrundes dar.

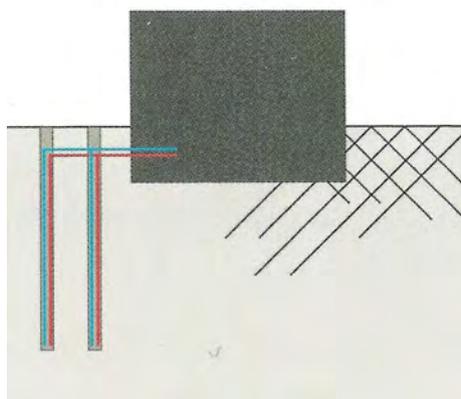


Abbildung 2.9: Erdwärmesonde²⁵

Der erste Schritt der zur Herstellung nötig ist, ist das Abteufen einer vertikalen oder schrägen

²⁴Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.16

²⁵Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.16

Bohrung. Meist wird bei Sonden eine Tiefe von ca. 100 m gewählt. Bei der Bohrung ist auf folgende Gefahren zu achten:^{26 27}

- *Quellfähiges Gebirge:* Tone und Anhydrit haben die Eigenschaft ihr Volumen unter Wasseraufnahme zu vergrößern. Die dadurch auftretenden Spannungen können die Sonde im Bohrloch beschädigen bzw. zerstören.
- *Hohlräume und Störungszonen:* Diese Schwachstellen im Gebirge können beim Bohrvorgang zu Schwierigkeiten führen, wie zum Beispiel das Durchfallen des Bohrgestänges oder der Verlust der Bohrspülung. Außerdem kann die Bohrlochwand instabil sein und es besteht die Gefahr eines Bohrlochverbruches. Dies kann zum Verlust des Bohrloches oder zur Beschädigung der Sonde führen. Bei zu großen Hohlräumen kann es zu Problemen beim Verfüllen des Ringraumes kommen.
- *Gespanntes und artesisches Grundwasser:* Gespanntes Grundwasser ist unter Druck stehendes Grundwasser. Beim Anbohren entspannt sich das gespannte Grundwasser und steigt im Bohrloch an. Der Druck bei artesischem Grundwasser reicht aus um das Wasser aus dem Bohrloch austreten zu lassen. Durch das Ansteigen des Grundwassers im Bohrloch kann dieses beschädigt werden und zu Setzungen in der Umgebung führen. Artesisches Grundwasser kann die Baustelle fluten und somit weiterführende Arbeiten verhindern.
- *Hydraulischer Kurzschluss:* Wenn zwei voneinander getrennte Grundwasserleiter durch eine hydraulische Trennschicht miteinander verbunden werden und ein Austausch von Wasser stattfindet, spricht man von einem hydraulischem Kurzschluss. Dieser hat zur Folge, dass sich der Grundwasserspiegel beider Leiter ändert und dies zu Setzungen oder Hebungen führen kann.
- *Erdgas:* Vorkommen von Erdgas sind unter Druck stehende Ansammlungen von Gasen wie zum Beispiel Methan, Ethan, Propan, Butan oder Stickstoff, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff. Die Wahrscheinlichkeit in Tiefen bis 300 m Gasvorkommen vorzufinden ist gering, dennoch sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden. Das Anbohren einer solchen Gaslagerstätte kann zu Explosionen, Vergiftungen oder Ersticken durch Sauerstoffmangel führen.

Diese Gefahren können durch vorherige Untergrunderkundungen, Verwendung von geeignetem Bohrgerät sowie einer erfahrenen Bohrmannschaft verhindert werden.

In die Bohrung wird anschließend ein Kunststoffrohr eingebracht, in dem das Trägermedium,

²⁶vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.55-58

²⁷vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.294

ein Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch, zirkuliert. Bei Erdwärmesonden mit Zwangsumlauf wird durch Zufuhr von externer Energie mittels Umwälzpumpe das Wärmeträgermedium im Kreislauf zwischen Wärmepumpe und Sonde bewegt. Meist kommen Sondentypen in Form einer U-Sonde, einer Doppel-U-Sonde oder einer Koaxialsonde zur Anwendung, siehe Abbildung 2.10. Aber auch schraubenförmige Wendeln sind möglich. Die Sonde ist am unteren Ende beschwert um leichter eingebracht werden zu können und um den Auftrieb des im Bohrloch stehenden Wassers entgegenzuwirken.²⁸ Die Kunststoffrohre werden bereits in Bündeln von zwei bis vier Rohren auf die Baustelle geliefert. Die Rohrbündel sind nur durch Abstandhalter miteinander verbunden und werden aufgerollt auf einer Rolle angeliefert. Beim Einbringen der Sonde in das Bohrloch wird die Rolle abgerollt. Sobald die Sonde im Bohrloch ist wird der Ringraum, das ist der noch freie Raum des Bohrloches, durch Injektionslanzen mit Suspension verpresst. Die Aufgaben des Verpressens des Bohrloches sind unter anderem die thermische Verbindung des Untergrundes zum Sondenrohr, der dichte Verschluss durchbohrter hydraulischer Trennschichten und der Schutz des Grundwassers vor austretendem Wärmeträgermedium.²⁹

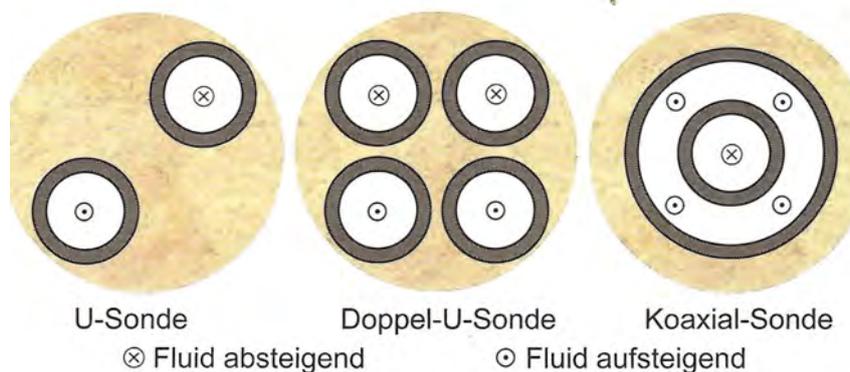


Abbildung 2.10: Sondentypen³⁰

Eine Sonderform stellt die in Abbildung 2.11 dargestellte Erdwärmesonde mit Phasenwechsel und Naturumlauf, auch Heat-Pipe-Prinzip genannt, dar. Im Unterschied zum Zwangsumlauf-System wird nur ein Rohr aus Edelstahl und kein Bündel von Kunststoffrohren in das Bohrloch eingestellt. Abbildung 2.11 zeigt den nachfolgend beschriebenen Ablauf des Heat-Pipe-Prinzips. Das eingesetzte Wärmeträgermedium, Kohlendioxid oder Propan, wird dampfförmig in die Sonde eingebracht. Am Sondenkopf, an dem die Wärmepumpe direkt angeschlossen ist, wird die Wärme dem Trägermedium entzogen. Dadurch kondensiert das Trägermedium und rinnt

²⁸vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.78-80

²⁹vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.127

³⁰Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.80

2 Grundlagen der Geothermie

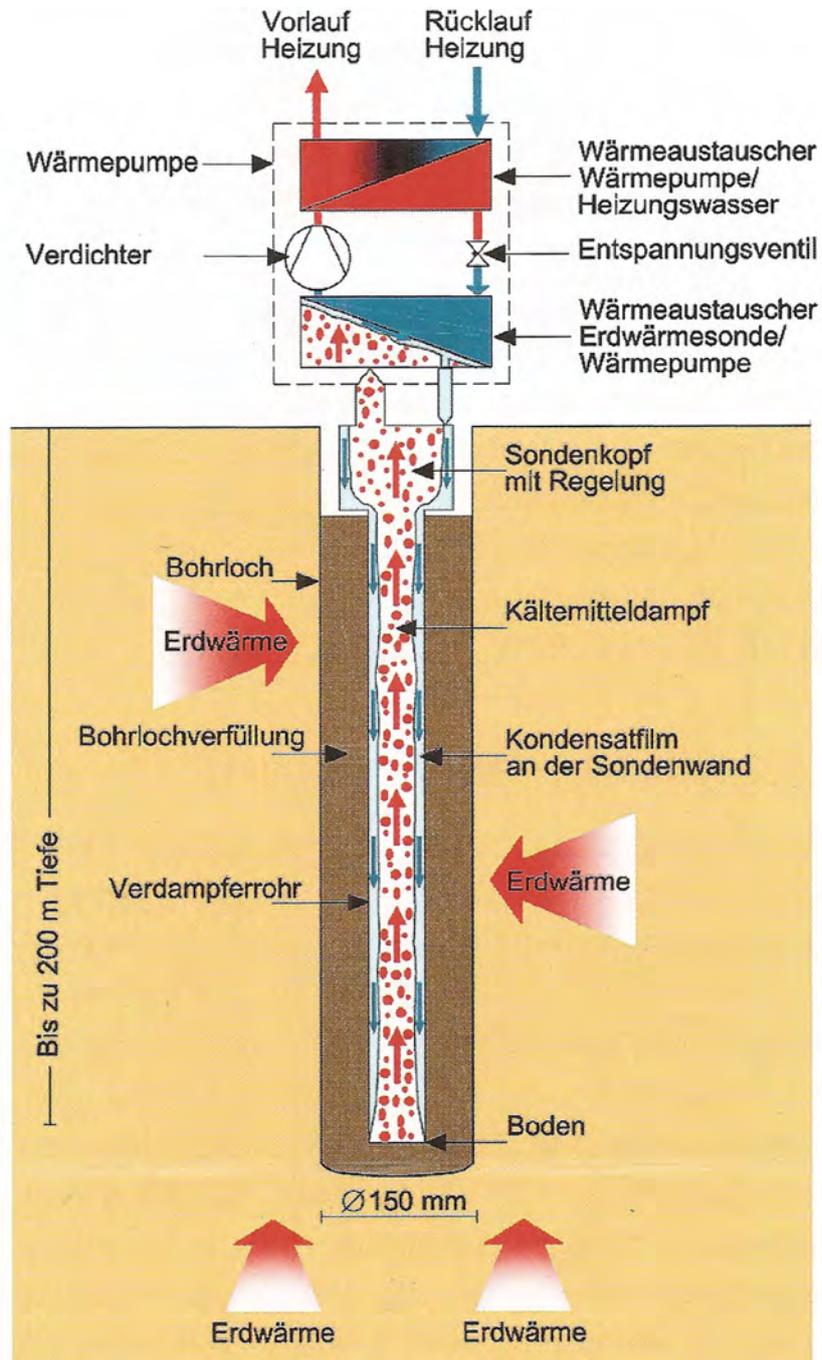


Abbildung 2.11: Heat-Pipe-Prinzip³¹

³¹Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.81

2 Grundlagen der Geothermie

in flüssigem Zustand an der Rohrwand entlang nach unten. Dabei nimmt das Trägermedium wieder Wärme auf, bis es am Sondenfuß verdampft und selbständig im Inneren des Rohres aufsteigt. Am Sondenkopf gibt das Trägermedium die Wärme wieder ab.

Der Vorteil gegenüber dem Zwangsumlauf-System ist, dass keine zusätzliche Energie zum Betrieb der Umwälzpumpe benötigt wird. Der Nachteil ist allerdings, dass das System auf ca. 200 m Tiefe beschränkt ist und die Wärmepumpe direkt am Sondenkopf situiert sein muss. Außerdem ist das System aufgrund seines Funktionsprinzips nur für den Heizbetrieb geeignet.³²

³²vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.80-82

3 Recht

3.1 Deutsches Recht

In Deutschland ist die Nutzung der im Untergrund vorhandenen Energie in Form von Erdwärme durch das Bundesberggesetz (BBergG) sowie das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) geregelt. Zusätzlich zu diesen Gesetzen auf Bundesebene gibt es Gesetze auf Landesebene, die das Genehmigungsverfahren beeinflussen und so deren Ablauf verändern. Deshalb erfolgen die Genehmigungsverfahren durch die Behörden der einzelnen Bundesländer. Dies ist auch der Grund, weshalb die Verfahren nicht in allen Bundesländern ident ablaufen.³³

3.1.1 Bundesberggesetz (BBergG)

Das Bundesberggesetz ist ein deutsches Bundesgesetz, das das Aufsuchen sowie das Gewinnen und Aufbereiten von Rohstoffen regelt. Weiters soll die Sicherheit der Beschäftigten eines Bergbaubetriebes gewährleistet werden und die Gefahren für Dritte, welche durch bergbauliche Tätigkeiten entstehen verhindert werden.

Im BBergG §3 werden bergfreie Bodenschätze definiert, unter anderem zählt auch *„... Erdwärme und die im Zusammenhang mit ihrer Gewinnung auftretenden anderen Energien (Erdwärme)“*³⁴ dazu. Weiters gilt nach BBergG: *„Auf bergfreie Bodenschätze erstreckt sich das Eigentum an einem Grundstück nicht.“*³⁵ Deshalb ist für jegliche Gewinnung eine bergrechtliche Genehmigung notwendig. Allerdings ist nach dem BBergG *„das Lösen oder Freisetzen von Bodenschätzen [...] in einem Grundstück aus Anlaß oder im Zusammenhang mit dessen baulicher oder sonstiger städtebaulicher Nutzung...“*³⁶ von Gewinnung ausgenommen. Somit ist die Genehmigung zur Nutzung von Erdwärme nur erforderlich, wenn die Erdwärme auf anderen Grundstücken genutzt wird. Wird die Erdwärme auf dem gleichen Grundstück auf dem sie gefördert wird genutzt, dann ist sie laut BBergG genehmigungsfrei.

³³vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.63

³⁴BBergG: Bundesberggesetz (1980), §3

³⁵BBergG: Bundesberggesetz (1980), §3

³⁶BBergG: Bundesberggesetz (1980), §4

Ausnahmen stellen Bohrungen von über 100 m dar, da jene Bohrungen nach BBergG §127 „... mindestens zwei Wochen vorher anzuzeigen“³⁷ sind.³⁸

3.1.2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Im Wasserhaushaltsgesetz sind folgende Punkte als Benutzung definiert:

- *„das Einbringen und Einleiten von Stoffen in Gewässer,*
- *das Entnehmen, Zutagefördern, Zutageleiten und Ableiten von Grundwasser. [...]*
- *das Aufstauen, Absenken und Umleiten von Grundwasser durch Anlagen, die hierfür bestimmt oder geeignet sind,*
- *Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen.“*³⁹

Um Grundwasser für einen der genannten Zwecke zu nutzen, das heißt sowohl für den Betrieb eines offenen als auch geschlossenen Systems, kann nach WHG §10 eine wasserrechtliche Erlaubnis oder Bewilligung benötigt werden. Folglich besteht vor der Errichtung einer Erdwärmeanlage Anzeigepflicht bei den zuständigen Behörden. Der Benutzungstatbestand kann bereits bei der Herstellung der Anlage durch den Bohrvorgang bestehen. Beispielsweise können durch ungeeignete Bohrspülzusätze Grundwasserverunreinigungen auftreten. Ebenfalls kann bei voneinander getrennten Grundwasserhorizonten eine nicht fachgerechte Durchörterung der trennenden Schicht zur Verbindung der beiden Horizonte führen. Durch den Wasseraustausch der übereinander liegenden Grundwasserstockwerke, auch hydraulischer Kurzschluss genannt, kann die Wasserbeschaffenheit der einzelnen Grundwasserleiter beeinträchtigt werden. Daher unterliegen Bauvorhaben die während der Herstellung eine Gefährdung für den Wasserhaushalt darstellen ebenfalls der Anzeigepflicht.⁴⁰

Die Erlaubnis bzw. die Bewilligung ist nach WHG *„zu versagen, wenn:*

- *schädliche, auch durch Nebenbestimmungen nicht vermeidbare oder nicht ausgleichbare Gewässer-
veränderungen zu erwarten sind oder*
- *andere Anforderungen nach öffentlich-rechtlichen Vorschriften nicht erfüllt werden.“*⁴¹

³⁷BBergG: Bundesberggesetz (1980), §127

³⁸vgl. Koenigsdorff: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude (2011), S.63-64

³⁹WHG: Wasserhaushaltsgesetz (2009), §9

⁴⁰vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.27-29

⁴¹WHG: Wasserhaushaltsgesetz (2009), §12

Weiters unterliegt die Erteilung dem pflichtgemäßen Ermessen der zuständigen Behörde.⁴²

3.1.3 VDI 4640

Die Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) ist zur Zeit das einzige Regelwerk in Deutschland, welches sich mit der thermischen Nutzung des Untergrundes beschäftigt. Die VDI 4640 behandelt ausschließlich oberflächennahe Geothermie bis 400 m Tiefe und besteht aus vier Teilen:

- **Blatt 1 - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte (Juni 2010):** Im Blatt 1 werden die Grundlagen für Erdwärmeanlagen erläutert. Es werden die für die Genehmigung nötigen Schritte des Wasserhaushaltsgesetzes sowie des Bundesberggesetzes beschrieben. Außerdem wird das Genehmigungsverfahren in Österreich und der Schweiz zusammengefasst. Weiters wird auf Umweltaspekte, wie CO₂-Emissionen und auf mögliche Umweltauswirkungen durch den Betrieb sowie die Herstellung einer Erdwärmeanlage eingegangen.⁴³
- **Blatt 2 - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (September 2001):** Das Blatt 2 erläutert die Auslegung und die Installation von Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden, Gründungspfählen und anderen erdberührten Betonbauteilen. Beschrieben werden unter anderem Bohrarbeiten, Prüfungen, die Verlegung der Leitungen sowie die Inbetriebnahme der Anlagen nach dem Befüllen der Leitungen mit dem Wärmeträgermedium.⁴⁴
- **Blatt 3 - Unterirdische thermische Energiespeicher (Juni 2001):** Das Blatt 3 beschäftigt sich mit den besonderen Auswirkungen auf die Umwelt einer Speicheranlage sowie der Systemeinbindung in das Energieversorgungssystem. Weiters werden Aquiferspeicher und Erdwärmesonden-Speicher erläutert.⁴⁵
- **Blatt 4 - Direkte Nutzung (September 2004):** Das Blatt 4 beschreibt Systeme und Auswirkungen der direkten thermischen Nutzung des Grundwassers. Weiterhin behandelt das Blatt 4 Systeme zur direkten Nutzung mittels Erdwärmesonden und Energiepfählen.

⁴²vgl. WHG: Wasserhaushaltsgesetz (2009), §12

⁴³vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 1 - Thermische Nutzung des Untergrundes - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte (2010)

⁴⁴vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001)

⁴⁵vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 3 - Thermische Nutzung des Untergrundes - Unterirdische thermische Energiespeicher (2001)

Außerdem wird auf Systeme zur Luftherwärmung und -kühlung sowie ihre Auswirkungen auf die Umwelt eingegangen.⁴⁶

3.2 Österreichisches Recht

In Österreich ist die thermische Nutzung des Untergrundes sowie des Grundwassers im Wasserrechtsgesetz geregelt und kann eine wasserrechtliche Bewilligung erfordern. Weitere Bewilligungen sind nach dem Mineralrohstoffgesetz für Sonden mit Tiefen von mehr als 300 m erforderlich. Ebenfalls kann die Anlage zur thermischen Nutzung nach der Gewerbeordnung 1994 und dem Umweltverträglichkeitsgesetz bewilligungspflichtig sein. Außerdem sind die landesspezifischen baurechtlichen sowie naturschutzrechtlichen Bestimmungen einzuhalten.⁴⁷

3.2.1 Wasserrechtsgesetz (WRG)

Das WRG §10 regelt den Benutzungstatbestand des Grundwassers:

- *„Der Grundeigentümer bedarf zur Benutzung des Grundwassers für den notwendigen Haus und Wirtschaftsbedarf keiner Bewilligung der Wasserrechtsbehörde wenn die Förderung nur durch handbetriebene Pump- oder Schöpfwerke erfolgt oder wenn die Entnahme in einem angemessenen Verhältnis zum eigenen Grunde steht.*
- *In allen anderen Fällen ist zur Erschließung oder Benutzung des Grundwassers und zu den damit im Zusammenhang stehenden Eingriffen in den Grundwasserhaushalt sowie zur Errichtung oder Änderung der hierfür dienenden Anlagen die Bewilligung der Wasserrechtsbehörde erforderlich.*
- *Artesische Brunnen bedürfen jedenfalls der Bewilligung nach Abs. 2.“⁴⁸*

Offene Systeme erfüllen den Tatbestand der Entnahme, Absatz 1 im WRG §10. Abhängig vom Untergrund kann der Tatbestand des artesischen Brunnens, Absatz 3, erfüllt sein. Außerdem ist gemäß WRG §32 die Rückführung von Gewässern bewilligungspflichtig, wenn *„Einwirkungen [...] durch ionisierende Strahlung oder Temperaturänderung...“⁴⁹* stattfinden. Folglich sind offene Systeme einem wasserrechtlichen Bewilligungsverfahren zu unterziehen.

⁴⁶vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 4 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Direkte Nutzung (2004)

⁴⁷vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.45-47

⁴⁸WRG: Wasserrechtsgesetz 1959 (2013), §10

⁴⁹WRG: Wasserrechtsgesetz 1959 (2013), §32 Abs. 2 lit.b

Bei geschlossenen Systemen wird kein Grundwasser entnommen, deswegen ist der §10 und der §32 nicht anzuwenden. Diese Anlagen unterliegen den im WRG §31c beschriebenen Voraussetzungen der wasserrechtlichen Bewilligungspflicht:

- „Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten (§§ 34, 35 und 55g Abs. 1 Z 1) und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung;
- Anlagen zur Gewinnung von Erdwärme in Form von Vertikalkollektoren (Tiefsonden), soweit sie nicht von lit. a erfasst sind, sofern sie eine Tiefe von 300 m überschreiten oder in Gebieten mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwasservorkommen. Die Grenzen derartiger Gebiete sind im Wasserbuch in geeigneter Weise ersichtlich zu machen.
- Anlagen zur Wärmenutzung der Gewässer.“⁵⁰

Für die Bewilligung der Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrundes ist die Bezirksverwaltungsbehörde zuständig. Wenn eine Entnahme von über 5 l/s stattfindet ist die Bewilligung im Zuständigkeitsbereich des Landeshauptmanns.⁵¹ Aufgrund der in §31c Abs.5 vorkommenden Klausel bezüglich des gespannten Grundwassers ist beispielsweise für Wien eine Karte erstellt worden, welche die Grenze der bewilligungsfreien Zone zeigt, siehe Abbildung 3.1 und 3.2.

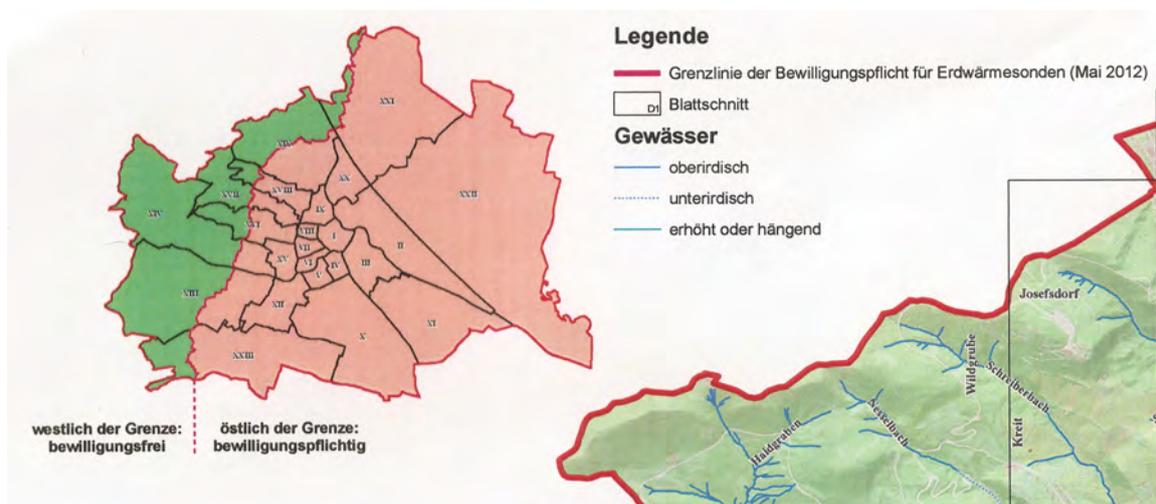


Abbildung 3.1: Grenzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden in Wien⁵²

⁵⁰WRG: Wasserrechtsgesetz 1959 (2013), §31c. Abs.5

⁵¹vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes - Heizen und Kühlen (2009), S.46

⁵²Magistratsabteilung 29 - Brückenbau, Grundbau: Grenzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden Übersicht (2013)

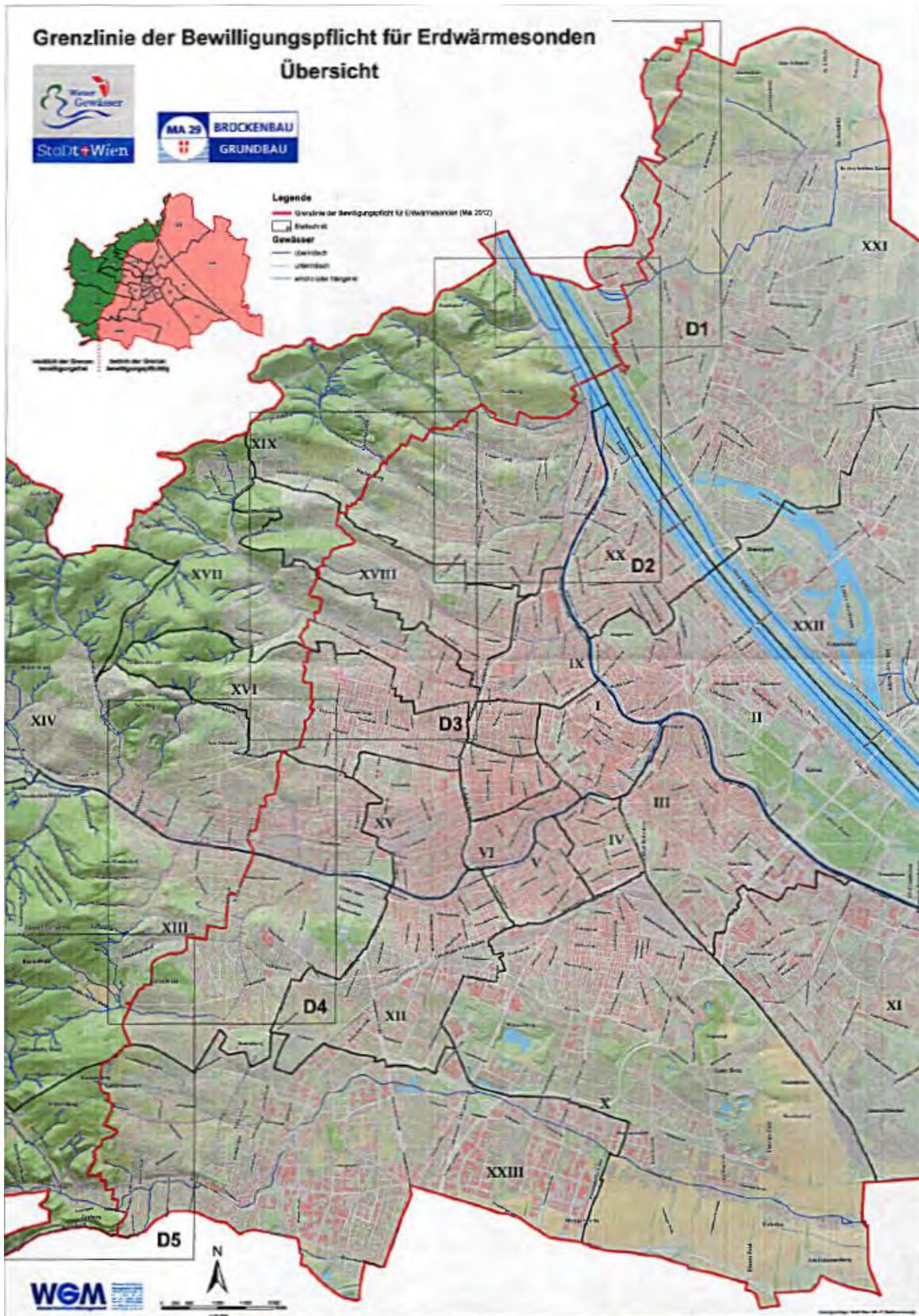


Abbildung 3.2: Grenzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden in Wien⁵³

⁵³Magistratsabteilung 29 - Brückenbau, Grundbau: Grenzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden Übersicht (2013)

3.2.2 ÖWAV-Regelblatt 207

Das ÖWAV-Regelblatt 207 *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen* des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) stellt die in Österreich geltenden Regelungen bezüglich thermischer Nutzung des Untergrunds dar. Behandelt werden, ähnlich der VDI 4640 in Deutschland, Grundlagen über den Untergrund sowie über die Anlagen. Weiters wird die Standorteignung, die Planung und die Herstellung von offenen Systemen, welche das Grundwasser direkt als Wärmeträgermedium nutzen erläutert. Ebenso wird die Bemessung und die Herstellung von geschlossenen Systemen wie Erdwärmekollektoren, Sonden und aktivierte Bauteile behandelt. Das Regelblatt gibt rechtliche Rahmenbedingungen und nötige Schritte zur Bewilligung an. Weiters befinden sich im Anhang des Regelblattes Tabellen zur Bemessung von geothermischen Anlagen sowie ein Prüfungsprotokoll zur Druckprüfung und dem Durchflusstest.⁵⁴

⁵⁴vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Zur Errichtung einer geothermischen Anlage ist vorab eine Planung des Gesamtsystem unumgänglich. Die geothermische Planung soll durch folgende strukturierte Vorgangsweise durchgeführt werden:

- **Geologische und geotechnische Voruntersuchung:** In dieser Planungsphase sind die thermischen Eigenschaften des Untergrundes zu erfassen. Dies kann, neben anderen Verfahren, mit den *Thermal Response Test* erfolgen. Anhand einer fertig ausgebauten Erwärmesonde ermittelt dieser Test unter anderem die effektive Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Bohrlochlänge.⁵⁵ Die erfassten Daten dienen der Leistungsberechnung der Anlage.
- **Planung der Erdwärmeabsorber:** Diese Phase umfasst die gesamte Planung der Absorberleitungen, auch Wärmeüberträger genannt, über welche die Energie dem Untergrund entzogen werden soll. Die genaue Lage der Leitungen in den thermisch zu aktivierenden Bauteilen sowie die horizontalen Verbindungsleitungen werden festgelegt. Anschließend wird deren Position in den Verlegungsplänen eingetragen, nach diesen Vorgaben wird die Anlage errichtet.⁵⁶
- **Thermische Leistungsberechnung:** Nachdem die Lage der Wärmeüberträger festgelegt wurde kann mittels Simulationsprogrammen eine Leistungsermittlung der Anlage durchgeführt werden. Die in der Voruntersuchung ermittelten Werte stellen die Basis dieser Berechnung dar. Anhand der Leistungsberechnung kann die zuvor festgelegte Lage der Wärmeüberträger optimiert werden.⁵⁷

Das folgende Kapitel beschreibt die Errichtung einer geothermischen Anlage. Dies umfasst die Baustellenplanung, die Verlegung der dafür notwendigen Rohrleitungen sowohl in den zu aktivierenden Bauteilen als auch deren horizontaler Anschluss an die Wärme- und Umwälzpumpe.

⁵⁵vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.46-47

⁵⁶vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.35-36

⁵⁷vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.35-36

4.1 Baustelleneinrichtung für den Einbau von Wärmeüberträgern

Geothermisch aktivierte Bauteile werden mit Rohrleitungen, zumeist aus *High Density Polyethylen*, siehe Kapitel 4.2, belegt. Um dies zu bewerkstelligen sind die Leitungen auf der Baustelle vorzuhalten, ein geeigneter Lagerplatz ist vorzusehen. Abhängig von der Art des zu aktivierenden Bauteils werden die Rohre, die der Leitung des Wärmeträgermediums dienen, am Bewehrungskorb des Bauteils befestigt oder unter dem Bauteil verlegt. Bereits in der Planungsphase ist für das Befestigen der Rohre am Bewehrungskorb ein ausreichend großer Platz auf der Baustelle vorzusehen. Die Größe dieses Lagerplatzes ist abhängig von den Abmessungen der Bewehrungskörbe. Bei der Verlegung der Leitungen unterhalb der Bodenplatte, siehe Kapitel 4.3.1, ist kein Lagerplatz zum Befestigen der Leitungen nötig. Stattdessen ist zusätzliche Zeit für das Verlegen der Rohre einzuplanen, da mit der Herstellung der Bodenplatte erst nach deren Verlegung begonnen werden kann.⁵⁸

Da geothermische Anlagen, wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, eine Tiefe von mehr als 10 m benötigen, um von den Außentemperaturen unabhängig betrieben werden zu können, handelt es sich bei der Bauteilherstellung meist um Verfahren des Tiefbaus. Hierfür werden speziell entwickelte Maschinen und Geräte verwendet. Dazu zählen unter anderem Bagger, Fräsen, Greifer, Verrohrungsmaschinen, Betonpumpen und andere Spezialgeräte.⁵⁹

Um die Unversehrtheit der Rohre und deren korrekte und funktionstaugliche Verlegung zu prüfen, wird Druckluft verwendet. Diese muss auf der Baustelle mittels Kompressoren hergestellt werden.⁶⁰

4.1.1 Lagerplätze

Die Wärmeüberträger werden aufgerollt und auf Paletten befestigt auf die Baustelle geliefert. Um den Rohren einen Witterungsschutz zu bieten sind die Rohre mit einer Plastikfolie umwickelt. Die Leitungen sind auf der Baustelle zu lagern, siehe Abbildung 4.1. Um Schäden zu vermeiden ist die Schutzfolie möglichst bis direkt vor der weiteren Verwendung der Rohre, Einbinden in den Bewehrungskorb bzw. Verlegen unter einem Bauteil, auf den Rollen zu belassen.⁶¹

⁵⁸vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

⁵⁹vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

⁶⁰vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

⁶¹vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Wie jeder Lagerplatz sollte auch der Lagerplatz für die Rohrleitungen zugänglich sein, um die Anlieferung zu beschleunigen. Es ist sinnvoll die Rohre in der Nähe der Bewehrungskörbe zu lagern, um den Weg zwischen Lagerplatz und Einbindestelle zu verkürzen. Die Größe des Lagerplatzes hängt von der Menge der zu verlegenden Leitungen ab. Baustellen, welche ca. 100.000 m Leitungslänge verlegen, benötigen eine Lagerplatzgröße von etwa 500 m². Der Platzbedarf von 200 m Leitung entspricht etwa einem m² Lagerplatz.⁶²



Abbildung 4.1: Lagerung der Wärmeüberträger auf der Baustelle⁶³

4.1.2 Geräte

Sofern nicht anders angegeben stammen die Inhalte dieses Kapitels aus dem Interview mit der Firma Enercret (Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles).

Für die Herstellung der Bauteile werden Geräte wie Bagger, Bohr- oder Schlitzwandgeräte und Betonpumpen benötigt. Um geothermisch aktivierte Bauteile herzustellen, sind kaum weitere Geräte notwendig.

Um die tiefliegenden Bauteile, welche mittels Tiefbauverfahren hergestellt werden geothermisch zu aktivieren, werden in ihnen Absorberleitungen verlegt, in denen das Wärmeträgermedium fließen und dem Untergrund die Energie entziehen kann. Häufig aktivierte Bauteile sind:

⁶²vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

⁶³Enercret: Fotos zur Verfügung gestellt von Enercret (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

- Ortbetonpfähle
- Schnecken-Ortbetonpfähle
- Fertigrammpfähle aus Beton und Stahlbeton
- Hohlpfähle aus Stahl
- Schlitzwände

Die Leitungsverlegung erfolgt durch Anbindung an den Bewehrungskorb. Der Vorgang wird händisch auf der Baustelle bewerkstelligt, zum Befestigen der Rohre an der Bewehrung werden Kabelbinder verwendet. Da Fertigrammpfähle bereits im Werk belegt werden, entfällt bei ihnen dieser Arbeitsschritt. Auch Hohlpfähle werden nicht mittels am Bewehrungskorb befestigten Leitungen belegt. Hier wird in den Hohlraum eine Erdwärmesonde eingeführt und anschließend mit Beton verpresst.

Weiters kann die Geothermie in Tunnelbauwerken genutzt werden. Folgende Bauteile werden mit geothermischen Leitungen belegt:

- Vliese
- Anker
- Tübbinge

Aktiviert Tunnelabschnitte erfordern kaum spezielle Maschinen und Geräte. Vliese werden bereits mit Leitungen belegt auf die Baustelle geliefert. Als Anker werden IBO-Selbstbohranker verwendet, welche erst im Zuge des Innenausbaus aktiviert werden. Tübbinge werden bereits im Werk mit Leitungen belegt. Hierfür werden die Absorber, ähnlich den Ortbetonpfählen und Schlitzwänden, an der Bewehrung befestigt.

Neben Tiefbau- und Tunnelbau-Bauteilen werden auch Bodenplatten geothermisch aktiviert. Hier werden die Leitungen entweder auf der Sauberkeitsschicht verlegt oder direkt auf der Bewehrung der Bodenplatte befestigt.

Auch wenn sich die Herstellungsprozesse, welche in den folgenden Kapiteln genauer erläutert werden, voneinander unterscheiden, eine Verbindung der Rohrleitungen ist immer notwendig. Die Rohre werden mittels Schweißverbindungen verlängert bzw. miteinander verbunden. Die hierfür erforderlichen Geräte sind Schweißgeräte, welche abhängig von der Art der gewählten Schweißverbindung sind, siehe Kapitel 4.2.2.

Ebenfalls sind alle Rohre, unabhängig vom zu belegendem Bauteil zu überprüfen. Um die Leitungen auf ihre Unversehrtheit zu prüfen ist eine Druckprüfung, siehe Kapitel 5.1 durchzuführen. Weiters ist der möglichst widerstandsfreie Durchfluss durch den gesamten Kreislauf mittels einer Durchflussprüfung, siehe Kapitel 5.2, zu belegen. Für diese Qualitätskontrollen wird Druckluft mit bis zu 14 bar benötigt, die durch einen Kompressor hergestellt wird. Die Erzeugung der Druckluft kann durch verschiedene Kompressoren bzw. Luftverdichtungsarten erfolgen:⁶⁴

- Kolbenkompressor
- Rotations- oder Lamellenkompressor
- Schraubenkompressor



Abbildung 4.2: Fahrbarer Schraubenkompressor der Baureihe Size 1 von Atlas Copco⁶⁵

Fahrbarer Schraubenkompressor (siehe Abbildung 4.2)

Der Schraubenkompressor ist der meist eingesetzte Kompressor auf der Baustelle. Der Grund dafür ist die leistungsstarke Erzeugung von Druckluft und die kompakte und mobile Ausführung des Gerätes. Der fahrbare Schraubenkompressor besteht aus einem Einachsifahrgestell, wodurch die nötige Mobilität auf der Baustelle gewährleistet wird. Zusätzlich sind die Kompressoren besonders geräuscharm ausgeführt. Dies wird durch ein geschlossenes Gehäuse und schalldämmende Materialien erreicht.⁶⁶

Funktionsprinzip des Schraubenkompressors (siehe Abbildung 4.3)

Die Frischluft wird über einen Filter (1) angesaugt. In der Verdichtungsstufe (2), beim Schraubenkompressor die Schraube, wird die Luft verdichtet. Die Schraube besteht aus einem Hauptläufer und einem Nebenläufer, siehe Abbildung 4.4 rechts oben. Die Luft wird auf der Saugseite, in der Abbildung 4.4 links, über die Drehbewegung der Schrauben angesaugt.

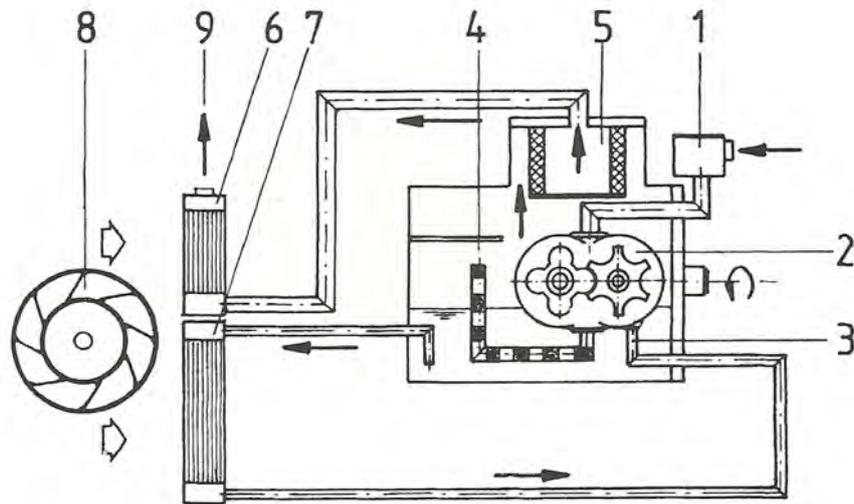
⁶⁴vgl. Jodl: Skriptum zu Bauverfahrenstechnik (2010), Kapitel 9, S.7-9

⁶⁵www.atlascopco.at: Size 1: Fahrbahre, einachsige, öleingespritzte Drehschraubenkompressoren, 7-14 bar (2013)

⁶⁶vgl. König: Maschinen im Baubetrieb (2011), S.249-252

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Sie wird in der Kammer zwischen dem Hauptläufer und dem Nebenläufer in Richtung der Druckseite befördert. Durch die Drehbewegung wird die Kammer kleiner und die darin eingeschlossene Luft wird verdichtet. Ebenfalls wird die Luft in der Kammer durch die Drehbewegung zur Druckseite befördert. Die Dichtung und Schmierung zwischen den ineinandergreifenden Schraubenprofilen ist Öl, welches über die Öleinspritzung (3) eingebracht wird. Durch den Verdichtungsprozess vermischt sich die Luft mit dem Öl. Auf der Druckseite der Schraube tritt somit ein Öl-Luftgemisch aus (4). Durch den Öl-Feinabscheider (5) wird die Luft wieder vom Öl getrennt. Vor dem Austritt der Druckluft aus dem Kompressor (9) wird sie durch den Luftkühler (6) abgekühlt. Das getrennte Öl wird im Ölkühler (7) abgekühlt und erneut über die Öleinspritzung (3) der Verdichtungsstufe (2) zugeführt.⁶⁷



- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1 Filter | 6 Luftkühler |
| 2 Verdichterstufe (Schraube) | 7 Ölkühler |
| 3 Öleinspritzung | 8 Lüfter (Kühlluft) |
| 4 Austritt Öl-Luftgemisch | 9 Austritt der verdichteten Luft |
| 5 Öl-Feinabscheider | |

Abbildung 4.3: Funktionsprinzip Kompressor⁶⁸

⁶⁷vgl. König: Maschinen im Baubetrieb (2011), S.249-252

⁶⁸König: Maschinen im Baubetrieb (2011), S.252

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

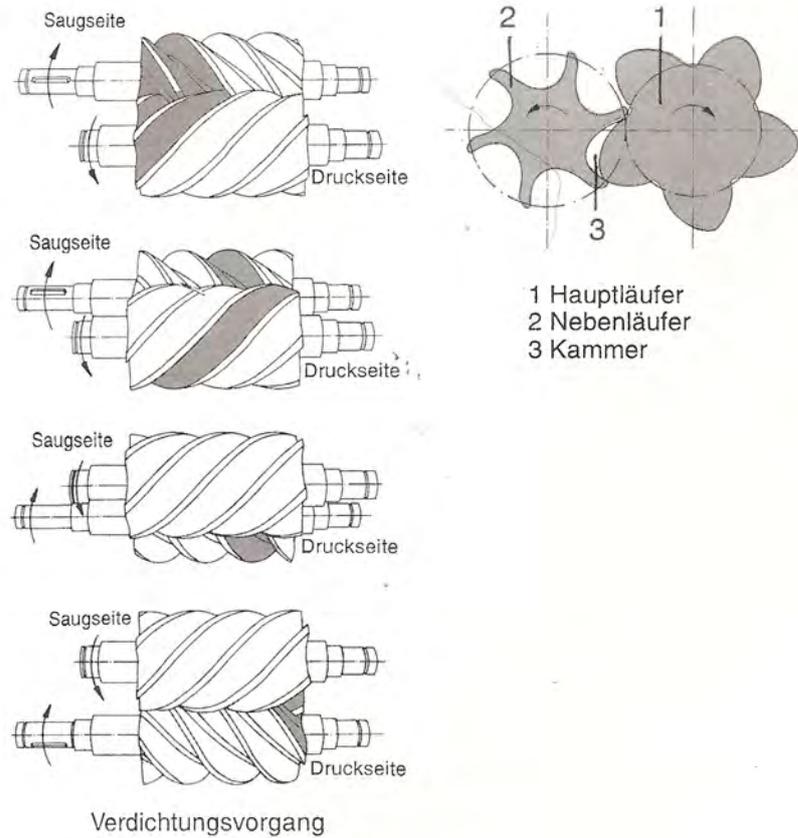


Abbildung 4.4: Verdichtungsstufe, Schraube⁶⁹

Beispiel eines fahrbaren Schraubenkompressors

Technische Daten eines Schraubenkompressors der Baureihe Size 1 von Atlas Copco	
Normaler effektiver Betriebsdruck	7 - 14 bar
Luftstrom	151 - 185 l/s
Luftstrom	9.1 - 11.1 m ³ /min
Schalleistungspegel	71 - 99 dB(A)
Gewicht	1.705 - 1.883 kg
Länge	394.1 - 435.6 cm
Breite	170.1 cm
Höhe	161.1 cm

Tabelle 4.1: Technische Daten eines Schraubenkompressors der Baureihe Size 1 von Atlas Copco⁷⁰

⁶⁹König: Maschinen im Baubetrieb (2011), S.251

⁷⁰www.atlascopco.at: Size 1: Fahrbaure, einachsige, öleingespritzte Drehschraubenkompressoren, 7-14 bar (2013)

4.2 Rohrmaterial

Als Material für die Rohre in denen das Wärmeträgermedium fließt, wird großteils *High Density Polyethylen PE 100*, im folgenden als HD-PE bezeichnet, verwendet. Polyethylen ist ein reines Kohlenwasserstoff-Polymer und wird durch Polymerisation von Ethylengas erzeugt. Man unterscheidet das Hochdruckverfahren mit dem das LD-PE, Abkürzung für *Low Density Polyethylen*, hergestellt wird und das Niederdruckverfahren mit dem das HD-PE erzeugt wird. Im Unterschied zu LD-PE ist HD-PE dichter, weist eine höhere aufnehmbare Streckgrenze bei geringerer Dehnung auf und der Elastizitätsmodul von HD-PE ist deutlich höher, genaue Werte sind in der Tabelle 4.3 ersichtlich.

Häufig verwendete Rohrdurchmesser sind 25 mm, 32 mm und 40 mm. Die Maße für die häufig verwendeten PE 100, SDR 11, PN 16 Rohre sind in Tabelle 4.2 dargestellt. Die Wandstärke ergibt sich aus dem *Standard Dimension Ratio*, abgekürzt SDR, welches das Verhältnis zwischen dem Rohraußendurchmesser und der Wandstärke darstellt:

$$SDR = d/s \quad (4.1)$$

SDR ... Standard Dimension Ratio [-]

d ... Rohraußendurchmesser [mm]

s ... Wandstärke [mm]

HD-PE 100, SDR 11, PN 16			
Rohraußendurchmesser [mm]	25	32	40
Wandstärke [mm]	2,3	2,9	3,7

Tabelle 4.2: Maße der PE 100, SDR 11, PN 16 Rohre⁷¹

Die Abkürzung PN steht für *Nominal Pressure* und gibt den zulässigen Betriebsdruck in bar bei 20 °C an. Die Gründe für die Verwendung von High Density Polyethylen Rohren sind vor allem:⁷²

- Große Haltbarkeit, zum Beispiel weist das Material eine hohe Zähigkeit sowie eine hohe Bruchdehnung auf.
- Temperaturbeständigkeit, die maximale Betriebstemperatur liegt dauerhaft bei 60 °C und darf kurzzeitig auf bis zu 80 °C ansteigen.

⁷¹vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.117

⁷²vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.117-122

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

- Hohe Beständigkeit gegen Lösungen, darunter auch die Soleflüssigkeit, die als Wärmeträgermedium zur Anwendung kommen kann.
- Einfache Verarbeitung auf der Baustelle durch die hohe Biegsamkeit der Rohre.
- Einfache Verbindbarkeit zweier Rohre mit verschiedenen Schweißtechniken, siehe Kapitel 4.2.2.
- Glatte Innen- und Außenoberfläche, auch nach längerer Verwendung. Die glatte Außenoberfläche erleichtert den Einbau der Rohre, da Betonierrohre leichter vom HD-PE-Rohr abgleiten. Die glatte Innenoberfläche verringert den Durchflusswiderstand und somit wird eine geringere Pumpenleistung benötigt um das Wärmeträgermedium im Kreislauf zirkulieren zu lassen.
- Die preiswerten Herstellungskosten lassen eine wirtschaftliche Bemessung geothermischer Anlagen zu (etwa 50 Cent/m Rohr).
- Platzsparende Lagerung und einfache Handhabung auf der Baustelle durch die Anlieferung in Rollen.

Die Herstellung sowie die Güteanforderungen an das Material sind in der Normenreihe *Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 80, PE 100*, im Speziellen in der DIN 8074 *Maße* und in der DIN 8075 *Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen* festgeschrieben. Andere Materialien, wie beispielsweise Polypropylen, abgekürzt PP, oder Polybutylen, abgekürzt PB, werden selten verwendet da sie höhere eine Steifigkeit und Härte aufweisen, was die Handhabung auf der Baustelle erschwert. Im Temperaturbereich unter 0°C sind die beiden Materialien brüchiger als HD-PE, im Gegenzug sind sie etwas hitzebeständiger. Da HD-PE allerdings einen Dauerbetrieb von bis zu 60°C erlaubt, ist diese Eigenschaft bei der oberflächennahen Geothermie, welche Temperaturen im Bereich von bis zu 25°C verwendet, nicht von Interesse. Weiters sind in Europa die Materialkosten von PP und PB im Vergleich zu HD-PE höher. Ebenfalls wäre die Verwendung von hartem Polyvinylchlorid, abgekürzt PVC-U, möglich. Jedoch ist die Wärmeleitfähigkeit hier deutlich geringer als bei den oben angeführten Werkstoffen. Unterschiede sind auch in der Längsausdehnung zu erkennen. In Tabelle 4.3 sind die technischen Kennwerte der verwendbaren Rohrmaterialien dargestellt, wobei für PB Werte von Polybutylenterephthalat, abgekürzt PBT, und für PP Werte von Polypropylen Homopolymer, abgekürzt PP-H, verwendet wurden. In Tabelle 4.4 wurde Längsausdehnung von PVC-U, aufgrund der geringen Ausdehnung, mit Stahl und HD-PE, einem Mittelwert von $130 [10^{-6}\text{K}]$, verglichen.⁷³

⁷³vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.23

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Eigenschaften	LD-PE	HD-PE	PP-H	PBT	PVC-U
Dichte [g/cm^3]	0,919	0,963	0,903	1,30	1,38
Streckspannung [MPa]	9,0	30,0	33	60	58
Zug-Elastizitätsmodul [MPa]	200	1.350	1.450	2.500	3.000
Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	0,3	0,42	0,22	0,27	0,15
Längsausdehnung [10^{-6}K]	230	120-150	100-200	130-160	80

Tabelle 4.3: Vergleich zwischen LD-PE und HD-PE⁷⁴

Trotz der vielen Vorteile von HD-PE-Rohren gibt es auch einige Nachteile:⁷⁵

- geringe Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,42 \text{ W/mK}$
- hohe Längsausdehnung aufgrund hoher Wärmeausdehnung (siehe Tabelle 4.4)
- Einhaltung vorgegebener Mindestbiegeradien (siehe Kapitel 4.2.1)
- durch den Transport und den Einbau können tiefe Riefen entstehen, die längerfristig zu undichten Stellen führen können

Material	Temperaturänderung [K]	Längenausdehnungskoeffizient [mm/mK]
Stahl	10	0,012
PVC-U	10	0,08
HD-PE	10	0,13

Tabelle 4.4: Wärmeausdehnung verschiedener Werkstoffe^{76 77}

4.2.1 Mindestbiegeradien

Aufgrund des Bestrebens eine möglichst lange Leitung in jedem aktivierten Bauteil zu verlegen, werden die Rohre mit kleinen Biegeradien und nah zusammenliegend verlegt. Dabei müssen allerdings Mindestbiegeradien eingehalten werden, da die Rohre trotz ihrer Biegsamkeit bei zu eng verlegtem Radius knicken können. Dies würde zur Verringerung des Durchflusses und somit auch zur Verringerung der Leistungsfähigkeit oder zum Ausfall des Kreislaufes führen. Da die Steifigkeit des HD-PE Materials von der Temperatur abhängig ist, sind die Mindestbiegeradien temperaturabhängig. Die zulässigen Mindestbiegeradien können anhand

⁷⁴vgl. www.kern-gmbh.de: Werkstoff-Datenblätter (2014)

⁷⁵vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.117-121

⁷⁶vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.121

⁷⁷vgl. www.kern-gmbh.de: Werkstoff-Datenblätter (2014)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

von Formeln berechnet werden. Bei 20 °C lassen sich die Mindestbiegeradien von HD-PE-Rohre mit SDR 11 wie folgt berechnen:⁷⁸

$$r = 25 * d \quad (4.2)$$

r ... Mindestbiegeradius [m]

d ... Rohraußendurchmesser [mm]

Bei Temperaturen von 0 °C vergrößert sich der Radius um den Faktor 2,5:

$$r = 62,5 * d \quad (4.3)$$

r ... Mindestbiegeradius [m]

d ... Rohraußendurchmesser [mm]

In Tabelle 4.5 sind für Rohraußendurchmesser von 25 mm, 32 mm und 40 mm Mindestbiegeradien bei 0 °C, 5 °C, 10 °C und 20 °C dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die Radien zwischen 10 °C und 20 °C, was in Österreich in den Sommermonaten etwa dem Mittel der täglichen Minimaltemperaturen und Maximaltemperaturen⁷⁹ entspricht, um mehr als 20 cm voneinander unterscheiden. Wenn die Mindestbiegeradien nicht beachtet werden, kann dies zu Schäden führen, siehe Schadensfall Temperaturwechsel auf S. 79.

Mindestbiegeradien für HD-PE 100, SDR 11 Rohre			
Rohraußendurchmesser d [mm]	25	32	40
$r = 25 * d$ bei 20 °C [m]	0,63	0,80	1,00
$r = 35 * d$ bei 10 °C [m]	0,88	1,12	1,40
$r = 50 * d$ bei 5 °C [m]	1,25	1,60	2,00
$r = 62,5 * d$ bei 0 °C [m]	1,56	2,00	2,50

Tabelle 4.5: Mindestbiegeradien von HD-PE 100, SDR 11, abhängig von Temperatur und Durchmesser d ⁸⁰

4.2.2 HD-PE-Rohr Schweißen

Ein Vorteil von High Density Polyethylenrohren ist deren relativ einfach durchführbare Verbindung von zwei Rohren. Hierfür können unterschiedliche Schweißverfahren verwendet werden:

⁷⁸vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.121-122

⁷⁹vgl. www.zamg.ac.at: Klimadaten Österreich 1971-2000 (2014)

⁸⁰vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.122 und S.149

- **Heizelement-Muffenschweißen (siehe Abbildung 4.5):** Bei diesem Verfahren werden Rohre mit einem überlappendem *Fitting* verbunden. Hierzu ist eine vorherige Reinigung der zu verbindenden Teile nötig. Der gesamte Schweißbereich ist von Schmutz und Nässe freizuhalten, außerdem sind Temperaturen von unter 5 °C zu vermeiden um eine fehlerfreie Schweißverbindung zu gewährleisten. Anschließend wird das Heizgerät bestehend aus Heizdorn, Heizbuchse und Heizelement vorgeheizt, bis eine Temperatur von etwa 260 °C erreicht ist. Das Rohr und die Muffe werden erwärmt, siehe Abbildung 4.5. Das Schweißgerät wird entfernt und die beiden erwärmten Teile werden zusammengedrückt. Nach kurzem Abkühlen ist die Verbindung hergestellt.⁸¹

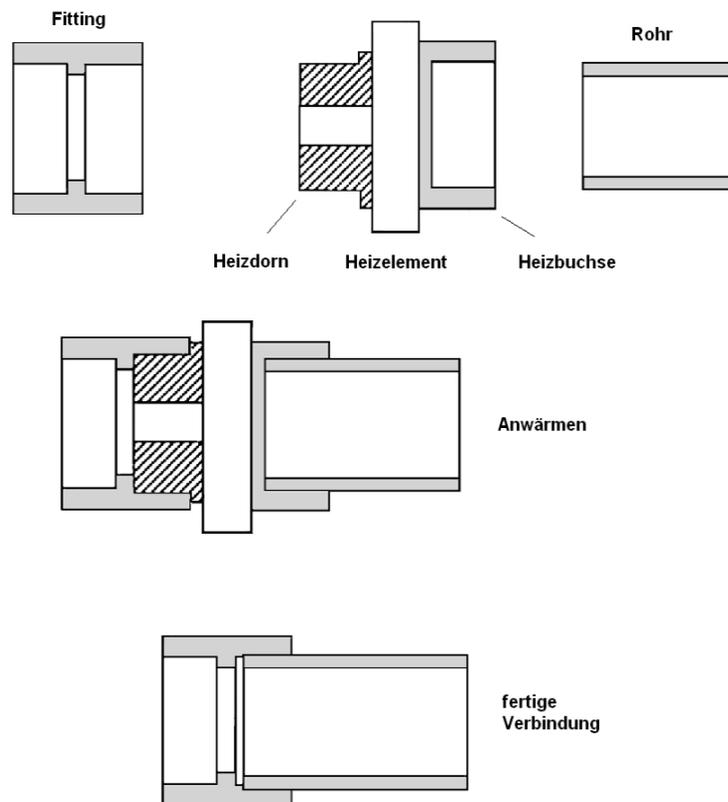


Abbildung 4.5: Heizelement-Muffenschweißen⁸²

- **Heizelement-Stumpfschweißen (siehe Abbildung 4.6):** Dieses Verfahren ermöglicht eine direkte Verbindung von zwei Rohren ohne zusätzlicher Muffe. Die Vorbereitungsmaßnahmen sind ähnlich zum Heizelement-Muffenschweißen. Die Rohre müssen gereinigt werden und während des Schweißvorgangs vor Nässe und Kälte geschützt sein. Die zu verbindenden Rohre werden auf längsbeweglichen Rollenböcken oder ähnlichem befestigt. Anschließend werden sie meist mittels hydraulischen Pressen gegen das erwärmte Heizelement gepresst, bis sich entlang des gesamten Umfangs ein Wulst bildet, siehe Ab-

⁸¹vgl. www.ikz.de: Schweißen von Kunststoffrohren (2013)

⁸²www.kunststoffanlagen.de: Heizelementmuffenschweißen (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

bildung 4.6. Sobald dieser vorhanden ist wird der Druck gegen das Heizelement auf Null reduziert. Sobald der Aufwärmvorgang abgeschlossen ist, die genauen Zeitangaben sind abhängig vom Heizgerät, von den Rohrdimensionen und von der Umgebungstemperatur, werden die Rohre vom Heizelement entfernt und möglichst von Schmutz oder Nässe geschützt zusammengeführt. Unter stetig steigendem Anpressdruck kühlen die Rohre ab und die Verbindung ist fertiggestellt.⁸³

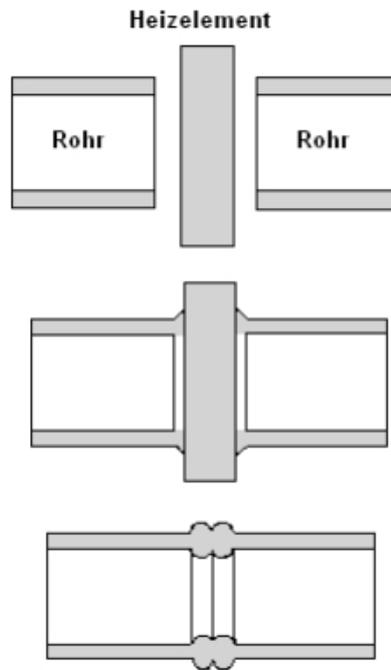


Abbildung 4.6: Heizelement-Stumpfschweißen⁸⁴

- **Heizwendel-Schweißen (siehe Abbildung 4.7):** Beim Heizwendel-Schweißen kommt die sogenannte Elektroschweißmuffe zum Einsatz, siehe Abbildung 4.8. Dies ist ein Fitting, welches im Inneren mit einer Heizwendel bestückt ist. Um die Verbindung herzustellen werden die gesäuberten Rohre beidseitig in die Elektroschweißmuffe eingeführt. Bei diesem Vorgang ist darauf zu achten, dass die Rohre beim Einführen nicht die innen liegende Heizwendel beschädigen. Anschließend wird das Schweißgerät an die Muffe angeschlossen und die Heizwendel wird durch die elektrische Energie erhitzt. Dabei verschmelzen die beiden Rohre miteinander und die Verbindung ist hergestellt. Aufgrund der einfacheren und schnelleren Handhabung wird vor allem dieses Verfahren auf der

⁸³vgl. www.kunststoffanlagen.de: Heizelementstumpfschweißen (2013)

⁸⁴www.kunststoffanlagen.de: Heizelementstumpfschweißen (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Baustelle eingesetzt.^{85 86}

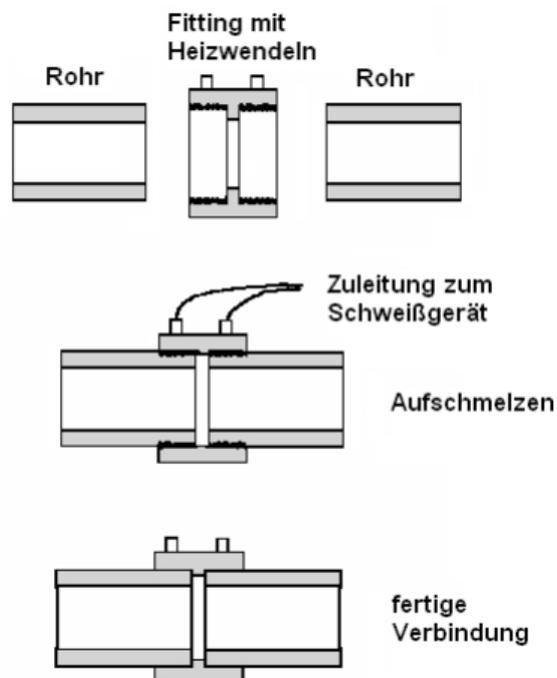


Abbildung 4.7: Heizwendel-Schweißen⁸⁷



Abbildung 4.8: Elektro-Schweißmuffe⁸⁸

4.3 Bodenplatte

Die aktivierte Bodenplatte ist eine ebene Energiefundierung. Sie stellt die Verbindung zwischen dem Bauwerk und dem Untergrund dar und kann somit die Energie auch nur einseitig entziehen. Um eine thermische Beeinflussung des beheizten oder gekühlten Innenraums des Bauwerks auf den Untergrund und auf die verlegten Absorberleitungen, auch *thermischer*

⁸⁵vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.122

⁸⁶vgl. www.kunststoffanlagen.de: Hezelementstumpfschweißen (2013)

⁸⁷www.kunststoffanlagen.de: Hezelementstumpfschweißen (2013)

⁸⁸www.bathforyou.de: Gerberit Elektro-Schweißmuffe (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Kurzschluss genannt, zu verhindern muss eine thermische Trennung in Form einer Dämmschicht errichtet werden. Erst ab etwa 10 m Tiefe entspricht die Temperatur des Untergrundes das ganze Jahr über konstant der Jahresmitteltemperatur. Darüber unterliegt der Untergrund Temperaturschwankungen welche von der Außentemperatur abhängig sind, siehe Kapitel 2.2.1. Da Bodenplatten nicht immer in Tiefen von über 10 m im Untergrund errichtet werden, ist ihr Wärmeentzugspotential geringer als von tiefer liegenden Bauteilen.

Ein weiterer Grund für die geringere Leistungsfähigkeit von aktivierten Bodenplatten in Bezug auf den Wärmeentzug, könnte im nur einseitigen Kontakt mit dem Untergrund liegen. Im Vergleich zu Bauteilen wie Pfählen, dessen gesamter Umfang mit dem Untergrund Kontakt hat und somit auch der gesamte Umfang zum Wärmeentzug genutzt werden kann, ist bei Bodenplatten nur über die Unterseite der Wärmeentzug möglich. Dies kann allerdings nicht durch Beobachtungen aus der Praxis belegt werden.⁸⁹

Bei der Energiebodenplatte unterscheidet man grundsätzlich zwei verschiedene Verlegungsorte:⁹⁰

- in der Bodenplatte
- direkt unter der Bodenplatte

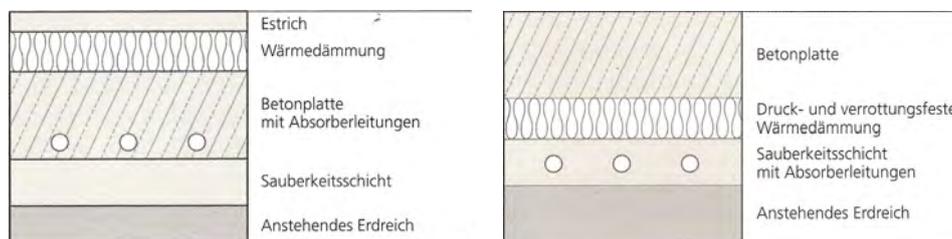


Abbildung 4.9: Links: Verlegung in der Bodenplatte, Rechts: Verlegung unter der Bodenplatte⁹¹

Bei in der Bodenplatte verlegten Absorbern, siehe Abbildung 4.9 links, werden die Rohre an der Bewehrung befestigt, anschließend kann die Bodenplatte betoniert werden. Diese Leitungsverlegung ist statisch unproblematisch und gewährleistet einen gleichbleibenden Kontakt zwischen der Absorberrohräußenwand und dem Beton, über den die Wärme bzw. Kälte des Untergrundes in das Wärmeträgermedium aufgenommen wird.⁹²

⁸⁹vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.19

⁹⁰vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.18-19

⁹¹Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.19

⁹²vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.19

Aufgrund der unkomplizierteren Verlegungsarbeiten wird die Verlegung meist direkt unter der Bodenplatte ausgeführt. In diesem Fall werden die Rohre in der Sauberkeitsschicht, welche sich unterhalb der Platte befindet verlegt, siehe Abbildung 4.9 rechts. Weiters entfällt die Gefahr der Beschädigung während dem Betoniervorgang der Bodenplatte. Der Nachteil dieser Verlegemethode ist die zusätzlich einzuplanende Verlegezeit, diese entspricht etwa 80 - 100 m verlegte Leitung pro Partiestunde.

Bei in der Bodenplatte verlegten Absorbern kann die Befestigung der Rohre an der Bewehrung gleichzeitig während des Aushubs oder des Herstellens der Sauberkeitsschicht bewerkstelligt werden. Da die Bauart der Aktivierung unterhalb der Bodenplatte am häufigsten zur Anwendung kommt, wird der Ablauf dieser Methode im Anschluss beschrieben.^{93 94}

4.3.1 Ablauf des Einbaus

Nach dem Baugrubenaushub wird das Aushubplanum verdichtet, um eine geeignete Arbeitsfläche für die Verlegung der HD-PE-Rohre zu erhalten. Auf dem verdichteten Planum werden Baustahlgittermatten aufgelegt, an denen die HD-PE-Rohre befestigt werden können. Die Rohre werden schleifenförmig in Abständen von 20 - 30 cm verlegt. Bei Umlenkungen der Rohre um 180 °C sind die in Tabelle 4.5 angegebenen Mindestradien einzuhalten. Abbildung 4.10 zeigt eine Detailplanung von am Hauptbahnhof Wien durchgeführten 180 °C Biegungen. Weiters ist darauf zu achten, dass die verlegten Kreisläufe gleiche Längen besitzen um in der gesamten Leitung eine gleiche Durchströmung zu erhalten, siehe Kapitel 4.7.⁹⁵

Beim Verlegen der Rohre und auch später bei der Betonage der Magerbetonschicht sollten die Rohre nicht betreten werden. Da die Leitungen im Normalfall in Abständen von etwa 20 - 30 cm angeordnet werden, ist ausreichend Platz vorhanden um die Verlegung durchzuführen ohne die Rohre zu betreten.⁹⁶ Während dieser Arbeiten ist der Bereich für Baufahrzeuge zu sperren, da ein Überfahren der Rohre zu Materialbeschädigungen führen kann. Ebenso sind offene

⁹³vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.19

⁹⁴vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.18-19

⁹⁵vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.33

⁹⁶vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.33

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Flammen und andere hitzerzeugende Gegenstände von den Rohren fern zu halten, da diese Löcher in die Rohre schmelzen können.^{97 98}

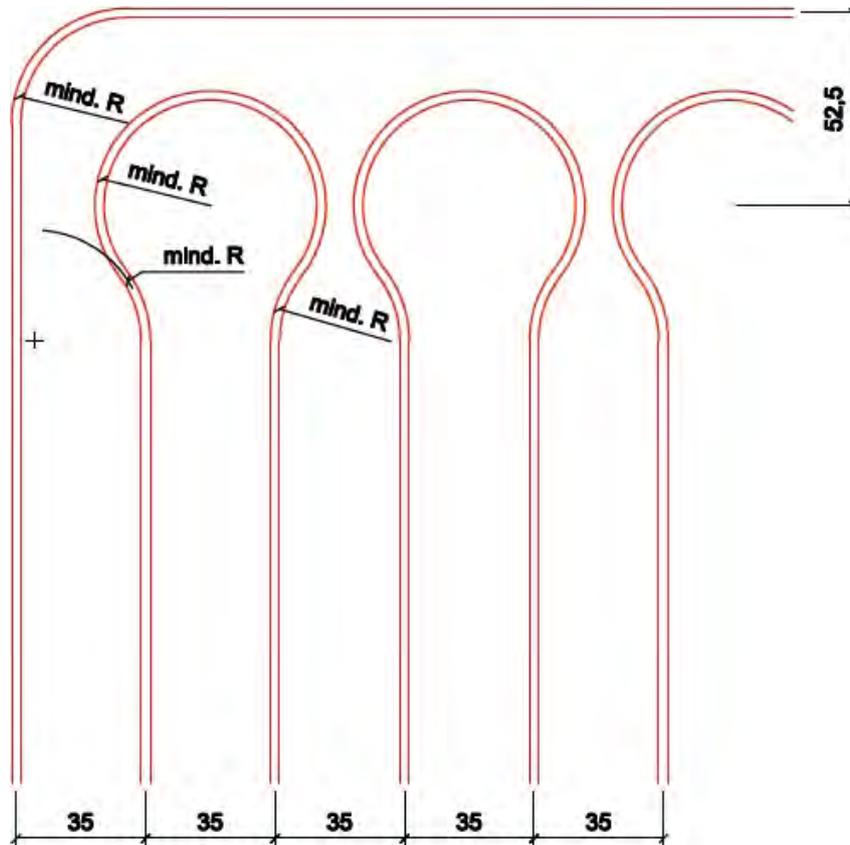


Abbildung 4.10: Detail Biegung 180 °C durchgeführt am Hauptbahnhof-Wien im Bauabschnitt W04-W12/L02-BTG1⁹⁹

Nach Fertigstellung der Verlegung werden die Leitungen an einem Verteiler zusammengeführt und der Druckprüfung, siehe Kapitel 5, unterzogen. Bei erfolgreichem Prüfungsabschluss ist der Abschnitt beschädigungsfrei ausgeführt worden und kann mit Magerbeton verfüllt werden um nachträgliche Beschädigungen an den Rohren auszuschließen. Diese Magerbetonschicht ist etwa 5 - 10 cm dick und stellt die Sauberkeitsschicht für den weiteren Bauablauf dar. Bei der Betonage ist ein Betreten und Verschieben der Leitungen zu vermeiden. Ein Verschieben kann durch unvorsichtiges, zu schnelles betonieren oder durch schlecht befestigte Leitungen hervorgerufen werden. Die Folgen können Abknicken oder zu eng aneinander liegende und sich thermisch beeinflussende Leitungen sein. Dies kann zu einer Leistungssenkung oder zum

⁹⁷vgl. ÖBA der ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Wichra: Interview (2013)

⁹⁸vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

⁹⁹ÖBB Projektleitung: Pläne (2012), Plan: Grundriss BT 05 Geothermie UG2, W04-W12/L02-BTG1

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Ausfall des Kreislaufes führen.^{100 101}

Durch die Betonage entsteht Druck auf die Leitungen. Dieser Druck führt zur Verringerung des Querschnittes der Rohre. Da durch den Betrieb der geothermischen Anlage Innendruck in den Rohren entsteht vergrößert sich der Leitungsquerschnitt wieder. Nachdem der Beton der die Rohre umgibt bei Inbetriebnahme der geothermischen Anlage bereits erhärtet ist, entstehen durch die Vergrößerung des Rohrquerschnittes Spannungen, welche zu Rissen im Beton führen können. Um dies zu verhindern sind die Rohre während der Betonage und dem Erhärtungsprozess der Magerbetonschicht unter Druck zu halten. Weiters ist der Druck in den Leitungen durch ein Manometer zu prüfen. Dadurch können Schäden während der Betonage wahrgenommen werden. Der Druck in den Rohren sollte ca. 8 bar betragen und wird mittels einem, auch für die Druckprüfung verwendeten, fahrbaren Schraubenkompressor erzeugt, siehe S. 30.^{102 103}

Alternativ kann auf dem Aushubplanum eine Sauberkeitsschicht hergestellt werden. Auf dieser werden anschließend die Baustahlgittermatten verlegt und die Rohre befestigt. Danach werden, wie zuvor beschrieben, die unter Druck stehenden Leitungen mit einer Schutzbetonschicht abgedeckt bzw. ummantelt.¹⁰⁴

Um die Wärmeüberträger von der Gebäudetemperatur thermisch zu trennen wird oberhalb der Sauberkeitsschicht oder Schutzbetonschicht eine druck- und verrottungsbeständige Wärmedämmung angebracht. Die Dämmung kann auch oberhalb der Bodenplatte angebracht werden, allerdings muss eine thermische Trennung zwischen dem Innenbereich und den Absorberleitungen vorgesehen werden.¹⁰⁵

Anschließend wird die Bodenplatte auf der Sauberkeitsschicht bzw. auf der Wärmedämmung hergestellt.

¹⁰⁰vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.33

¹⁰¹vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁰²vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.33

¹⁰³vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁰⁴vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmennutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.19

¹⁰⁵vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.18-19



Abbildung 4.11: Aktivierung unter der Bodenplatte bei U2 Station Messe¹⁰⁶

4.3.2 Besonderheiten

Da die Bodenplattenabschnitte nur in begrenzter Größe hergestellt werden können, ist bei der Planung sowie bei der Verlegung der geothermischen Leitungen auf die Betonierabschnitte Rücksicht zu nehmen. Das heißt, dass die Verlegeabschnitte der Leitungen möglichst den Betonierabschnitten entsprechen sollten. Um Bauzeit zu sparen kann es sinnvoll sein, mit jenen Abschnitten zu beginnen, welche am weitesten entfernt vom Verteiler liegen. Dadurch können die Leitungen, die erst in unmittelbarer Nähe des Verteilers die Bodenplatte durchqueren sollen, ohne Hindernis eines bereits fertig gegossenen Abschnittes verlegt werden, siehe Abbildung 4.12. Bei großen Projekten sind die Abschnitte mit Leitungskanälen zu verbinden, welche die Leitungen zum Verteiler führen.¹⁰⁷

Außerdem ist auf bereits bestehenden Zu- und Ableitungen, wie Wasserleitungen und Kanalrohre, des Gebäudes Rücksicht zu nehmen. Diese Leitungen können die Absorber thermisch beeinflussen, dementsprechend ist ein ausreichender Abstand zu halten. Die Leitungen der anderen Gewerke sind meist mit einem Gefälle verlegt, weswegen vor allem in der Planung auf die Höhenlage zu achten ist. Weiters ist deren Durchlass durch die Bodenplatte in geeigneter

¹⁰⁶Enercret: Fotos zur Verfügung gestellt von Enercret (2013)

¹⁰⁷vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)



Abbildung 4.12: Verteiler und Bodenplattendurchlass¹⁰⁸

Weise zu dämmen, um einen thermischen Kurzschluss zu verhindern.¹⁰⁹

4.4 Energiepfahl

Im Gegenteil zu den auf S. 14 beschriebenen Erdwärmesonden werden Pfähle in erster Linie aus statischen Gründen errichtet. Beispielsweise bei oberflächennahem nicht tragfähigem Untergrund werden Pfähle zur Gründung verwendet. Diese können wie Bodenplatten auch thermisch aktiviert werden.

Um Pfähle mit geothermischen Leitungen zu belegen, entstehen bei der Pfahlherstellung kaum zusätzliche Arbeitsschritte. Da die Pfähle nicht nur aus Gründen der Energienutzung errichtet werden, sind aktivierte Pfähle eine wirtschaftliche und kostengünstige Methode um die im Untergrund vorhandene Energie zu nutzen. Im Vergleich mit nicht aktivierten Gründungspfählen liegen die Mehrkosten bei etwa 10-15%.¹¹⁰

¹⁰⁸ÖBB: Fotos zur Verfügung gestellt von ÖBB (2013)

¹⁰⁹vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹¹⁰vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.17-18

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

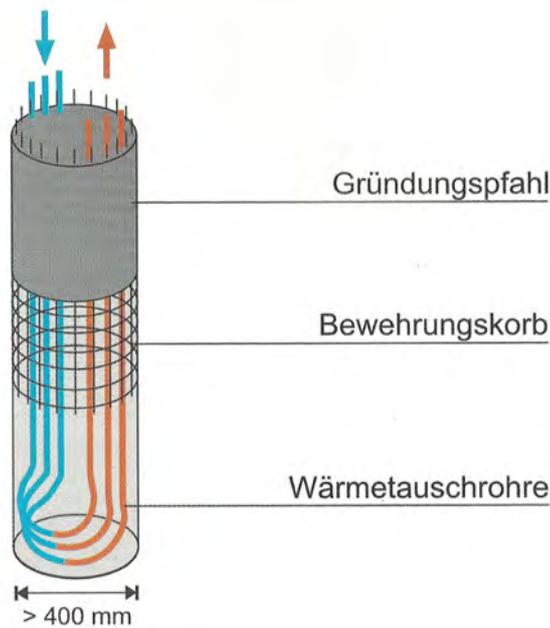


Abbildung 4.13: Skizze eines belegten Energiepfahls¹¹¹

Grundsätzlich können die meisten Arten der momentan gängigen Gründungspfähle thermisch aktiviert werden. Dazu zählen folgende Pfahlarten:

- Ortbetonpfahl
- Schnecken-Ortbetonpfahl
- Fertigrammpfahl
- Hohlpfahl

Um die Pfähle thermisch zu aktivieren werden die Absorberleitungen (HD-PE-Rohre) hauptsächlich innerhalb der Bewehrung verlegt. Die Leitungen werden meist in mehreren U-förmigen Schleifen am Bewehrungskorb des Pfahles befestigt, siehe Abbildung 4.13. Weiters sind auch mäander- und spiralförmig belegte Pfähle möglich, diese sind allerdings schadensanfälliger bei der Herstellung in Ortbetonpfählen, siehe Kapitel 6.2.2 und kommen deswegen selten zur Anwendung.¹¹²

Bei absorberbelegten Pfählen ist bereits während der Planung aber auch noch während des Betriebs der thermischen Anlage darauf zu achten, dass die Tragfähigkeit des Pfahles nicht reduziert wird. Die Abmessungen des Pfahles sollten den statisch erforderlichen Maßen entsprechen. Werden zu viele Leitungen im Pfahl eingebaut, besteht die Gefahr, dass die tragfähige Querschnittsfläche des Pfahles zu gering wird. Deshalb sind beim statischen Nachweis der

¹¹¹Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.18

¹¹²vgl. Bockelmann/Fisch/Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen (2011), S.17-18

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

inneren Tragsicherheit die darin liegenden Leitungen zu berücksichtigen. Eine zu große Leitungszahl, welche zu einer Anpassung der Abmessungen führen würde, ist zu vermeiden.

Während des Betriebs kann eine zu niedrige Temperaturen des Wärmeträgermediums zu Frost im Pfahl und im umgebenden Untergrund führen. Diese Problematik kann sich aber auch bei anderen belegten Bauteilen wie Bodenplatten und Schlitzwänden zeigen. Allerdings verringert eine Eisbildung die Mantelreibung zwischen Pfahl und Untergrund. Die Folge daraus kann ein Tragsicherheitsproblem sein. Um diese Schäden zu verhindern sollte die Temperatur des Trägermediums so begrenzt werden, dass kein Frost im Untergrund entstehen kann.

Weiters sind zu große Temperaturschwankungen im Pfahl zu verhindern. Diese können durch Temperaturunterschiede zwischen Wärmeträgermedium und Untergrund entstehen und führen zu Zwangsbeanspruchungen. Dies kann verhindert werden indem das mögliche Temperaturspektrum des Trägermediums begrenzt wird und sich an der Jahresmitteltemperatur, welche der Untergrundtemperatur ab ca. 10 m Tiefe entspricht, in Österreich etwa 10 °C, orientieren.^{113 114}

Die thermischen Berechnungen von Energiepfählen entspricht jenen von Erdwärmesonden.¹¹⁵ Diese gibt vor, dass der Abstand zweier Pfähle größer als 5 m zu wählen ist, um eine gegenseitige thermische Beeinflussung zu vermeiden. Daraus folgt, dass nicht alle Pfähle eines Bauwerks aktiviert werden sollten, um eine optimale Leistung der Anlage erzielen zu können. Werden trotzdem alle Pfähle aktiviert, ist bei der Berechnung eine Reduzierung der prognostizierten Leistung der einzelnen Pfähle vorzunehmen. Daher ist bei energetisch genutzten Pfahlwänden eine Aktivierung jedes einzelnen Pfahles nicht empfehlenswert.^{116 117}

Im Falle von überschnittenen Bohrpfahlwänden werden zuerst die Primärpfähle hergestellt, siehe obere Zeile Abbildung 4.14. Die Belegung mit Absorbern ist nur in den Sekundärpfählen zulässig, siehe zweite Zeile der Abbildung 4.14.

¹¹³vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.16-17

¹¹⁴vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.30-31

¹¹⁵vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.41

¹¹⁶vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.16-17

¹¹⁷vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.30-31

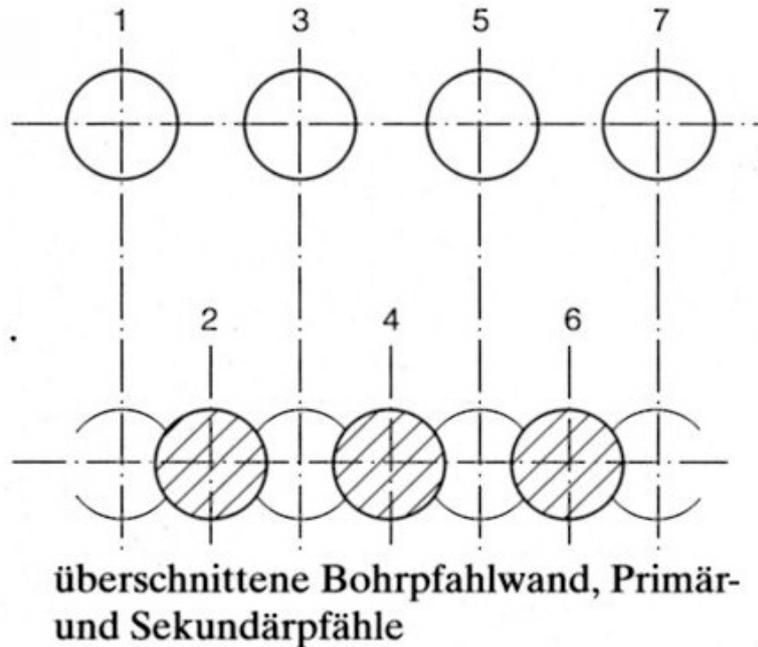


Abbildung 4.14: Bohrpfahlwand: obere Zeile Primärpfähle, untere Zeile Sekundärpfähle¹¹⁸

Um bei Ortbetonpfählen eine Anschlussmöglichkeit der Leitungen nicht nur am Pfahlkopf zu ermöglichen sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Dies ist vor allem bei Baugrubenumschließungen nötig, da die Leitungen zur sich im Keller befindenden Wärmepumpe geführt werden müssen. Die Anschlussstelle kann einerseits mittels Verlegung der HD-PE-Rohre außerhalb des Bewehrungskorbes erfolgen, ähnlich der Ausführung bei Schlitzwänden, siehe Kapitel 4.5. Andererseits kann im Bewehrungskorb ein Metallkasten eingebaut werden, welcher nach dem lagegenauem Einstellen des Bewehrungskorbes freigeräumt wird und so Anschlussstelle zu den HD-PE-Rohren im Pfahl darstellt, siehe Abbildung 4.15.¹¹⁹

4.4.1 Ablauf des Einbaus - Ortbetonpfahl

Der Ablauf der Herstellung eines aktivierten Ortbetonpfahls weicht grundsätzlich kaum von der Herstellung eines nicht mit Absorbieren belegtem Ortbetonpfahl ab. Man unterscheidet:

- Ortbetonrammpfähle
- Ortbetonbohrpfähle

¹¹⁸www.beton.org: Spezialtiefbau bei Infrastrukturmaßnahmen (2013)

¹¹⁹vgl. Hude/Volker: Erdwärmennutzung und Ausführung auf der U-Bahnbaustelle U2/1 in Wien (Heft 54, Oktober 2003), S.16-17



Abbildung 4.15: Anschlusskasten¹²⁰

Ortbetonrammpfähle wie beispielsweise Franki-Pfähle und Simplex-Pfähle zeichnen sich durch die Herstellung der Hohlräume mittels Rammung aus. Beim Franki-Pfahl wird das Rammrohr im unteren Bereich mit einem Beton- oder Kies-Pfropfen verschlossen. Der Rammbar rammt mittels Innenrammung den Pfropfen in den Untergrund wodurch das Vortreibrohr in den Untergrund gerammt wird. Beim Simplex-Pfahl wird das Vortreibrohr mit einer verlorenen Stahl-Fußplatte verschlossen und mittels Kopframung in den Untergrund gerammt. Nach Erreichen der Endtiefe kann beim Franki-Pfahl zusätzlich der Propfen weiter ausgeschlagen werden, um einen vergrößerten Pfahlfuß zu erhalten.¹²¹

Ortbetonbohrpfähle unterscheiden sich in verrohrte und unverrohrte Bohrfähle.

Bei der Herstellung einer verrohrten Bohrung kann das Bohrrohr durch verschiedene Methoden in den Untergrund eingebracht werden. Einige davon sind im Folgenden beschrieben:¹²²

- Statische Auflast: Dieses Einbringverfahren eignet sich für Pfähle, welche in leichten Böden (locker gelagerte Sande und Kiese oder weiche bindige Böden) hergestellt werden. Aufgrund der zu groß werdenden Mantelreibung bei langen Pfählen können nur kurze Pfähle hergestellt werden. Zum Ziehen des Rohres wird der Baggerausleger verwendet. Bei längeren Pfählen kann der Einsatz eines leichten Vibrationsrüttlers verwendet werden.

¹²⁰Hude/Volker: Erdwärmenutzung und Ausführung auf der U-Bahnbaustelle U2/1 in Wien (Heft 54, Oktober 2003), S.16

¹²¹vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.204-210

¹²²vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.70-72, S.78-81

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

- Hydraulisch oszillierendes Eindringen mittels Verrohrungsmaschine: Das Verfahren findet hauptsächlich in wasserführenden Böden seine Anwendung. Beim Abteufen drückt die Verrohrungsmaschine die Rohre unter oszillierender Bewegung in den Untergrund. Beim Ziehen des Rohres wird der Vorgang umgekehrt und es wird unter oszillierenden Bewegungen gezogen.
- HW-Schwinge: Diese Methode der Bohrrohrenbringung zeichnet sich durch eine druckluftbetriebene Drehschwinge aus. Diese ist am oberen Bereich des Rohres befestigt und schwingt auf Kugellagern gelagert abwechselnd im und gegen den Uhrzeigersinn. Bei Erreichen der maximalen Auslenkung schlägt das Schwinggewicht gegen Anschlagnocken. Daraufhin wird ein Umlenkmechanismus ausgelöst, der das Gewicht in die andere Richtung schwingen lässt. Durch die Drehung um jeweils 50° wird das Rohr in den Untergrund eingebracht. Um das Bohrrohr zu ziehen wird es oben luftdicht verschlossen und innen mit Druckluft beaufschlagt. Daraufhin wird die HW-Schwinge aktiviert und das Rohr wird durch die Druckluft und die Drehbewegung gezogen.
- Einrütteln: Das Bohrrohr kann durch die Verwendung eines Elektro- oder Hydraulikvibrators in den Boden eingebracht und gezogen werden. Hierfür wird das Gerät am oberen Rand des Rohres angebracht. Dieses rüttelt das Rohr in den Untergrund.

Im Schutz des Bohrrohres wird der Boden mittels Greifer oder Bohrschnecken ausgehoben. Um große Felsen, welche nicht vom Greifer oder der Bohrschnecke ausgehoben werden können zu zerkleinern, kommen Hilfseinrichtungen wie Bohrmeißel zur Anwendung.

Anschließend wird in die verrohrte Bohrung der bereits absorberbelegte Bewehrungskorb eingebracht. Die Bewehrungskörbe sollten nach Möglichkeit bereits im Werk belegt werden, um Verlegefehler auf der Baustelle auszuschließen. Wenn die Leitungen auf der Baustelle an den Bewehrungskorb angebracht werden ist zu beachten, dass der Bindedraht der Bewehrung zur Verbindung nicht geeignet ist. Stattdessen sind Kabelbinder zu verwenden.

Die Pfähle können bis zu 60 m lang sein und einen Durchmesser zwischen 60 und 180 cm besitzen.¹²³ Dadurch kann es erforderlich sein, dass mehrere Bewehrungskörbe übereinander in die Bohrung eingestellt werden. Um die Schweißarbeiten bei der Verbindung der HD-PE-Rohre während des Einstellens zu minimieren, sollten möglichst nur eine Zu- und eine Ableitung pro Bewehrungskorb vorhanden sein, siehe Abbildung 4.16. Nachdem sich der Bewehrungskorb in der Bohrung befindet wird der Beton über das Betonierrohr von unten

¹²³vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.16

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

beginnend eingebracht. Dabei ist besonders darauf zu achten, dass zwischen Betonierrohr und den HD-PE-Rohren keine zu großen Reibungen entstehen, um Beschädigungen zu verhindern. Während des gesamten Betoniervorganges ist die Rohrleitung unter Druck zu halten, um auftretende Schäden sofort feststellen zu können.¹²⁴



Abbildung 4.16: Belegte Pfahlbewehrungskörbe¹²⁵

Zusätzlich wird, abhängig vom verwendeten Einbringverfahren der Verrohrung, während oder nach dem Betoniervorgang das Bohr- bzw. Rammrohr gezogen. Nachdem der Pfahl erhärtet ist wird er auf Sollhöhe gekappt.¹²⁶

Eine unverrohrte Bohrung wird ähnlich dem *Schlitzwandverfahren* oder mittels Endlosschnecke hergestellt. Bei der suspensionsgestützten Bohrpfahlherstellung unterscheidet sich das Abteufen der Bohrung kaum vom Herstellungsverfahren einer Schlitzwand, welches im Kapitel 4.5 beschrieben ist. Nachdem die Bohrung hergestellt wurde wird ähnlich zur verrohrten Pfahlherstellung der bereits belegte Bewehrungskorb eingebracht und anschließend von unten beginnend mit Beton verfüllt. Die Herstellung einer unverrohrten Bohrung mittels Endlosschnecke bzw. die Herstellung eines Schnecken-Ortbetonpfahles wird im folgenden Kapitel beschrieben.¹²⁷

¹²⁴vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.70-133

¹²⁵Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

¹²⁶vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.70-133

¹²⁷vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.76-77

4.4.2 Ablauf des Einbaus - Schnecken-Ortbetonpfahl

Schnecken-Ortbetonpfähle, auch *SOB-Pfähle* genannt, zeichnen sich durch die spezielle Stützung des Bohrloches aus. Eine Endlosschnecke wird ohne Bohrrohr in den Untergrund eingedreht. Dabei fördert sie kontinuierlich Boden. Die Stützung erfolgt durch den Boden selbst, der sich noch in der Schneckenwendel befindet. Um die Füllung der Wendel auf die gesamte Länge der Bohrung zu gewährleisten sind die Parameter Andruck und Drehzahl aufeinander und auf den Untergrund abzustimmen. Da die Länge der Bohrschnecke der maximalen Bohrtiefe entspricht ist diese auf etwa 40 m beschränkt bei Durchmessern von bis zu 140 cm.¹²⁸

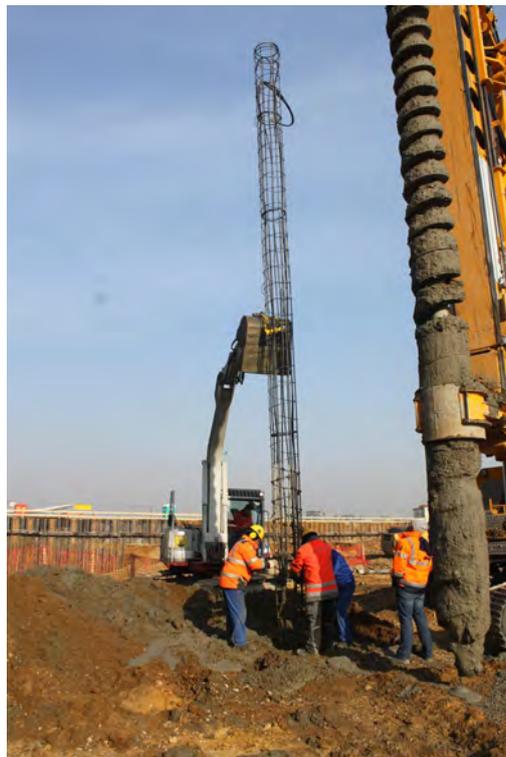


Abbildung 4.17: SOB-Pfahlherstellung¹²⁹

Während des Bohrvorganges sollte der Bewehrungskorb für das spätere Einrütteln vorbereitet werden. Dafür muss der Korb bereits mit den Absorberleitungen belegt sein.

Anschließend wird der Beton über das Seelenrohr in der Mitte der Schnecke in die Bohrung eingepresst. Die Schnecke wird dabei ohne Drehbewegung aus der Bohrung gezogen. Die Ziehgeschwindigkeit hängt vom Betondruck und der Betonmenge ab. Bevor der Beton aushärtet wird der vorbereitete Bewehrungskorb in die Bohrung eingerüttelt oder eingedrückt, siehe Abbildung 4.17. Dabei ist der Bewehrungskorb mittels Abstandhaltern zentral zu positionieren.

¹²⁸vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.135-137

¹²⁹Enercret: Fotos zur Verfügung gestellt von Enercret (2013)

Besondere Vorsicht ist bei der Aussteifung des Korbes geboten, da beim Einrütteln eine hohe Steifigkeit benötigt wird um den in Kapitel 6.2.3 beschriebenen Schadensfall zu verhindern.¹³⁰

4.4.3 Ablauf des Einbaus - Beton- und Stahlbeton-Fertigrammpfahl

Die Belegung von Fertigrammpfählen mit Absorbern findet bereits im Werk statt. Dadurch können Verlegefehler auf der Baustelle und Beschädigungen an den HD-PE-Rohren bei der Herstellung großteils vermieden werden.

Die Pfähle können in verschiedenen Querschnittsformen verwendet werden, wobei rechteckige und runde Formen die meiste Anwendung finden. Sie werden mit Durchmesser bzw. Seitenlängen von 30-60 cm auf die Baustelle geliefert. Die Anlieferung erfolgt mittels LKWs. Daraus ergibt sich eine maximale Pfahllänge von 14 m, übliche Längen sind 2-14 m.¹³¹

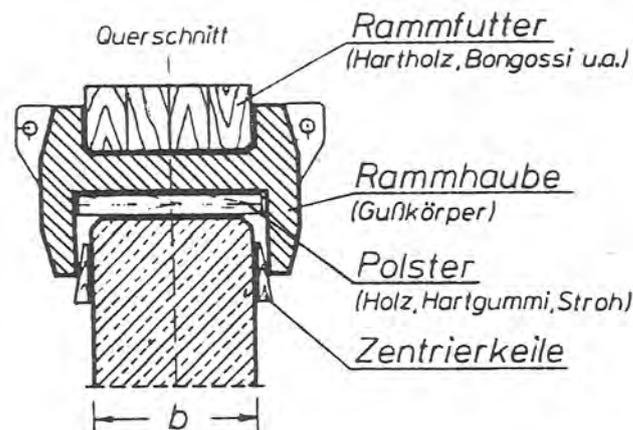


Abbildung 4.18: Rammhaube¹³²

Die Pfähle werden mittels eines Rammjärens in den Untergrund gerammt. Während des Rammvorganges ist der Pfahlkopf vor den Schlägen mit einer Rammhaube zu schützen, siehe Abbildung 4.18. Die Rammhaube wird auf dem Pfahl angebracht und mittels Zentrierkeilen in Position gehalten. Zwischen Pfahlkopf und Haube befindet sich der Polster, bestehend aus Weichholz oder ähnlichen Materialien. Dieser Teil ist je nach Verschleiß während des Rammens zu erneuern. Auf der Rammhaube befindet sich das Rammfutter aus Hartholz, dieses schützt die Haube vor Beschädigung.¹³³

¹³⁰vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.135-137

¹³¹vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.198-199

¹³²Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.198

¹³³vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.198-199

Etwa 50 cm unterhalb des Pfahlkopfes ist eine Aussparung vorzusehen, um die im Pfahl verlegten Rohre an den Kreislauf der geothermischen Anlage anzuschließen.¹³⁴

4.4.4 Ablauf des Einbaus - Hohlpfahl

Hohlpfähle sind Rammfähle aus Stahlbeton oder aus Stahl. Diese werden wie die in Kapitel 4.4.3 beschriebenen Ferigrammpfähle im Werk gefertigt und auf die Baustelle transportiert. Die meist runden Querschnitte besitzen einen Durchmesser von 30-60 cm und die Pfahlteile besitzen Längen von bis zu 14 m.¹³⁵ Mittels Pfahlkupplungen können mehrere Pfahlteile verbunden und in den Boden eingebracht werden.¹³⁶



Abbildung 4.19: Hohlpfähle aus Stahl¹³⁷

Der Rammvorgang und der Schutz des Pfahlkopfes entspricht dem selben wie bei Ferigrammpfählen. Im Unterschied zu diesen sind Hohlpfähle nach dem Einbringen in den Untergrund im Inneren, der sogenannten *Seele*, hohl. In diesen Hohlraum werden Erdwärmesonden, welche bereits auf Seite 14 beschrieben wurden, eingeführt. Anschließend wird der Hohl-

¹³⁴vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.31

¹³⁵vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.16-17

¹³⁶vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.198

¹³⁷Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

raum mit Beton oder Sand, je nach statischer Erfordernis, verfüllt und nur mehr die Zu- und Ableitung der Sonde ragen aus dem Pfahl, siehe Abbildung 4.19.¹³⁸

Im Gegensatz zu Fertigrammpfählen kann die gesamte Länge der übereinander eingebrachten Pfählen genutzt werden. Der Nachteil dieser Leitungsverlegung ist allerdings, dass die Lage der Leitungen im Pfahl kaum kontrollierbar ist.¹³⁹

4.5 Schlitzwand

Thermisch aktivierte Schlitzwände sind wie Bodenplatten ebene Energiefundierungen, sie können aber auch als Baugrubenumschließung eingesetzt werden. Ähnlich den Bodenplatten, welche die Energie nur an deren Unterseite entziehen, nehmen Schlitzwände die Energie im Bereich des Bauwerkes nur einseitig an der Außenseite auf. Da aber die Schlitzwand meist tiefer als das Bauwerk selbst ist und somit tiefer als der Keller des Bauwerks in den Untergrund reicht, kann dort die Energie an beiden Wandseiten aufgenommen werden. Im Vergleich zu Pfählen, ausgenommen Pfahlwände, ist der für den Wärmeentzug genutzte Untergrund klein. Dies lässt eine geringere Entzugsleistung vermuten. Die Vermutung kann aber durch Beobachtungen von ausgeführten Praxisbeispielen nicht belegt werden. Schlitzwände sind, wenn sie als Baugrubenumschließung ausgeführt wurden, meist in direktem Kontakt mit dem beheiztem Innenraum des Gebäudes. Ähnlich zur Bodenplatte ist die Wand thermisch vom Innenraum zu trennen, um einen *energetischen Kurzschluss* auszuschließen.¹⁴⁰

Durch die große mögliche Tiefe von 100 m und mehr besitzen die Schlitzwände ein großes Energiepotential. Sie sind unabhängig von den Schwankungen der Außentemperatur und liefern somit einen das ganze Jahr über konstanten Energiefluss.

Um Schlitzwände zu aktivieren werden entweder bereits im Werk oder auf der Baustelle die HD-PE-Rohrleitungen am Bewehrungskorb befestigt. Zur Befestigung werden Kabelbinde verwendet. Die Leitungen werden in U-förmigen Schleifen verlegt, wobei die Absorber hauptsächlich an den erdberührenden Seiten anzubringen sind. Erst in den unter dem Keller liegenden Bereichen erfolgt eine beidseitige Verlegung.¹⁴¹

¹³⁸vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.198

¹³⁹vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.31

¹⁴⁰vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.18-19

¹⁴¹vgl. Zauner: Oberflächennahe Erdwärmenutzung in Österreich (2009), S.17

Die Herstellung der Schlitzwände kann wie folgt unterteilt werden:

- Zweiphasensystem
- Einphasensystem
- Kombinationsverfahren

4.5.1 Ablauf des Einbaus

Beim **Zweiphasensystem** wird eine mit Stahl bewehrte Wand von bis zu mehr als 100 m hergestellt.

Nachdem die Schlitztrasse von alten Fundamenten und anderen Hindernissen geräumt wurde, können die Leitwände gesetzt werden. Die Leitwände dienen der Führung des Grabwerkzeuges, stützen den oberen Bereich des Schlitzes und geben den Grundriss des Bauteils vor. Sie werden aus Stahlbeton angefertigt und sollten zwischen 0,7 und 1,5 m tief in den Schlitz reichen.¹⁴²

Der Aushub findet mittels Greifer oder Fräse statt. Die Abmessungen des Aushubwerkzeuges geben die Dicke einer Lamelle vor. Diese liegt etwa im Bereich von 0,50-1,80 m wobei auch Sonderformen bis 3,00 m möglich sind. Die Breite eines Schlitzes beträgt 2,8-15,0 m und kann durch mehrere nebeneinander erfolgende Stiche hergestellt werden. Um den Schlitz während des Aushubs zu stützen wird eine flüssige Suspension eingefüllt, meist wird Bentonit verwendet. Deren hydrostatischer Druck wirkt dem Erdreich entgegen. Schwere Fallmeißel kommen zum Einsatz, wenn Hindernisse angetroffen werden, welche der Greifer bzw. die Fräse nicht bewältigen können. Nach dem die Endtiefe erreicht wurde, werden an beiden Enden der Lamelle Abschalelemente eingebracht.¹⁴³



Abbildung 4.20: Befestigung des Bewehrungskorbes an der Leitwand¹⁴⁴

¹⁴²vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.376-400

¹⁴³vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.376-400

¹⁴⁴Foto der MA29 vom Bauabschnitt U1/9, Station Altes Landgut

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Anschließend wird der bereits absorberbelegte Bewehrungskorb eingebaut. Dieser besteht bei tiefen Schlitzwänden meist aus mehreren übereinander stehenden Teilen. Beim Einbau wird der erste Bewehrungskorb bis zur Leitwand in den Schlitz abgelassen. Dort wird er mittels Stahlstangen, welche durch ihn hindurch geschoben werden und auf der Leitwand aufliegen befestigt, siehe Abbildung 4.20. Nun kann der zweite Korb über den ersten gehoben werden und die Längseisen des Bewehrungskorbes werden gestoßen, siehe Abbildung 4.21. Gleichzeitig müssen auch die Absorberleitungen verbunden werden. Hier werden großteils Elektro-Schweißmuffen, siehe Abbildung 4.8 in Kapitel 4.2.2, verwendet, da hierdurch eine schnelle Verbindungen hergestellt werden kann. Dieser Vorgang kann sooft wiederholt werden, bis die Tiefe des Schlitzes erreicht ist.^{145 146}



Abbildung 4.21: Zweiter Bewehrungskorb wird über den ersten gehoben¹⁴⁷

Sobald der Bewehrungskorb eingebaut ist kann mit dem Betonieren des Schlitzes begonnen werden. Hierfür wird mittels dem *Kontraktorverfahren* die gesamte Lamelle von unten nach oben ausbetoniert. Dabei wird in der Mitte des Bewehrungskorbes ein Schüttrrohr in den Schlitz abgelassen. Durch dieses gelangt der Beton bis an die Schlitzwandunterkante. Das Rohr bleibt während dem Betoniervorgang in den zuvor eingefüllten Beton eingetaucht und wird langsam nach oben gezogen. Dadurch wird ein Auswaschen des Betons verhindert. Während von unten

¹⁴⁵vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.376-400

¹⁴⁶vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁴⁷Foto der MA29 vom Bauabschnitt U1/9, Station Altes Landgut

Beton eingefüllt wird, wird oben die Stützflüssigkeit abgepumpt und für den Gebrauch bei der nächsten Lamelle vorbereitet.¹⁴⁸

Zuletzt werden nach dem Ansteifen des Betons die Abschalelemente entfernt. Die Abschalelemente werden in verschiedenen Ausführungen verwendet und sind entscheidend für die Beschaffenheit der Fugen zwischen den Lamellen. Um beispielsweise eine wasserundurchlässige Baugrube zu erhalten, werden Abschalelemente mit Fugenband verwendet.¹⁴⁹

Im Unterschied zum Zweiphasensystem wird beim **Einphasensystem** keine eigene Stützflüssigkeit verwendet. Als Stützung des Schlitzes wird eine verzögernd erhärtende Suspension auf Zementbasis verwendet. Diese stellt nach dem Aushärten das Wandelement dar. Ansonsten folgt dieses Verfahren den oben beschriebenen Arbeitsschritten.¹⁵⁰

Das **Kombinationsverfahren** entspricht dem Einphasensystem. Ebenso wird zur Stützung eine Suspension auf Zementbasis verwendet. Anstelle des Bewehrungskorbes werden allerdings Beton-Fertigteile in den Schlitz eingestellt. Diese werden, ähnlich den Fertigrampfpfählen, bereits im Werk mit Absorbern belegt, wodurch Beschädigungen durch die Verlegung auf der Baustelle und durch die Herstellung der Wand ausgeschlossen werden können.¹⁵¹

4.5.2 Besonderheiten

Die plangemäße Verlegung der HD-PE-Rohre in den Schlitzwänden ist von großer Bedeutung. Da die Wände oft die gesamte Baugrube umfassen, ist die einzige Möglichkeit für Zu- und Ableitung eine Durchdringung des Bauteils. Bei nicht plangemäßer Belegung oder bei Bohren ohne den Verlegungsplan zu kennen, besteht die Gefahr des Anbohrens einer Leitung. Angebohrte Leitungen im fertiggestelltem Bauteil sind irreparabel und führen zum Ausfall eines in der Lamelle verlegten Kreislaufes. Um nicht die gesamte Leitungslänge einer Lamelle zu verlieren, werden meist mehrere Kreisläufe pro Lamelle verlegt.¹⁵²

Bewehrungskörbe von Schlitzwänden sind meist in mehrere nebeneinander liegende Kammern unterteilt. Ablaufbedingt muss das Schüttrohr beim Betoniervorgang in eine dieser Kammern bis zum Wandfuß abgelassen werden. Da bei großer Wandtiefe das Schüttrohr sehr schwer

¹⁴⁸vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.376-400

¹⁴⁹vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.376-400

¹⁵⁰vgl. www.enercret.com: erdberührte Bauteile (2013)

¹⁵¹vgl. www.enercret.com: erdberührte Bauteile (2013)

¹⁵²vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

ist und an den Bewehrungseisen der Kammern entlang gleitet besteht die Gefahr, dass die Leitungen in der Schlitzwand beschädigt werden. Um dies zu verhindern ist es sinnvoll die Kammer in die das Schüttrohr eingebracht werden soll freizulassen und nicht zu belegen. Es handelt sich dabei meist um die Kammer in der Mitte des Bewehrungskorbes. Wenn bei jeder Lamelle der gleiche Bereich freigelassen wird, ist auch beim nachträglichen Durchbohren der Schlitzwand die Gefahr einer Leitungsbeschädigung geringer, da bei allen Lamellen der gleiche Bereich nicht belegt ist und daher durchbohrt werden kann. Beim Durchbohren ist allerdings trotz dieser Maßnahme immer der Belegungsplan einzusehen.¹⁵³

Zur Minimierung der Schweißverbindungen von übereinander stehenden Bewehrungskörben, sollte versucht werden, pro Bewehrungskorb einen eigenen Kreislauf herzustellen. Dadurch sind beim ersten Stoß zwei Verbindungen, eine Zu- und eine Ableitung, herzustellen. Beim zweiten Stoß wären dies dann vier und beim dritten sechs Verbindungen. Da dadurch die Leitungslänge der einzelnen Kreisläufe geringer ist, ist der Leistungsverlust bei Ausfall eines Kreislaufes geringer.¹⁵⁴

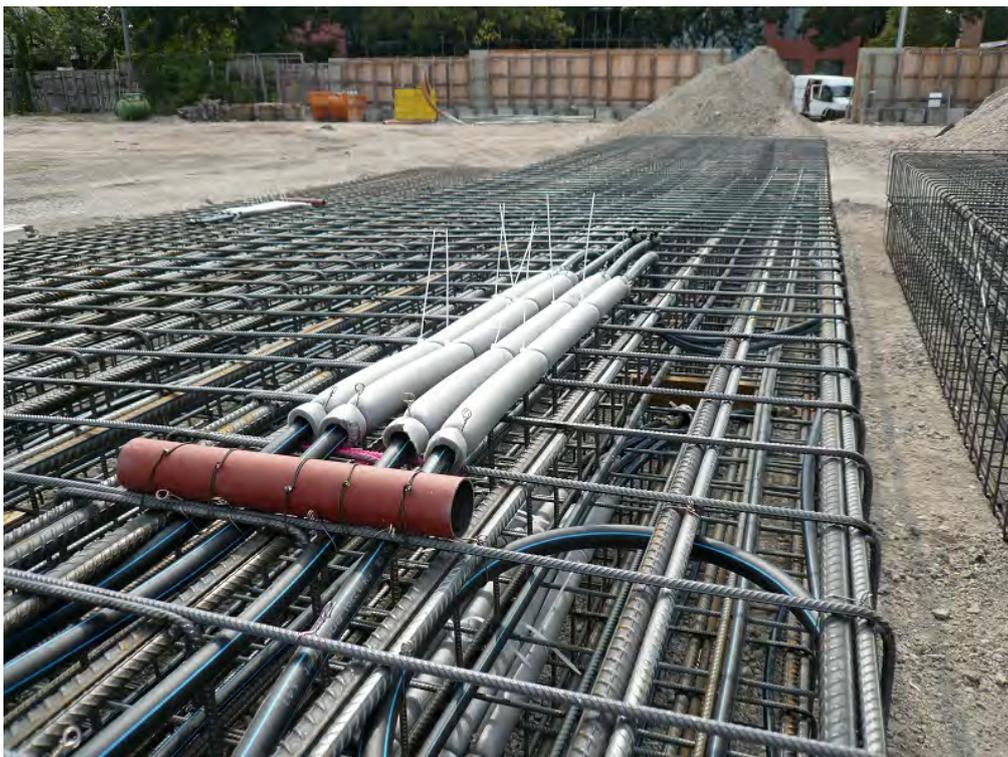


Abbildung 4.22: Schlitzwand Anschlussstelle¹⁵⁵

Die Absorberleitungen müssen mit der Wärme- und Umwälzpumpe verbunden sein um

¹⁵³vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁵⁴vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁵⁵Enercret: Fotos zur Verfügung gestellt von Enercret (2013)

die Energie aus dem Wärmeträgermedium zu gewinnen und das Trägermedium im Leitungssystem zirkulieren zu lassen. Um die Leitungen möglichst vor den Schwankungen der Außentemperatur zu schützen, ist es sinnvoll beide Pumpen im Keller zu positionieren. Dadurch liegt eine kürzere Leitungslänge im von Außentemperaturen beeinflusstem Untergrund vor und es muss weniger Leitungslänge mittels Dämmung geschützt werden.¹⁵⁶

Schlitzwände werden häufig auch als Baugrubensicherung genutzt und reichen somit bis zum oberen Rand der Baugrube. Da etwa die oberen 10 m des Untergrundes den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen unterliegen ist das geothermische Entzugspotential gering. Daher ist es häufig sinnvoll den Anschluss der Leitungen in größerer Tiefe auszuführen. Um dies zu erreichen, werden die Leitungen im Bereich des gewünschten Anschlussbereich außerhalb des Bewehrungskorbes geführt und mit Schaumstoff vor Beschädigung geschützt, siehe Abbildung 4.22. Dieser Bereich wird nach Fertigstellung der Wand freigelegt und stellt die Anschlussstelle auf der gewünschten Höhe dar.¹⁵⁷

4.6 Energietunnel

Nicht nur im Tiefbau können Bauteile geothermisch aktiviert werden, auch mittels Tunnelbauwerken lässt sich Wärme aus dem Untergrund gewinnen. Tunnel bieten sich vor allem aufgrund der großen Kontaktfläche mit dem Erdreich an. Sie werden entweder in offener oder bergmännischer Bauweise hergestellt. Bei der offenen Methode kommen die bereits beschriebenen Bauteile wie Schlitzwände, Bodenplatten oder Pfähle zum Einsatz. Beim bergmännischen Verfahren bedarf es allerdings anderer Methoden um dem Untergrund Energie zu entziehen.¹⁵⁸ Hier finden verschiedene Systeme ihren Einsatz:

- Energievlies
- Energieanker
- Energietübbinge

Der Vorteil des bergmännischen Verfahrens liegt in der tieferen Lage des Tunnels. In diesen Bereichen sind die angetroffenen Temperaturen nicht von der Außentemperatur abhängig.

¹⁵⁶vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁵⁷vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

¹⁵⁸vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.20-22

Weiters lassen sich auch innere Wärmequellen wie die Abwärme von Fahrzeugen in einem Tunnel nutzen.¹⁵⁹

4.6.1 Ablauf des Einbaus - Energievlies

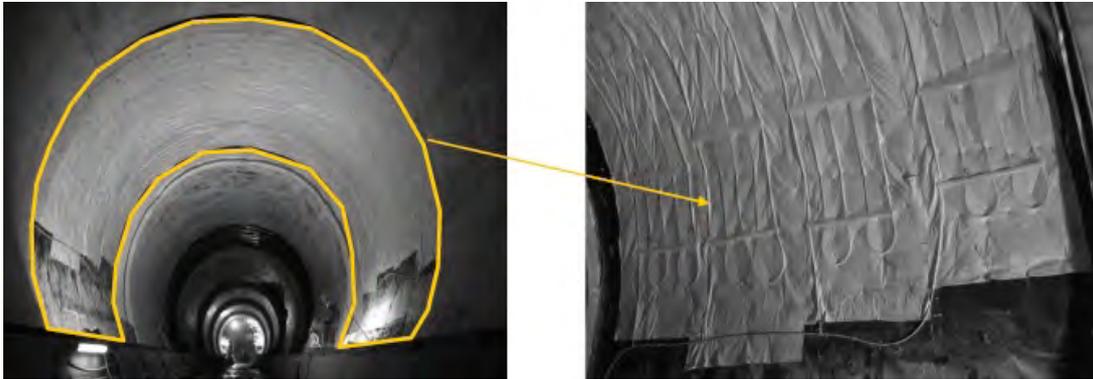


Abbildung 4.23: Energievlies¹⁶⁰

Das Energievlies wird bei der Spritzbetonbauweise eingesetzt. Hierbei wird nach dem Ausbruch der neu freigelegte Hohlraum mittels einer Spritzbetonschicht und Ankern gesichert. Beim später erfolgenden Ausbau wird auf dieser Außenschale eine Dichtungsbahn angebracht, siehe Abbildung 4.24. Diese dient der Abdichtung des Tunnels gegen Bergwasser. Das Energievlies beinhaltet bereits verlegte HD-PE-Rohre. Diese sind zwischen zwei Vlieslagen befestigt sind. Das Vlies wird als Fertigteil auf die Baustelle geliefert und muss zwischen der Außenschale und der Innenschale befestigt werden. Die Absorber der Vliese werden über Verteiler in Sammelleitungen zusammengeführt. Die Sammelleitungen bestehen aus einer Zu- und Ableitung. Sie verlaufen hinter der Innenschale und müssen das Wärmeträgermedium über relativ weite Strecken aus dem Tunnel zur Wärme- und Umwälzpumpe transportieren. Nachdem das Energievlies befestigt wurde wird die Innenschale betoniert.^{161 162}

¹⁵⁹vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.20

¹⁶⁰Franzius/Pralle: Mit Tunneln heizen (2009), S.8

¹⁶¹vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.20-22

¹⁶²vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.11-12, S.66

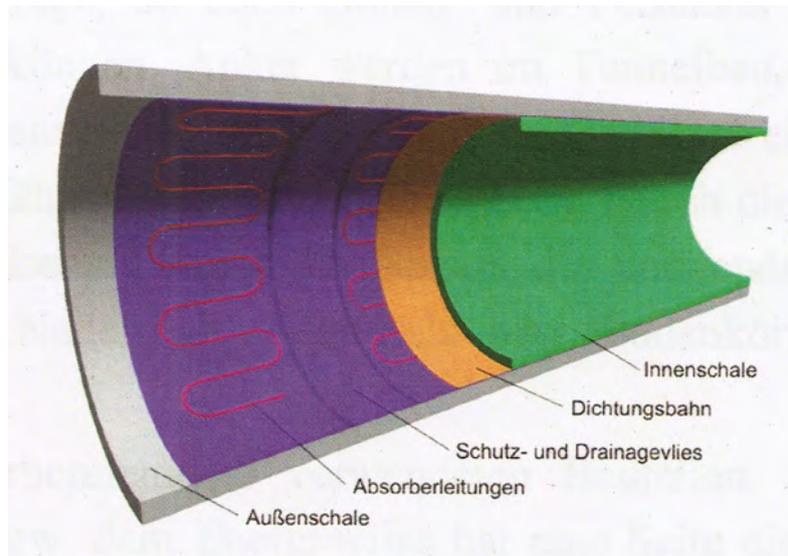


Abbildung 4.24: Systemskizze eines mit Energievlies aktivierten Tunnels¹⁶³

4.6.2 Ablauf des Einbaus - Energieanker

Im Tunnelbau werden unter anderem Anker in unterschiedlichen Ausführungen zur Stützung des Hohlraumes eingesetzt. Als Energieanker einsetzbar haben sich allerdings IBO-Selbstbohranker durchgesetzt. Diese Anker bestehen aus einer verlorenen Bohrkronen und einer Ankerstange. Beide Teile sind miteinander verschraubt. Die Ankerstangen weisen Längen von 2-3 m auf und können über Ankerkupplungen miteinander verschraubt werden. Die Außendurchmesser der Ankerstangen betragen zwischen 25 und 76 mm. Sie besitzen einen hohlen Kern, dessen Durchmesser über die gesamte Länge des Ankers 14-51 mm beträgt.¹⁶⁴

Die Anker werden zunächst mittels Bohrgerät unter Verwendung einer Bohrspülung eingebohrt. Anschließend wird über den hohlen Kern der Ringspalt zwischen Ankerstange und Gestein mit Zement verpresst. Alternativ kann eine Bohrspülung mit Zementmörtel verwendet werden. Diese erhärtet nach dem Bohrvorgang und füllt den Hohlraum zwischen Ankerstange und Gestein. Nachdem die Bohrung fertiggestellt ist, muss der hohle Kern mittels Wasser freigespült werden.¹⁶⁵

¹⁶³vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.11

¹⁶⁴vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.126-129

¹⁶⁵vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.161-168

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Der Anker kann mittels zwei verschiedener Systeme für die geothermische Nutzung aktiviert werden:¹⁶⁶

- Koaxialsonde
- Ankerkopfdichtung

Eine geschlossene **Koaxialsonde**, welche zuvor auf Dichtheit zu prüfen ist, wird in den hohlen Kern der Ankerstange eingeführt. Eine HD-PE-Koaxialsonde ist in Abbildung 4.25 dargestellt.



Abbildung 4.25: Energieanker mit eingeführter Koaxialsonde¹⁶⁷

Alternativ kann der Energieanker mittels einer **Ankerkopfdichtung** hergestellt werden. Dafür wird hinter der Bohrkronen eine Dichtung im Hohlkern eingeführt, siehe Nummer (1) in Abbildung 4.26. Nach einer Dichtheitsprüfung von etwa 24 h wird ein dünnes HD-PE-Rohr in den Anker eingeführt, siehe (2) in Abbildung 4.26. Dieses Rohr ist bergseitig, knapp vor dem Bohrkopf offen. Durch das Rohr findet die Zuleitung des Wärmeträgermediums statt. Entlang des verbleibenden Raumes zwischen HD-PE-Rohr und Ankerinnenwand fließt das Medium zurück und wird abgeleitet.

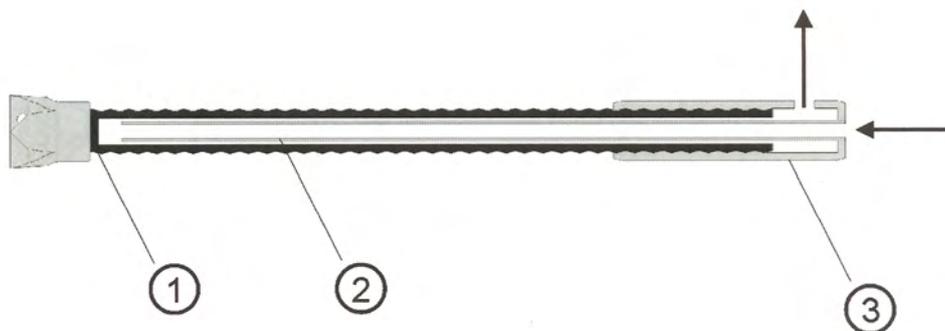


Abbildung 4.26: Energieanker mit Ankerkopfdichtung¹⁶⁸

Nach dem Anbringen der Ankerplatte wird der Anker gegen diese gespannt. Der Ankerkopf, an dem die Zu- und Ableitung stattfindet, befindet sich außerhalb der Abdichtung. Deshalb ist ein Anschluss, siehe (3) in Abbildung 4.26, anzubringen, der das Wärmeträgermedium durch

¹⁶⁶vgl. Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.126-129, S.153-156, S.161-168

¹⁶⁷Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.128

¹⁶⁸Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.128

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

die Folie führt. Dafür wurde ein eigenes Kopfteil entwickelt, siehe Abbildung 4.27. Dazu wird in die Ankerstange ein Gewindestück mit Klemmscheibe eingeschraubt. Anschließend wird ein Hohlzylinder aufgesteckt. Durch diesen findet die Rückleitung statt. Das HD-PE-Rohr im Anker wird durch diese Teile hindurchgeführt und über die Abschlusscheibe befestigt. An der Klemmscheibe kann die Abdichtung angebracht werden und gewährleistet so einen dichten Anschluss.

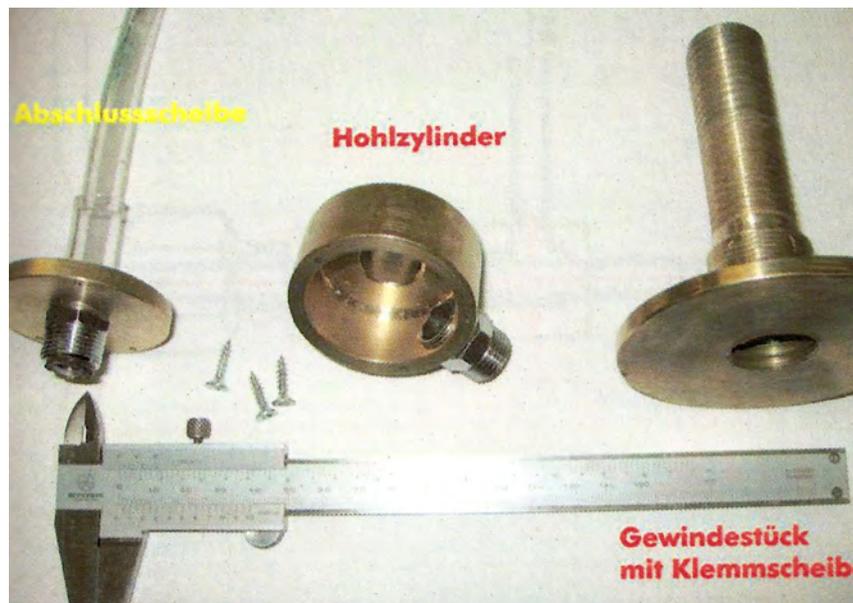


Abbildung 4.27: Ankerkopfstück¹⁶⁹

4.6.3 Ablauf des Einbaus - Energietübbinge

Im Falle eines maschinellen Tunnelausbruchs läuft der Innenausbau des Tunnels automatisch ab. Zur dauerhaften Stützung werden Fertigteile, sogenannte Tübbinge, angebracht, siehe Abbildung 4.28. Um die geothermische Aktivierung des Tunnels in den Herstellungsablauf der Tunnelbaumaschine zu integrieren, werden die Leitungen in den Tübbingen verlegt. Hiefür werden die Rohre an der Bewehrung befestigt, wobei zwei Möglichkeiten unterschieden werden:¹⁷⁰

- an der äußeren Lage der Bewehrung um die Erdwärme zu nutzen
- an der inneren Lage der Bewehrung um die Wärmequellen innerhalb des Tunnels zu nutzen

¹⁶⁹Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.153

¹⁷⁰vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.22

4 Errichtung einer geothermischen Anlage



Abbildung 4.28: Energietübbing¹⁷¹

Die Leitungsverbindung zwischen den einzelnen Tübbinges wird nach dem Tunnelvortrieb in Kupplungsnischen hergestellt, siehe Abbildung 4.29. Diese Taschen sind Aussparungen an den Tübbingeseiten, in denen die Rohrleitungen eine Anschlussstelle besitzen. In dieser Aussparung lässt sich nachträglich die Verbindung der Rohre mittels Kupplungen herstellen. Mehrere Ringe werden im Innenbereich des Tunnels zu einem Kreislauf zusammengefügt. Die Kreisläufe werden anschließend über Sammelleitungen mit der Wärme- und Umwälzpumpe verbunden.¹⁷²



Abbildung 4.29: Kupplungsnische¹⁷³

¹⁷¹Franzius/Pralle: Mit Tunneln heizen (2009), S.12

¹⁷²vgl. Ziegler/Kürten: Erdwärmennutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser (2011), S.22

¹⁷³Franzius/Pralle: Mit Tunneln heizen (2009), S.13

4.7 Horizontale Anschlussarbeiten

Nach der Fertigstellung der Bauteile sind nur mehr die Zu- und Ableitungen der geothermisch aktivierten Bauteilen sichtbar. Diese Leitungen müssen mit der Wärme- und der Umwälzpumpe verbunden werden. Die einzelnen Kreisläufe können mittels zwei Systemen verbunden werden:¹⁷⁴

- Parallelschaltung
- Serienschaltung

Bei der Parallelschaltung werden die einzelnen Kreisläufe mit möglichst gleich langer Leitungslänge direkt am Verteiler in die Sammelleitungen übergeführt. Die Kreisläufe verlaufen dabei *parallel* zueinander, siehe Abbildung 4.30 links. Das Wärmeträgermedium fließt dabei wie folgt in den Rohren:¹⁷⁵

Das Trägermedium, welches im absorberbelegten Bauteil Energie aufgenommen hat fließt über die Ableitung zum Verteiler. Der Verteiler ist der Sammelpunkt an dem die Leitungen der einzelnen verlegten Kreisläufe in Sammelleitungen zusammengeführt werden. Hier fließt das Wärmeträgermedium aus dem aktivierten Bauteil kommend in den Rücklauf. Der Rücklauf leitet das Trägermedium aller Kreisläufe zur Wärme- und Umwälzpumpe. Hier wird dem Trägermedium die Energie entzogen und über die Umwälzpumpe wird es in den Vorlauf gepumpt. Der Vorlauf leitet das Trägermedium zum Verteiler, an dem es auf die einzelnen Kreisläufe verteilt wird. In den Kreisläufen kann das Medium wieder Energie aufnehmen.

Beim Verteiler sind für jeden Kreislauf Verschlussventile anzubringen. Diese dienen zum Versperren eines Kreislaufes im Falle einer Leitungsbeschädigung. Ebenfalls sind hier Lüftungsventile und eine Befüll- und Entleerstelle für das Wärmeträgermedium anzubringen.

Im Gegensatz zur Parallelschaltung ist es möglich die einzelnen Kreisläufe hintereinander zu schalten. Bei der sogenannten Serienschaltung, siehe Abbildung 4.30 rechts, fließt das Wärmeträgermedium folgendermaßen:¹⁷⁶

¹⁷⁴vgl. Zauner: Oberflächennahe Erdwärmenutzung in Österreich (2009), S.12

¹⁷⁵vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.145-151

¹⁷⁶vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.145-151

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

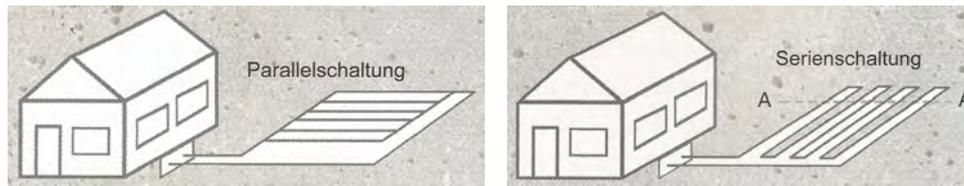


Abbildung 4.30: Prinzipskizze einer Parallelschaltung und einer Serienschaltung¹⁷⁷

Das Trägermedium nimmt im ersten Bauteil Energie aus dem Untergrund auf und fließt anschließend ins nächste Bauteil. Hier nimmt das Medium ebenfalls Energie auf und fließt ins nächste Bauteil. Nachdem alle Bauteile durchflossen wurden, wird das Medium im Rücklauf zur Wärmepumpe geführt. Nachdem die Wärmepumpe die Energie aus dem Medium entzogen hat wird das Medium über die Umwälzpumpe zu den Bauteilen gepumpt und nimmt erneut Energie auf.

Eine Kombination aus beiden Systemen ist möglich in dem Serienschaltungen mehrerer Kreisläufe parallel zu einander verlaufen und an einem Verteiler zusammengeführt werden.

Grundsätzlich ist eine Parallelschaltung einer Serienschaltung vorzuziehen, da die einzelnen Kreisläufe nicht gesondert verschlossen werden können. Dadurch ist bei einer Leitungsbeschädigung die gesamte Serie der Kreisläufe nicht mehr nutzbar. Bei parallel geschalteten Kreisläufen besteht die Möglichkeit den defekten Kreislauf direkt zu verschließen. Dadurch fällt weniger geothermisch genutzte Leitungslänge aus. Nur bei großen Bauprojekten, mit vielen aktivierten Bauteilen, kann eine Serienschaltung bzw. insbesondere die Kombination aus Serienschaltung und Parallelschaltung der einzelnen Kreisläufe sinnvoll sein, da die Anlage dadurch kompakter und übersichtlicher ausgeführt werden kann.¹⁷⁸

Die Zusammenführung von zwei Leitungen auf eine wird mittels einem *Hosenstück* hergestellt, siehe Abbildung 4.31. Die Verbindung wird mittels den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Methoden hergestellt.



Abbildung 4.31: Hosenstück mit Muffe¹⁷⁹

¹⁷⁷Zauner: Oberflächennahe Erdwärmenutzung in Österreich (2009), S.12

¹⁷⁸vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.145-151

¹⁷⁹www.aqualine-geo.de: Hosenstücke (2013)

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Die horizontal verlegten Rohre sind etwa 0,3 m unterhalb der Frosttiefe, die sich in Österreich in ca. 1 m Tiefe befindet, zu verlegen. Diese sind in dafür vorgesehenen Leitungskanälen oder Gräben zu führen. Darin sind die Leitungen auf ca. 15 cm Sand zu verlegen und mit einer ca. 20 cm dicken Sandschicht zu bedecken. Ein geeigneter Kabelkanal ist in Abbildung 4.32 dargestellt. In beiden Fällen ist auf eine thermische Trennung der Zuleitung und der Ableitung zu achten, um eine thermische Beeinflussung der beiden Leitungen zu verhindern. Die Trennung erfolgt mittels Wärmedämmmaterial, welches zwischen der Zu- und Ableitung angebracht werden muss.¹⁸⁰

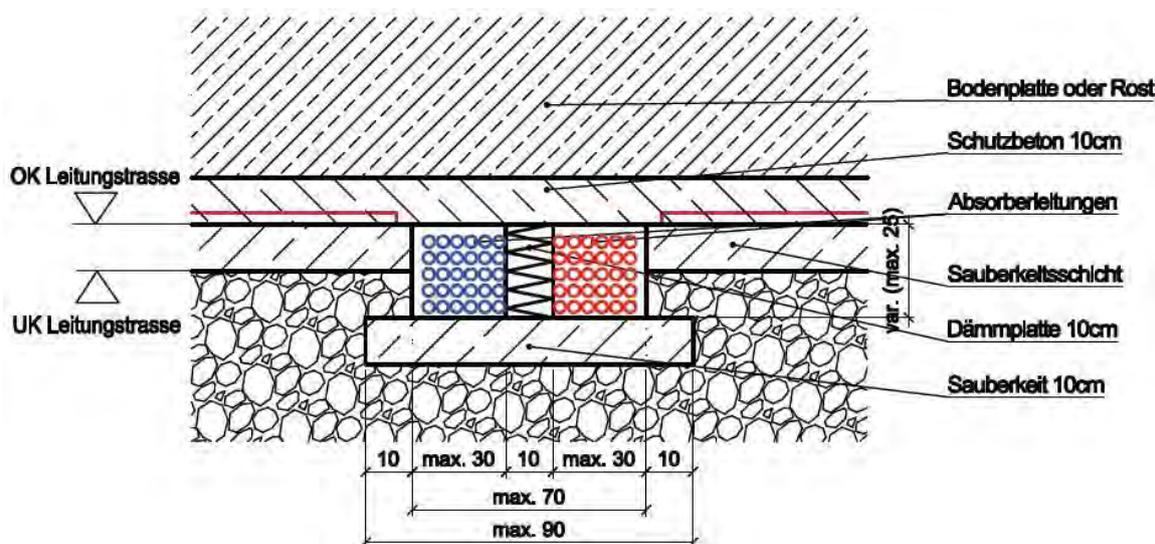


Abbildung 4.32: Kabelkanal durchgeführt am Hauptbahnhof-Wien im Bauabschnitt W04-W12/L02-BTG1¹⁸¹

Um die Leitungen im Inneren des Bauwerks mit der Wärme- und Umwälzpumpe zu verbinden ist es notwendig, die Leitungen neben der Bodenplatte nach oben und durch die Kellerwand zu führen. Die Leitungen werden durch Aussparungen in der Kellerwand geführt. Diese sind auf der Außenseite mit einer Schutzbetonschicht zu bedecken und thermisch vom Untergrund mittels Wärmedämmung zu trennen. Die Aussparung wird abschließend mit Beton verfüllt. Um den Innenraum vor eintretendem Wasser zu schützen wird die Fuge zwischen Kelleraußenwand und Aussparung mit einem Quellfugenband versehen. Im Falle von unter Druck stehendem Grundwasser ist die Durchführung druckwasserdicht auszuführen, siehe Abbildung 4.33. Um dies zu erreichen werden die Leitungen durch einen Schaumkörper geführt. Dieser Schaumkörper wird über Injektionsleitungen vom Innenraum aus mit dauerelastischem Harz verpresst. Bei diesem Vorgang darf der Verpressdruck nicht über 3 bar betragen da sonst die Leitungen beschädigt werden könnten. Eine weitere Möglichkeit die Leitungen ins Innere zu führen ist durch die Bodenplatte. Dabei kommen ähnliche Ausführungen zur

¹⁸⁰vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.145-151

¹⁸¹ÖBB Projektleitung: Pläne (2012), Plan: Grundriss BT 05 Geothermie UG2, W04-W12/L02-BTG1

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Anwendung.^{182 183}

Bei allen horizontalen Verlegearbeiten sind die in Tabelle 4.5 dargestellten Mindeststradien einzuhalten. Weiters ist um die Entlüftung der Rohre am Verteiler durchführen zu können darauf zu achten, dass der Verteiler höher liegt als die daran angeschlossenen Leitungskreisläufe, siehe Kapitel 4.8.¹⁸⁴



Abbildung 4.33: Druckwasserdichte Durchführung durch 2 m dicke Bodenplatte¹⁸⁵

In den Kreisläufen ist eine gleichmäßigen Durchströmung sowie eine möglichst gleiche Leitungslänge zu den Bauteilen anzustreben. Unterscheiden sich die Leitungslängen um mehr als 10%, sind die einzelnen Kreisläufe am Verteiler mit Einregulierungsventilen zu versehen. Diese Ventile dienen dem hydraulischen Abgleich der Anlage, da ohne die Regulierung in kürzeren Leitungslängen geringere Reibungswiderstände wären. Die geringeren Widerstände hätten zufolge, dass die kürzeren Kreisläufe mehr durchströmt wären. Dabei würde mehr Wärme aus dem Untergrund entzogen werden und es kann zur Frostbildung in diesen Bereichen kommen.¹⁸⁶

¹⁸²vgl. ÖBA der ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Wichra: Interview (2013)

¹⁸³vgl. Brandl u. a.: Massivabsorbertechnologie zur Erdwärmenutzung bei der Wiener U-Bahnlinie U2 (Heft 7-9/2010 und Heft 10-12/2010), S.4

¹⁸⁴vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.145-151

¹⁸⁵Brandl u. a.: Massivabsorbertechnologie zur Erdwärmenutzung bei der Wiener U-Bahnlinie U2 (Heft 7-9/2010 und Heft 10-12/2010), S.4

¹⁸⁶vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.145-151

4.8 Befüllen und Spülen

Nachdem die Kreisläufe mit dem Verteiler und der Verteiler über die Sammelleitungen mit der Wärme- und Umwälzpumpe verbunden wurden, ist abschließend die gesamte Anlage zu spülen und zu befüllen.

Um die Leitungen von Lufteinschlüssen zu befreien wird die Leitung gespült. Hierfür werden die einzelnen Kreisläufe und die Sammelleitungen getrennt voneinander mit einer leistungsstarken Umwälzpumpe so durchspült, dass in der gesamten Leitung die Luft verdrängt wird. Dies hat zu erfolgen, da sich Lufteinschlüsse in den Hochpunkten der Leitung sammeln könnten und während des Betriebs den Durchfluss behindern würden. Um den Spülvorgang durchzuführen wird bereits das für den Betrieb der Erdwärmeanlage verwendete Wärmeträgermedium eingefüllt.¹⁸⁷

Grundsätzlich wäre die Verwendung von reinem Wasser aufgrund der thermischen Eigenschaften am geeignetsten, weil durch die Beimengung anderer Stoffe die Wärmekapazität verringert wird. Da jedoch eine Eisbildung in der Anlage zu irreparablen Schäden führen würde, ist es zumeist notwendig andere Stoffe beizumischen.¹⁸⁸ Die in Österreich verwendeten Trägermedien dürfen maximal der Wassergefährdungsklasse 1 entsprechen. Mischungen aus Wasser und die in folgender Liste angeführten Stoffe zählen zu den erlaubten Flüssigkeiten:¹⁸⁹

- Ethanol
- Glykol
- Organische Salze der Ameisensäure und Essigsäure
- Anorganische Salze der Salzsäure

Häufig werden Glykole verwendet, da sie eine hohe Lebensdauer aufweisen und in niedrigem Mischverhältnis bereits einen ausreichenden Gefrierschutz bieten. Problematisch kann allerdings die hohe Viskosität bei tiefen Temperaturen sein, da dies zu Druckverlusten führen kann und in weiterer Folge eine höhere Pumpleistung erfordert.¹⁹⁰

¹⁸⁷vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.152-158

¹⁸⁸vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.152-158

¹⁸⁹vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.22-23

¹⁹⁰vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.22-23

4 Errichtung einer geothermischen Anlage

Sowohl organische als auch anorganische Salze weisen im tiefen Temperaturbereich eine niedrige Viskosität auf. Als Nachteil stellt sich allerdings das erhöhte Korrosionsrisiko im höheren Temperaturbereich heraus. Werden Mischungen aus diesen Salzen in einer geothermischen Anlage verwendet, ist besonders auf absoluten Sauerstoffausschluss zu achten um Korrosionsschäden zu verhindern. Aufgrund des großen Risikos werden diese Stoffe selten verwendet.¹⁹¹

Im Normalfall wird eine Mischung aus Wasser und Glykol im Verhältnis 4:1 zur Befüllung und zum Betrieb der Anlage verwendet. Diesem Gemisch werden zusätzlich noch Korrosionsinhibitoren in geringen Konzentrationen, etwa 1%, beigemischt, um die Metallteile der Anlage vor Korrosion zu schützen.¹⁹²

¹⁹¹vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.22-23

¹⁹²vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.152-158

5 Qualitätskontrolle

Die eingebauten Rohre sind Prüfungen zu unterziehen um ihre Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten. Da nach Fertigstellung des geothermisch aktivierten Bauteils meist keine Möglichkeit mehr besteht die beschädigten Rohre in Stand zu setzen, sind bereits vor und während dem Einbau Prüfungen zur Qualitätskontrolle durchzuführen. Dadurch können Schäden an den Leitungen früh erkannt und repariert werden. Schäden an den Leitungen werden mittels folgender Prüfungen identifiziert:

- Druckprüfung
- Durchflussprüfung

Die Druckprüfung soll die Unversehrtheit des Rohres belegen. Diese Prüfung wird mehrmals in gleicher Form pro eingebautem Rohr durchgeführt:¹⁹³

- Die erste Druckprüfung ist bei der Verwendung von HD-PE Rohren, welche gemäß der Norm DIN 8074 und DIN 8075 hergestellt wurden, bereits vom Hersteller nach Fertigstellung des Rohres durchzuführen.
- Die zweite Druckprüfung der Rohre sollte kurz vor dem Einbau durchgeführt werden. Im Falle von Ortbetonpfählen und Schlitzwänden hat diese Prüfungsphase nach dem Einbinden in den Bewehrungskorb aber noch vor dessen Einstellen in den Aushub zu erfolgen. Bei Bodenplatten, Energietübbingen und Energievliesen wird die zweite Druckprüfung direkt vor der Rohrverlegung durchgeführt. Fertigrammpfähle und Koaxialsonden welche in Energieanker eingebracht werden sind vor ihrem Einbau einer Druckprüfung zu unterziehen. Werden die Energieanker mit Ankerkopfdichtungen hergestellt, dann sind sie einer gesonderten 24-stündigen *Dichtheitsprüfung* zu unterziehen.¹⁹⁴ An den Rohren die der Verbindung der Bauteile dienen hat diese Druckprüfung vor dem Verlegen zu erfolgen. Diese Prüfungsphase dient dem Erkennen von Transport- und Lagerungsschäden.
- Nach dem Einbau des Bewehrungskorbes bzw. nach den Verlegungsarbeiten, aber noch vor der Verfüllung des Bauteils mit Beton bzw. Suspension ist eine weitere Druckprüfung

¹⁹³vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S. 159-160

¹⁹⁴Oberhauser: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen (2006), S.127

sinnvoll. Mittels dieser Prüfung lassen sich Schäden durch den Einbau erkennen. Nach dem ÖWAV-Regelblatt 207 ist das Rohr während des gesamten Einbauvorganges mit Wasser gefüllt und unter Druck zu halten. Aufgrund des Innendruckes im Rohr vergrößert sich dessen Querschnitt. Würde dem einbetonierten Rohr nicht genügend Raum zum Ausdehnen zur Verfügung gestellt werden, so kann dies zur Rissbildung im Beton führen, weil sich der Rohrquerschnitt während des Betriebes vergrößert. Der Leitungsdruck wird während dem gesamten Einbauvorgang mittels angeschlossenen Manometer geprüft. Gemessene Druckänderungen deuten sofort auf Beschädigungen am Rohr hin und sind umgehend zu reparieren.¹⁹⁵

- Nachdem das Bauteil fertiggestellt wurde ist eine Funktionsprüfung der mit Wasser gefüllten Anlage durchzuführen. Diese beinhaltet eine Druckprüfung sowie eine Durchflussprüfung.
- Vor Fertigstellung des Gesamtsystems wird die Anlage ein letztes Mal einer Druckprüfung unterzogen. Diese Prüfung wird meist vom Heizungsbauer oder vom Anschlussteam, jenes Team welches die horizontalen Leitungen verlegen, durchgeführt.

Mittels der Durchflüssprüfung wird die korrekte Verlegung gewährleistet. Schäden wie Abknicken können mittels diesem Prüfverfahren erkannt werden.

5.1 Druckprüfung

Das Druckprüfverfahren hat nach dem *Druckprotokoll zur Sondenprüfung*, siehe Abbildung 5.2, aus dem ÖWAV- Regelblatt 207 zu erfolgen. Demnach stellt sich der Ablauf der Prüfung wie folgt dar:¹⁹⁶

- Vor dem Prüfungsbeginn ist die Befüllmenge des Kreislaufes genau zu bestimmen.
- Der Druck im Kreislauf hat innerhalb von 10 Minuten 12 bar (+/-1 bar) zu erreichen. Somit ist der Prüfdruck aufgebracht und die tatsächliche Prüfung beginnt.
- In der Druckhaltephase wird der Druck von 10-12 bar für 10 Minuten gehalten.
- Anschließend ist eine Ruhezeit von einer Stunde einzuhalten. In dieser Phase darf der Druck um maximal 30% sinken, ansonsten liegt entweder ein Prüfungsfehler oder eine Beschädigung des Rohres vor. Bei Einhaltung der vorgegebenen 30% ist mit dem Prüfverfahren fortzufahren.

¹⁹⁵vgl. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), S.38-39

¹⁹⁶vgl. Tholen/Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie (2008), S.163

5 Qualitätskontrolle

- Der Druck im Rohr wird durch Ablassen von Wasser um 2 bar reduziert. Die abgelassene Wassermenge ist zu messen und im Protokoll zu notieren.
- Dieser Druck im Rohr ist in der Phase der Hautprüfung zu überwachen. Diese Phase dauert 30 Minuten und nach 10 Minuten ist im 5 Minuten Intervall der vorhandene Druck zu notieren. In dieser halben Stunde darf der Druck um nicht mehr als 0,1 bar abfallen, wobei die Messgenauigkeit des Manometers mindestens 0,1 bar betragen muss.



Abbildung 5.1: Qualitätskontrolle mittels Manometer¹⁹⁷

¹⁹⁷www.waterkotte-geo.com: Waterkotte-Geoenergy Consultant (2013)

Durchflusstest und Druckprüfung von Erdwärmesonden in Anlehnung an ÖNORM EN 805										
Objekt									Auftrag	
Bauleitung									Seite Nr.	
Umfang der Arbeiten										
Erdwärmesonde Nr.										
Fabrikationsnummer										
Länge [m]										
Durchmesser aussen/ Wandstärke [mm]										
Durchflussprüfung										
Prüfdatum										
Zeit	Kreis 1		Kreis 2		Kreis 1		Kreis 2			
Wasserdurchflussmenge [l/min]										
Druck EWS Eintritt [bar]										
Druck EWS Austritt [bar]										
Differenzdruck [bar]										
Bedingung erfüllt ja/nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein		
EWS gespült ja/nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein		
Druckprüfung nach ÖNORM EN 805¹⁾										
Prüfdatum / Zeit										
	Dauer	Zeit- Ablauf	Kreis 1	Kreis 2	Dauer	Zeit- Ablauf	Kreis 1	Kreis 2		
			[bar]	[bar]			[bar]	[bar]		
Prüfdruck aufbringen (12 bar +/- 1 bar) (2)	<10 Min	-10 Min			<10 Min	-10 Min				
Druckhaltephase (Min. 10 bar) (3E)	10 Min	0 Min			10 Min	0 Min				
Ruhezeit Druckabfall max. 30% ab Anfang Ruhezeit (4E)	60 Min	60 Min			60 Min	60 Min				
Druck um 2 bar reduzieren (5E) Menge abgelassenes Wasser [l]										
Hauptprüfung (Dauer 30 Minuten)	10 Min	70 Min			10 Min	70 Min				
(6B)	5 Min	75 Min			5 Min	75 Min				
(6C)	5 Min	80 Min			5 Min	80 Min				
(6C)	5 Min	85 Min			5 Min	85 Min				
(6C)	5 Min	90 Min			5 Min	90 Min				
Bedingung erfüllt (ja/nein)										
Abnahme	Bauherr oder Vertreter				Geräteführer					
Ort und Datum										

¹⁾ Messgenauigkeit mindestens 0,1 bar

* Während der Hauptprüfung (6A bis 6C) darf der Druck nach dem Maximum um nicht mehr als 0,1 bar sinken

Abbildung 5.2: Druckprüfungsprotokoll¹⁹⁸

¹⁹⁸Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen (2009), Anhang 5.2

5.2 Durchflussprüfung

Die Durchflussprüfung prüft den Widerstand, auf den das Wärmeträgermedium bei einem kompletten Durchgang in einem Kreislauf stößt. Dafür wird das zu prüfende Rohrsystem mit Luft unter Druck gesetzt. An der Eintrittsstelle sowie an der Austrittsstelle wird der Druck gemessen. Über Diagramme aus dem ÖWAV-Regelblatt 207 oder durch Berechnung lässt sich die Wasserdurchflussmenge in l/min bestimmen. Dieser Wert wird im Druckprüfungsprotokoll vermerkt, siehe Abbildung 5.2. Die Differenz des Eintritts- und Austrittsdrucks stellt den Widerstand der Rohrleitung dar. Die VDI 4640 Blatt 2 schreibt einen maximalen Widerstand von 10 mbar vor, wobei die Strömungsgeschwindigkeit 1 m/s zu betragen hat.¹⁹⁹

¹⁹⁹vgl. Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen (2001), S.23

6 Schäden und Vermeidung

Sofern nicht anders angegeben stammen die Inhalte dieses Kapitels aus dem Interview mit der Firma Enercret (Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles).

Schäden an den Rohrleitungen aktivierter Bauteile stellen große Probleme dar, da sie kaum reparierbar sind. Einerseits durch die Tatsache, weil die Bauteile unter der Erde liegen und andererseits, weil die Rohrleitungen mit Beton umhüllt. Sobald das Bauteil fertiggestellt ist gibt es keine Möglichkeit die Rohrleitung einer Sichtprüfung zu unterziehen und eine Zugänglichkeit zu den Leitungen ist nicht gegeben. Deshalb ist bei der Herstellung besonderes Augenmerk auf die Schadensvermeidung zu legen, da in jeder einzelnen Herstellungsphase Rohrschäden auftreten können. Aus Sicherheitsgründen wird oft auch ein zweiter Kreislauf in die Bauteile gelegt. Wenn bei der Herstellung keine Schäden auftreten, können beide Kreisläufe verwendet werden. Im Falle einer irreparablen Rohrbeschädigung während dem Einbau wird der schadhafte Kreislauf am Verteiler abgeschlossen. Somit kann der noch funktionstüchtige Kreislauf den umgebenden Untergrund des belegten Bauteils zur Energiegewinnung nutzen.

6.1 Schäden beim Lagern

Die Leitungen werden meist auf Rollen mit einer Kunststoffolie eingeschweißt auf die Baustelle geliefert. Um das gelieferte Produkt einer Sichtprüfung zu unterziehen wird oft die Folie von der Rolle entfernt und die Kunststoffrohre sind bis zu ihrem Einbau den Witterungen ausgesetzt. Vor allem Sonne aber auch Regen mit anschließendem Sonnenschein können zu Beschädigungen an den Rohren führen. Sonnenlicht ist einerseits aufgrund des Anteils von UV-Strahlung und andererseits aufgrund der Lichtabsorption besonders schädigend für HD-PE-Rohre.

6.1.1 UV-Strahlung

Der Großteil der Rohrleitungen geothermischer Anlagen besteht aus High Density Polyethylen. UV-Licht-Bestrahlung führt zur Oxidation an der Materialoberfläche. Dieser chemische Prozess läuft in sauerstoffreicher Umgebung verstärkt ab. Zu sauerstoffreicher Umgebung zählt die

Atmosphäre und somit der Lagerplatz der Rohre. Dies führt zur Versprödung und längerfristig zum Zerfall des Polyethylens. Sobald die Rohre von Beton umgeben sind befinden sie sich nicht mehr in sauerstoffreicher Umgebung. Folglich läuft der Zerfallsprozess langsamer ab. Zusätzlich können die Rohre im eingebauten Zustand nicht mehr von Sonnenlicht und somit von UV-Strahlung, angegriffen werden. Darum ist im eingebauten Zustand keine Gefahr des Materialzerfalls aufgrund von UV-Strahlung gegeben.

Wird die Schutzfolie entfernt und werden die Rohre über einen längeren Zeitraum der UV-Strahlung ausgesetzt gelagert, so kann dies zu Schäden am Rohr führen. Vermeiden lässt sich dieser Schadensfall durch folgende Maßnahmen:

- Rohre in Schutzfolie belassen oder mit einer Plane vor Sonneneinstrahlung schützen.
- Rohre an vor Sonneneinstrahlung geschützten Lagerplätzen lagern.
- Rohre rasch einbauen und die Lagerungszeit möglichst kurz gestalten.

In Österreich ist bei raschem Einbau allerdings nicht von Beschädigungen durch UV-Strahlung auszugehen.

6.1.2 Regen + Sonne

Nach einem Regenschauer oder anderer Nässeeinwirkung verbleiben auf den HD-PE-Rohren Tropfen. Folgt auf die Nässeeinwirkung Sonnenstrahlung so besteht die Gefahr, dass die Sonnenstrahlen durch die Tropfen gebündelt werden. Ähnlich einer konvexen Sammellinse, einer Lupe, werden die parallel auf die Tropfenoberfläche treffenden Sonnenstrahlen gebrochen und an einem zentralen Punkt, dem Brennpunkt, gebündelt. Der Brennpunkt befindet sich annähernd in der Mitte des Tropfens an der Oberfläche des HD-PE-Rohres. Die durch die Strahlen frei gesetzte Wärme tritt aufgrund der gebündelten Strahlen konzentriert im Brennpunkt auf. Durch die Lupenwirkung reicht die dabei entstehende Wärme aus um ein brennbares Material zu entzünden. Im Falle der Regentropfen auf HD-PE-Rohren kann die entstehende Wärme ausreichen um kleine Löcher in die Rohre zu brennen.

Das Schadensbild ist durch Löcher bis ca. 0,5 mm Durchmesser gekennzeichnet und ist ohne genauer Sicht- oder Druckprüfung nicht zu erkennen. Die Rohre sind aufgrund der Perforation für den Einbau nicht mehr geeignet und müssen durch neue unbeschädigte Rohre ersetzt werden.

Vermeiden lässt sich dieser Schadensfall durch folgende Maßnahmen:

- Rohre in Schutzfolie belassen oder mit einer Plane vor Nässe und Sonneneinstrahlung schützen.
- Rohre an trockenen und vor Licht geschützten Lagerplätzen lagern.
- Rohre rasch einbauen und die Lagerungszeit möglichst kurz gestalten.

6.2 Schäden beim Einbau

Da viele Bauteile wie zum Beispiel Schlitzwände, Tübbinge, Vliese und Fertigrammpfähle, kaum Schäden beim Einbau aufweisen wird die Herstellung einer geothermischen Anlage oftmals als problemlos und einfach abgetan. Grundsätzlich ist der Einbau von HD-PE-Rohren in Ortbetonpfähle und Bodenplatten unproblematisch, jedoch sind vor allem bei diesen beiden Bauteilen Fehler beim Einbau vorzufinden, die durch sorgfältige Arbeit und Materialverständnis einfach zu vermeiden wären.

6.2.1 Temperaturwechsel

Vor allem bei der Aktivierung von Bodenplatten kommt es zum Knicken der bereits verlegten Rohre. Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben wird vor dem Betoniervorgang die Rohrleitung verlegt und an Baustahlgittern, welche auf der Sauberkeitsschicht liegen, befestigt. Die Rohre werden meist in sehr engen Radien verlegt, um möglichst lange Leitungslängen zu erzeugen. Ein Knicken der HD-PE-Rohre kann auftreten, wenn die Verlegungsarbeiten bei kalten Umgebungstemperaturen stattfinden. Dies kann vor allem im Frühling oder Herbst am Morgen der Fall sein. Durch die Sonneneinwirkung unter Tags erwärmen sich die Rohre. Aufgrund der Erwärmung dehnen sich die Leitungen aus und die im kalten Zustand verlegten Radien werden zu eng. Gleichzeitig nimmt aufgrund der Erwärmung die Rohrsteifigkeit ab, es wird weicher.

Dies führt dazu, dass die Leitungen im Scheitelpunkt knicken, siehe Abbildung 6.1. Da bei geknickten Rohren kein Durchfluss mehr gewährleistet werden kann, ist die Leistungsfähigkeit der Anlage zumindest eingeschränkt. Somit sind vor der Betonage der Bodenplatte die Leitungen erneut zu verlegen bzw. ist die Fehlstelle heraus zu schneiden und ein nicht abgeknicktes Rohr einzuschweißen.

Um die Fehlstelle zu finden ist zusätzlich zur Druckprüfung auch eine Sichtprüfung der bereits verlegten Leitungen durchzuführen, bevor mit dem Betoniervorgang begonnen werden kann.

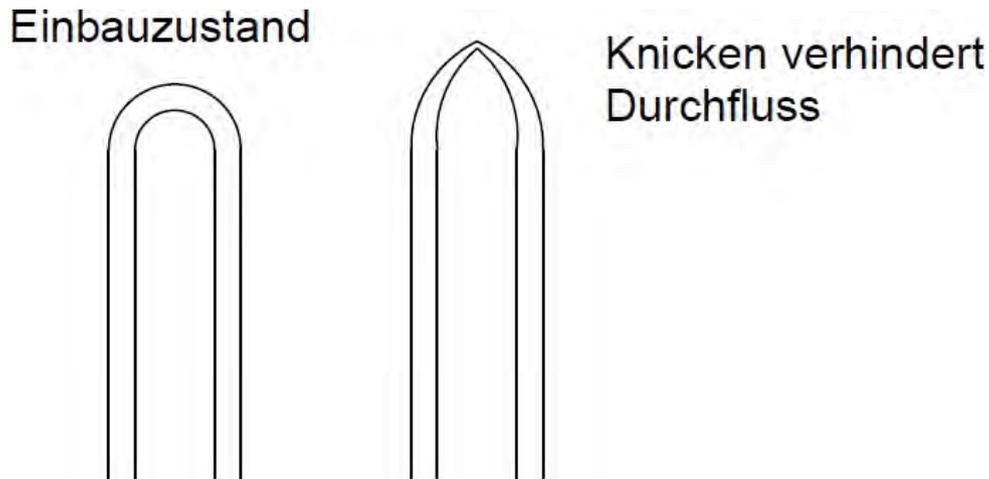


Abbildung 6.1: Knicken durch Temperaturwechsel

Dieser Schadensfall kann vermieden werden in dem bei zu großen erwarteten Temperaturschwankungen keine Verlegearbeiten stattfinden. Sobald die Leitungen mit Beton bedeckt sind und dieser erhärtet ist, kann ein Abknicken der Leitungen nicht mehr auftreten.

Vermeiden lässt sich dieser Schadensfall durch folgende Maßnahmen:

- Bei erwarteten großen Temperaturschwankungen nicht verlegen.
- Fertig verlegte Abschnitte vor Temperaturumbruch mit Schutzbetonschicht bedecken.
- Nicht in den frühen Morgenstunden verlegen, sondern die Rohre am Lagerplatz von der Sonne erwärmen lassen.

6.2.2 Spiralförmige Belegung bei verrohrten Bohrpfehlen

Bei der Belegung von Pfehlen sind zwei verschiedene Belegungsarten zu unterscheiden:

- Längsbelegung
- spiralförmige Belegung

Bei der Längsbelegung werden die Leitungen vom Pfahlkopf vertikal zum Pfahlfuß geführt. Dort wird die Richtung der Rohre gemäß den erlaubten Mindeststrahlen um 180° gedreht und werden wieder vertikal zum Pfahlkopf geführt. Hier wird erneut die Richtung geändert. Dies wird sooft wiederholt, bis die Rohre entlang des gesamten Umfangs des Bewehrungskorbes befestigt sind.

Die spiralförmige Belegung ist jene Leitungsführung, die zu Schäden an den HD-PE-Rohren führen kann. Die Rohre werden in Form einer Spirale im Inneren des Bewehrungskorbes vom Pfahlkopf bis zum Pfahlfuß geführt. Die Arbeitsschritte zur Herstellung eines Bohrpfehles mit

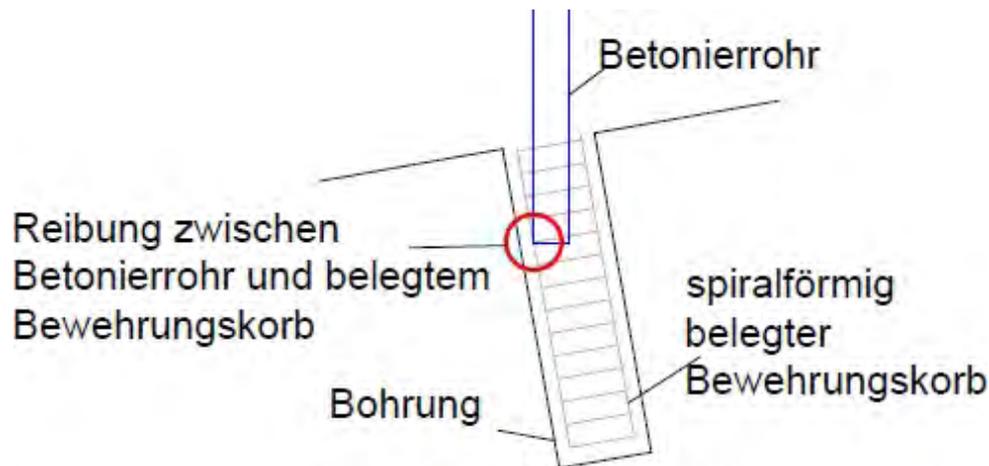


Abbildung 6.2: Spiralförmige Belegung

verrohrter Bohrlochstützung gibt vor, dass der Bewehrungskorb in das Bohrloch eingestellt wird. Anschließend wird das Betonierrohr innerhalb des Bewehrungskorbes eingebracht und von unten beginnend nach oben betoniert. Durch den Bohrvorgang ist meist kein exakt vertikales Bohrloch vorhanden. Die Abweichung des Bohrloches kann einige Grade betragen. Das Einstellen des belegten Bewehrungskorbes ist trotz der Schiefstellung möglich. Wie in Abbildung 6.2 dargestellt wird das Betonierrohr in das Bohrloch eingebracht. Als Betonierrohre werden zumeist Muffenrohre verwendet, siehe Abbildung 6.3. Vorerst wird das Fußstück von oben in das Loch gehängt. Daran werden die 1 - 4 m langen Betonierrohrstücke befestigt, während das Rohr ins Loch abgesenkt wird. Dieses wird oben durch einen Kran gehalten und hängt aufgrund der Schwerkraft vertikal in das Bohrloch.²⁰⁰ Da das Bohrloch aber nicht exakt vertikal ist, gleitet das Betonierrohr entlang der Innenseite des Bewehrungskorbes nach unten. Durch das Gewicht des Betonierrohres werden die spiralförmig verlegten Leitungen beschädigt bzw. durchtrennt.

Im Falle der Längsbelegung kann das Betonierrohr entlang der Leitungen gleiten, ohne diese zu beschädigen. Folglich ist eine Längsbelegung bei der verrohrten Pfahlerstellung vorzuziehen.

Vermeiden lässt sich dieser Schadensfall durch folgende Maßnahmen:

- Eine Längsbelegung schließt den Schadensfall der Beschädigung der HD-PE-Rohre durch das Einbringen des Betonierrohres fast gänzlich aus.
- Genaue Überwachung der Bohrungen und deren Schiefstellung. Bei zu schrägen Bohrlochern keine geothermische Aktivierung des Pfahles durchführen.

²⁰⁰vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.67-68

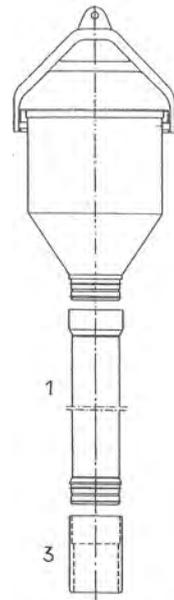


Abbildung 6.3: Betonierrohr²⁰¹

6.2.3 Instabiler Bewehrungskorb bei unverrohrte Bohrungen mit Endlosschnecke(SOB-Pfahl)

Bei der Planung von Pfählen ist aus statischer Sicht oftmals nur ein geringerer Bewehrungsgehalt erforderlich. Dies führt dazu, dass der Bewehrungskorb nur aus dünnen Bewehrungsstäben besteht. Wenn diese zu dünn sind und nicht ausreichend miteinander verbunden wurden, entsteht ein instabiler Bewehrungskorb. Dies kann einerseits zu statischen Problemen führen und andererseits die Absorberleitungen im Pfahl schädigen.

Beschädigungen an geothermischen Leitungen durch instabile Bewehrungskörbe treten hauptsächlich bei SOB-Pfählen auf. Bei diesen Pfählen wird wie in Kapitel 4.4.1 beschrieben der Bewehrungskorb in den noch flüssigen Beton eingerüttelt. Dieser Vorgang stellt eine besondere Beanspruchung für den Bewehrungskorb dar. Wenn sich dieser beim Einrüttelvorgang verformt, können die Bewehrungsseisen zur Mitte wandern und liegen somit enger beieinander. Dadurch liegen auch die Rohre der geothermischen Anlage, die an den Längseisen befestigt sind, enger zusammen. In Abbildung 6.4 ist ein Schnitt durch einen Pfahl mit einem verformten instabilen Bewehrungskorb dargestellt. Die grau dargestellten Längseisen des Pfahles verschieben sich beim Einrütteln entlang der roten Verschiebungswege. Da die blauen HD-PE-Rohre an der Bewehrung befestigt sind bewegen auch sie sich, dargestellt durch die roten Verschiebungswege.

Dies kann beim Betrieb der Anlage zu Energieverlusten führen, da die Rohre bei diesem

²⁰¹vgl. Buja: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren (1998), S.68

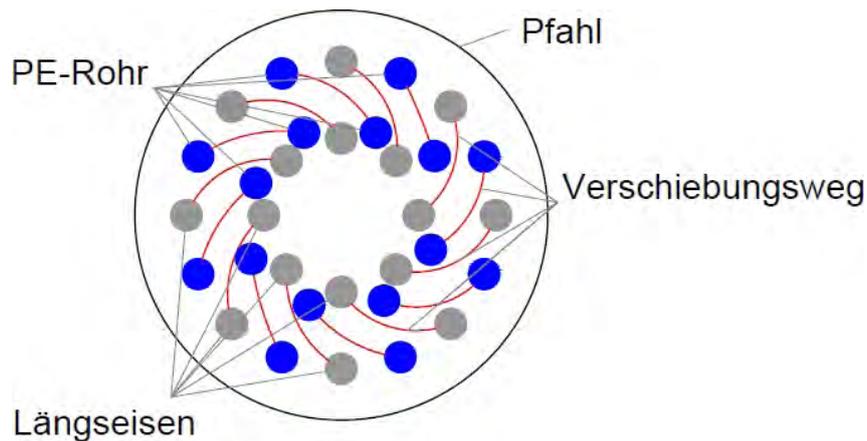


Abbildung 6.4: Instabiler Bewehrungskorb

Schadensfall mit mehr Beton überdeckt sind und sich gegenseitig thermisch beeinflussen. Bei zu eng aneinanderliegenden Rohren können außerdem die Mindestradien unterschritten werden und die Leitungen knicken im Pfahlfuß und Pfahlkopf. Dies verhindert den Durchfluss des Wärmeträgermediums und macht eine thermische Nutzung dieses Pfahles unmöglich. Die in Abbildung 6.4 dargestellten Verschiebungen können allerdings auch nach außen, hin zum Pfahlrand, stattfinden. Dadurch kann eine Überdeckung der Rohre mit Beton nicht mehr gewährleistet werden und die beim Einrütteln entstehende Reibung zwischen Bohrlochwand und Absorberleitungen kann das Rohrmaterial beschädigen.

Vermeiden lässt sich dieser Schadensfall durch:

- Ausreichend stabiler Bewehrungskorb um dem Einrütteln in den erhärtenden Beton stand zu halten.

6.3 Schäden nach der Fertigstellung

Nach der Fertigstellung der geothermisch aktivierten Bauteile sind die verlegten Rohre durch eine Betonschicht vor äußeren Einwirkungen geschützt. Deshalb ist nach Fertigstellung grundsätzlich von keinem neuen Schadensauftritt auszugehen. Eine Ausnahme stellt das Anbohren bzw. nachträgliche Ausschneiden von Öffnungen in bereits bestehende Bauteile dar.

6.3.1 Anbohren der HD-PE-Rohre

Ein Anbohren der bereits eingebauten HD-PE-Rohre tritt häufig bei aktivierten Baugrubenumschließungen auf. Hierfür werden meist Schlitzwände oder Bohrpfahlwände herangezogen.

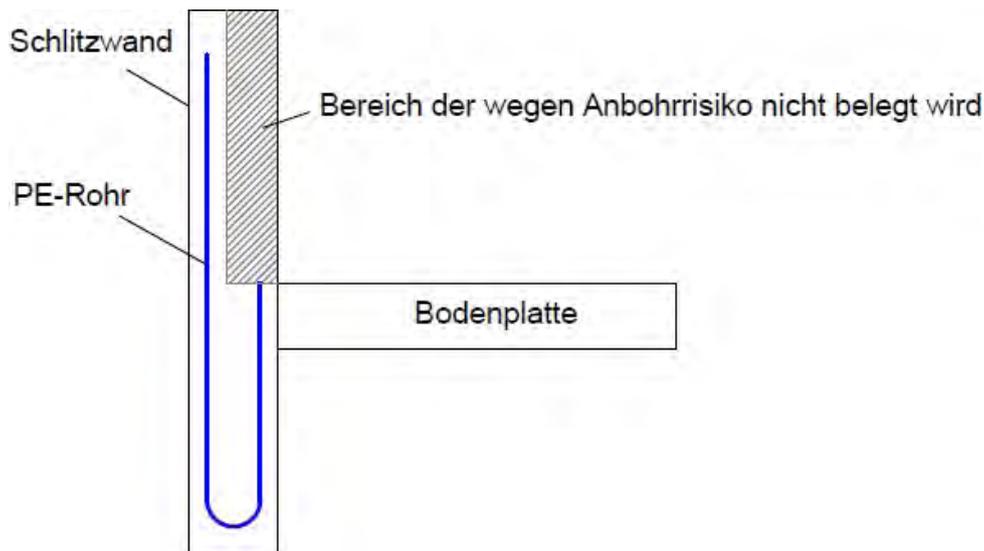


Abbildung 6.5: Leitungsverlegung zur Minderung des Anbohrrisikos

Grundsätzlich sollen bereits fertiggestellte und mit Leitungen belegte Bauteile nicht angebohrt werden. Dies ist aber häufig aufgrund von nachträglichen Dichtungsarbeiten zwischen den Schlitzwandteilen nötig. Hierfür wird die bestehende Schlitzwand durchbohrt und anschließend werden die Fugen zwischen den Schlitzwandlamellen injiziert und abgedichtet. Die Fuge zwischen den Schlitzwandlamellen wird angebohrt, um das Injektionsmaterial tief in die Fuge einbringen zu können. Für die Bohrungen benötigt das Bohrgerät einen Anpressdruck gegen die Schlitzwand. Dieser kann entweder durch Befestigungen in der Baugrube oder durch Verankern mit der Schlitzwand selbst erzeugt werden. Im Falle der Befestigung an der Schlitzwand werden um die geplante Bohrung kleinere Löcher für die Verschraubung des Bohrgerätes hergestellt, um den benötigten Anpressdruck erzeugen zu können. Diese kleinen Bohrungen zur Befestigung des Bohrgerätes stellen eine Gefahr bezüglich des Anbohrens bereits verlegter Leitungen dar.

Da dieser Schaden zum Ausfall des gesamten Kreislaufs im Bauteil führt sind Maßnahmen zu dessen Vermeidung zu treffen. Ein Anbohren kann vermieden werden indem die Schlitzwände oberhalb der Bodenplatte nur im äußeren Bereich der Wand mit Leitungen belegt werden, während der innenliegende Bereich nicht belegt wird, siehe Abbildung 6.5.

Vermeiden lässt sich dieser Schadensfall durch folgende Maßnahmen:

- Innenliegender Bereich oberhalb der Bodenplatte nicht belegen, siehe Abbildung 6.5.
- Den mittleren Bereich jeder Lamelle nicht belegen. Dadurch ist beim Einbau keine Gefahr der Beschädigung der HD-PE-Rohre durch das Betonierrohr gegeben und Bohrungen sind in der Mitte möglich.

7 Beispielprojekte

7.1 Hauptbahnhof - Wien

7.1.1 Allgemeines

Auf dem etwa 109 Hektar großen Gebiet, dass sich vom früheren Süd- bzw. Ostbahnhof in Richtung des Südtiroler Platzes erstreckt, wird neben dem neuen Hauptbahnhof auch ein neuer Stadtteil errichtet. Dieser wird sowohl Wohnflächen, Büroflächen als auch Parks beinhalten. Der Bahnhof selbst ersetzt die vorhandenen Kopfbahnhöfe und erlaubt die Zu- und Abfahrt in alle Richtungen direkt vom zentral gelegenen Hauptbahnhof.²⁰²



Abbildung 7.1: Hauptbahnhof²⁰³

Die Gleise des Bahnhofsgebäudes befinden sich auf Hybridbrückentragwerken, sowohl Stahlbeton- als auch Stahlträger wurden verwendet. Das Stationstragwerk ist etwa 300 m lang und 90 m breit. Darauf befinden sich die Bahnsteige und die Haltestellen für den Zugverkehr. Die Bahnsteige sind mit einer architektonisch ansprechenden Dachkonstruktion überdacht, siehe Abbildung 7.1. Unter der Gleisanlage, im Erdgeschoss, befindet sich die Haupthalle. Hier sind die für den Bahnbetrieb benötigten Einrichtungen untergebracht, wie zum Beispiel Ticketschalter. Darunter, auf den rund 20.000 m² verteilt auf 2 Kellergeschosse, erstreckt sich ein Gastronomie-, Handels-, und Dienstleistungszentrum. Ein weiteres Stockwerk tiefer befindet sich eine Garage mit etwa 600 KFZ-Stellplätzen die über den auf der Seite des 10. Wiener

²⁰²Projektleitung des Hauptbahnhofes, ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Meszner: Interview (2013)

²⁰³www.hauptbahnhof-wien.at: Hauptbahnhof Wien (2013)

Gemeindebezirk liegenden Vorplatz zugänglich ist. Ebenfalls ist in diesem Stockwerk die Anlieferungshalle für die ein gemieteten Geschäfte situiert.²⁰⁴

7.1.2 Geothermie

Das ganze Bauwerk wurde auf einer tiefgegründeten Bodenplatte errichtet. In Summe wurden 170 Pfähle mit insgesamt 22.500 m Leitungen geothermisch aktiviert, siehe Tabelle 7.1. Die Pfähle wurden als Ortbetonbohrpfähle mit einer verrohrten Bohrung hergestellt. Die Tiefe der Bohrungen beträgt bis zu 25 m und die darin eingebauten Bewehrungskörbe bestanden aus zwei Teilen, die miteinander verschweißt wurden. Zusätzlich wurde die Bodenplatte geothermisch aktiviert. Hierfür wurden in die Sauberkeitsschicht unter der etwa 2 m dicken Bodenplatte ca. 86.000 m Leitung verlegt.²⁰⁵



Abbildung 7.2: Hauptbahnhof Baustellenfoto²⁰⁶

Die dadurch gewonnene Energie wird zum Betrieb der Fußbodenkühlungen und -heizungen des gesamten Bauwerks verwendet. Weiters wird sie für die Torluftschleier im Bereich der Bahnsteigabgänge und auch zur Eisfreihaltung der Abfahrt zur Garage und zur Anlieferungshalle herangezogen. Unter Torluftschleier versteht man eine warme strömende Luft, welche die

²⁰⁴Projektleitung des Hauptbahnhofes, ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Meszner: Interview (2013)

²⁰⁵ÖBA der ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Wichra: Interview (2013)

²⁰⁶Foto der Firma Enercret

Wärme des Innenraums am austreten hindern soll.²⁰⁷

In Tabelle 7.1 sind neben den verlegten Leitungslängen und der Größe der belegten Bodenplatte sowie der Anzahl der belegten Pfähle die Heizleistung und die Kühlleistung aufgelistet. Weiters ist das Auftragsvolumen für die Aktivierung der Bauteile angegeben.

Hauptbahnhof Wien	
Belegte Bauteile	22.500 m ² Bodenplatte, 170 Ortbetonbohrpfähle
Leitungslänge	86.000 m + 22.500 m
Heizleistung	1.178 kW
Kühlleistung	846 kW
Auftragsvolumen der Geothermie	etwa 700.000 Euro

Tabelle 7.1: Hauptbahnhof Wien²⁰⁸

7.2 Strabag Konzernzentrale - Wien

7.2.1 Allgemeines

Der Bau der Strabag AG Konzernzentrale in Wien wurde 2003 beendet. Das Gebäude besteht aus 12 Geschossen und zeichnet sich durch eine architektonisch wertvolle Gestaltung aus. Die oberen 8 Geschosse stellen im Grundriss eine gezackte Form des Buchstaben S dar, siehe Abbildung 7.3. Um dies hervorzuheben wurden diese 8 Geschosse auf weiteren vier mit einer Höhe von etwa 13 m gelagert. Die unteren Stockwerke wurden schlanker ausgeführt um den Schein eines schwebenden Buchstaben S zu erhalten. Darunter befindet sich eine Tiefgarage, welche 300 KFZ-Stellplätze beinhaltet. Durch die Glasfassade gliedert sich das Bauwerk in die Bauten auf der Donau-Platte ein. Die 28.000 m² Bruttogeschossfläche wird größtenteils als Bürofläche genutzt, zusätzlich befinden sich auch Geschäfte und Lokale in dem Gebäude.²⁰⁹

7.2.2 Geothermie

Das Gebäude ist auf einer tiefgegründeten Bodenplatte gelagert. Hierfür wurden 245 Stahlbetonpfähle mit einer Länge von bis zu 15 m und einem Durchmesser von 65 cm in den

²⁰⁷ÖBA der ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Wichra: Interview (2013)

²⁰⁸ÖBA der ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Wichra: Interview (2013)

²⁰⁹vgl. www.nextroom.at: Strabag Zentrale (2013)

7 Beispielprojekte



Abbildung 7.3: Strabag Konzernzentrale Wien²¹⁰

Untergrund eingebracht und energetisch aktiviert. Zusätzlich wurde die 6.000 m² große Bodenplatte geothermisch aktiviert. Dazu wurden in Summe etwa 68.000 m HD-PE-Rohre mit einem Außendurchmesser von 25 mm und einer Wandstärke von 2,3 mm verlegt.²¹¹

Die geothermische Anlage wurde für den Wechselbetrieb, sowohl Heizen als auch Kühlen ist möglich, des gesamten Gebäudes ausgelegt. Die erreichte Kühlleistung beträgt 2.026 kW und die Heizleistung 1.680 kW, siehe Tabelle 7.2. Dadurch ist der gesamte Heiz- und Kühlbedarf des Gebäudes gedeckt und keine zusätzliche externe Energie, in Form von beispielsweise Fernwärme, muss verwendet werden.²¹²

Strabag Konzernzentrale Wien	
Belegte Bauteile	6.000 m ² Bodenplatte, 245 Ortbetonbohrpfähle
Leitungslänge	68.000 m
Heizleistung	1.680 kW
Kühlleistung	2.026 kW
Auftragsvolumen der Geothermie	etwa 400.000 Euro

Tabelle 7.2: Strabag Konzernzentrale Wien²¹³

²¹⁰maps.google.at: (2013)

²¹¹vgl. Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview (2013)

²¹²vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

²¹³vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

7.3 Columbus Center - Wien

7.3.1 Allgemeines

Das Columbus Center im 10. Wiener Gemeindebezirk wurde im Zuge der Verlängerung der Fußgängerzone auf der Favoritenstraße errichtet. Der Columbusplatz und das auf diesem errichtete Columbus Center stellen den neuen *Mittelpunkt* der Einkaufsstraße dar.



Abbildung 7.4: Columbus Center

Das Gebäude wurde mit einer Glasfassade ausgestattet. In die Fassade ist eine eiförmige Stahl-Glaskonstruktion eingebaut. Die räumliche Großzügigkeit im Inneren des Gebäudes erlaubt einen freien Blick auf das Glasdach. Dadurch werden große Teile des Bauwerkes mit natürlichem Licht versorgt. Die Gesamtfläche des Centers beläuft sich auf etwa 45.000 m², davon sind etwa 16.000 m² Verkaufsfläche, weitere 7.000 m² sind Bürofläche. Unter dem Columbus Center und unter dem Columbus Platz befinden sich viergeschossige Tiefgaragen, welche durch die unter der Favoritenstraße verlaufende U1 voneinander getrennt sind. Über einen Verbindungstunnel sind die Garagen miteinander verbunden. Diese wurden in Deckelbauweise hergestellt und stellen etwa 700 KFZ-Stellplätze zur Verfügung.^{214 215}

²¹⁴vgl. Santyr: Österreichische Brandschutzkatalog Sammelband 2005 (2005)

²¹⁵vgl. [www.wien.gv.at/Magistratsabteilung 28](http://www.wien.gv.at/Magistratsabteilung_28): Favoritenstraße/Columbusplatz - realisiertes Bauvorhaben (2013)

7.3.2 Geothermie

Das Gebäude wurde mittels Schlitzwänden und Pfählen gegründet, wobei die Schlitzwände auch als Baugrubenumschließung dienten und in weiterer Folge als Kelleraußenwände verwendet werden. Von den 22 m tiefen Schlitzwänden wurden etwa 12.400 m² mit Absorbern belegt, siehe Tabelle 7.3. Weiters wurden 300 Pfähle mit Längen zwischen 7 und 20 m und einem Durchmesser von 120 cm in den Untergrund eingebaut und geothermisch aktiviert. Dazu wurden etwa 90.000 m HD-PE-Rohre verlegt, der Außendurchmesser der Rohre ist 25 mm und die Wandstärke beträgt 2,3 mm.^{216 217}

Ziel der geothermischen Anlage ist eine Heizkosteneinsparung. Das Erdwärmesystem kann die Grundlast der benötigten Heizenergie abdecken. Durch den Wechselbetrieb wird die Anlage sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt. Die niedrigeren Betriebskosten durch die Einsparungen der Fernwärmekosten ermöglichten eine Amortisationszeit der Erdwärmeanlage von etwa 8 Jahren.²¹⁸

Tabelle 7.3 zeigt eine Übersicht der belegten Bauteile des Columbus Centers sowie die verlegten Leitungslängen. Weiters ist die Heiz- und die Kühlleistung sowie das Auftragsvolumen der Errichtung der geothermischen Anlage aufgelistet.

Columbus Center	
Belegte Bauteile	12.400 m ² Schlitzwand, 300 Ortbetonbohrpfähle
Leitungslänge	53.000 m + 36.000 m
Heizleistung	1.200 kW
Kühlleistung	1.400 kW
Auftragsvolumen der Geothermie	etwa 600.000 Euro

Tabelle 7.3: Columbus Center²¹⁹

²¹⁶vgl. Santyr: Österreichische Brandschutzkatalog Sammelband 2005 (2005)

²¹⁷vgl. [www.wien.gv.at/Magistratsabteilung 28](http://www.wien.gv.at/Magistratsabteilung_28): Favoritenstraße/Columbusplatz - realisiertes Bauvorhaben (2013)

²¹⁸vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

²¹⁹vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

7.4 U-Bahnstation U2/3 Praterstern - Wien

7.4.1 Allgemeines

Der Bauabschnitt U2/3 ist jener Teil der U2 Verlängerung, der im 2. Wiener Gemeindebezirk liegt. Die U2 Trasse unterquert zu Beginn des Bauabschnittes die bestehende U1 Trasse und verläuft anschließend unter dem Bahnhof Nord der ÖBB. Dieser Teil des Abschnittes ist etwa 100 m lang und wurde mittels *Neuer Österreichischer Tunnelbaumethode, NÖT*, errichtet. Hier münden die beiden eingleisig geführten Tunnel in den Stationsbereich der Haltestelle Praterstern. Die Station wurde in offener Bauweise, der sogenannten Deckelbauweise, etwa 17 m unter der Geländeoberkante errichtet. Danach verlaufen wieder zwei eingleisig geführte Tunnel in Richtung der Ausstellungsstraße. Diese wurden ebenfalls in bergmännischer Bauweise mittels NÖT hergestellt.²²⁰

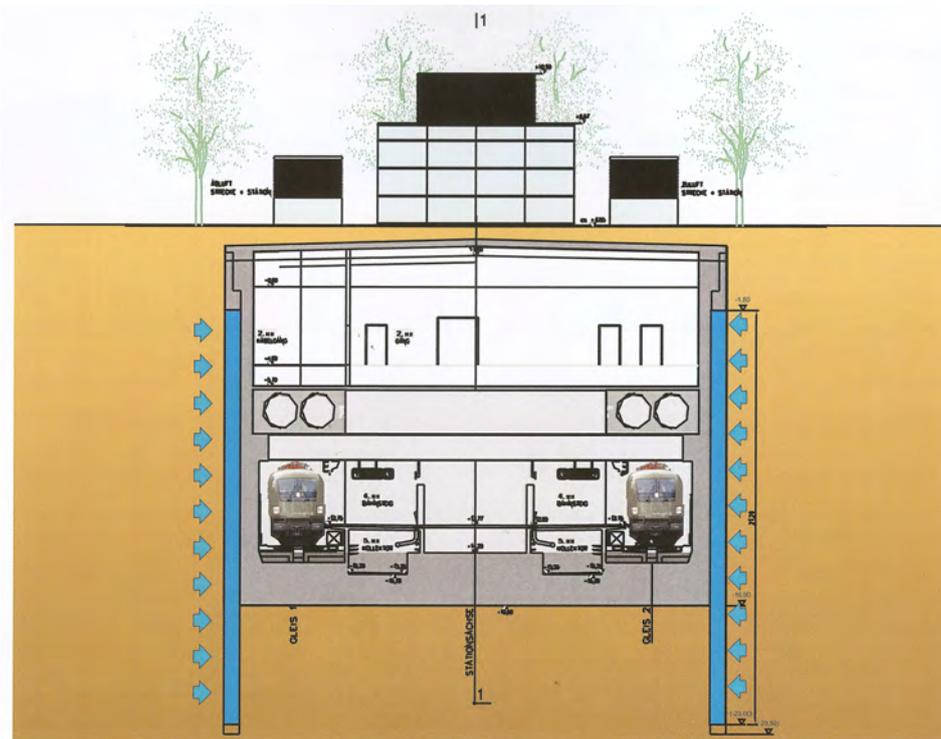


Abbildung 7.5: U-Bahnstation U2/3 Praterstern²²¹

Die Station der U2 in 17 m Tiefe ist mit einem darüber liegendem Zwischengeschoss durch Treppen, Fahrtreppen und Aufzüge verbunden. Von dem Zwischengeschoss wurde ein Verbindungsgang zur bestehenden U1 Station hergestellt. Über dem Zwischengeschoss befindet sich

²²⁰vgl. Wiener Linien: U-Bahn-Bauabschnitt U2/3 Station "Praterstern" (2006)

²²¹Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

die Halle des Bahnhofs der ÖBB. Von hier erreicht man über die bereits bestehenden Treppen, Fahrtreppen und Aufzüge die Bahnsteige der S-Bahnen.²²²

7.4.2 Geothermie

Das Stationsbauwerk wurde, wie oben erwähnt, in Deckelbauweise hergestellt. Um den Stationsbereich von dem anstehendem Grundwasser frei zu halten wurde eine dichte Schlitzwand in den Untergrund eingebaut. Die Gesamtlänge der Schlitzwand beträgt 306 m und wurde mit einer Tiefe von 24 m hergestellt. Etwa 7.350 m² Schlitzwand wurden thermisch aktiviert. Zusätzlich ist die 3.700 m² große Bodenplatte mit Absorberleitungen ausgestattet, siehe Tabelle 7.4. Hier wurden die Leitungen unterhalb der Bodenplatte in der Sauberkeitsschicht verlegt. Die Länge der Geothermie-Rohre beträgt etwa 50.000 m im gesamten Stationsbereich.²²³

Durch die für den Wechselbetrieb ausgelegte Anlage wird eine Heizleistung von etwa 300 kW und eine Kühlleistung von etwa 190 kW gewonnen, siehe Tabelle 7.4. Dadurch werden die Stationsräumlichkeiten und die Geschäftsflächen im Stationsbereich geheizt und gekühlt. Außerdem werden mittels eingebauten Heizungen der Vorplatzes und die Stiegen eisfrei gehalten.²²⁴

U-Bahnstation U2/3 Praterstern	
Belegte Bauteile	7.350 m ² Schlitzwand, 3.700 m ² Bodenplatte
Leitungslänge	50.000 m
Heizleistung	300 kW
Kühlleistung	190 kW
Auftragsvolumen der Geothermie	etwa 300.000 Euro

Tabelle 7.4: U-Bahnstation U2/3 Praterstern²²⁵

²²²vgl. Wiener Linien: U-Bahn-Bauabschnitt U2/3 Station "Praterstern" (2006)

²²³vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

²²⁴vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

²²⁵vgl. Enercret: Thermoaktive Fundamente (2012)

8 Zusammenfassung

Die Geothermie stellt eine alternative Energiegewinnung zur herkömmlichen erdölgebundenen Methode dar. Vor allem die oberflächennahe Geothermie findet bereits Anwendung, wie die in dieser Arbeit angeführten Beispiele belegen.

Um absorberbelegte Bauteile herzustellen, ist deren Herstellungsprozess anzupassen. Die dadurch entstehenden Änderungen werden in der Arbeit erläutert. Der Einbau der Leitungen ist in den Bauablauf zu integrieren und führt kaum zur Verlängerung der Bauzeit.

Vor allem die Herstellung von absorberbelegten Bodenplatten, Pfählen und Schlitzwänden hat sich aufgrund des geringen Mehraufwandes auf der Baustelle bewährt.

Energietunnel sind nur unter besonderen Voraussetzungen zur geothermischen Energiegewinnung zu verwenden. Die Systeme wie Energieanker, Energievlies und Energietübbinge sind durchaus leistungsfähig. Allerdings ist bei vielen Tunnels kein Verbraucher direkt vor Ort. Dies führt zu langen Leitungslängen zum Verbraucher, welche nur unter Verwendung von leistungsstarken Umwälzpumpen überwunden werden können. Aufgrund der energieintensiven Pumpen ist die geothermische Nutzung von Tunnelabschnitten meist nicht wirtschaftlich umsetzbar. Weiters sind Energieanker, Energievliese und Energietübbinge aufgrund der geringen Anwendung Spezialanfertigungen. Dadurch sind die Kosten der Belegung von Tunnelwänden bzw. von Ankern meist zu teuer um einen wirtschaftlichen Nutzen aus Energietunnels zu erhalten.

In Tabelle 8.1 sind die Vor- und Nachteile der verschiedenen Bauteile zusammengefasst. Diese ergeben sich aus den Herstellungsabläufen.

Die in dieser Tabelle angeführten Aufwandswerte sind als grobe Richtwerte zu verstehen und beziehen sich auf die Verlegungsarbeiten der HD-PE-Rohre. Sie sind abhängig von den Baustellengegebenheiten und vor allem von der Beschaffenheit des zu belegenden Bewehrungskorbes, der nötigen Schweißarbeit und der Menge mit welcher ein Korb belegt werden soll.

Die angeführten Preise beinhalten die Materialkosten und die Verlegung der HD-PE-Leitungen bis zum Verteiler. Enthalten ist auch das Befüllen der Leitungen. Die angegebenen Werte

8 Zusammenfassung

Bauteile	Ausführungen	Vorteile	Nachteile	Aufwands- werte	Preise
Pfahl	Ortbetonpfahl und SOB-Pfahl	über große Kontaktfläche wird großes Untergrundvolumen aktiviert	bei falscher Handhabung schadensanfällig	~ 100 m/Partiestunde	~32-40 €/m belegter Pfahl
		bis in große Tiefen möglich (ca.70 m)			
		an Untergrundeigenschaften angepasste Verlegung möglich			
	Fertigrammpfahl und Hohlpfahl	über große Kontaktfläche wird großes Untergrundvolumen aktiviert	keine tiefe Ausführung möglich	keine Angaben	~ 29-30 €/m belegter Pfahl
durch Belegung im Werk treten beim Verlegen der HD-PE-Rohre kaum Schäden auf		~ 32-40 €/m belegter Pfahl			
Schlitzwand	Einphasensystem und Zweiphasensystem	bis in große Tiefen möglich (mehr als 100 m)	Gefahr von thermischem Kurzschluss	~ 80 m/Partiestunde	~32-40 €/m ² belegter Wand
		bei Freilassen der mittleren "Kammer" des Bewehrungskorbes kaum schadensanfällig bei der Betonage	bei einseitiger Kontaktfläche mit dem Untergrund wird nur kleines Untergrundvolumen aktiviert		
	Kombinationsverfahren	durch Belegung im Werk treten beim Verlegen der HD-PE-Rohre kaum Schäden auf	Risiko des Anbohrens der HD-PE-Rohre nach der Fertigstellung	keine Angaben	
Bodenplatte	Verlegung unter der Platte	einfache und unkomplizierte Verlegung der Leitungen	Gefahr von thermischem Kurzschluss	~ 80-100 m/Partiestunde	~25-32 €/m ²
		relativ billige Herstellung	liegt meist im von Außentemperatur beeinflussten Bereich		
		Verlegung langer Leitungslängen möglich	nur einseitige Kontaktfläche mit dem Untergrund --> kleines Untergrundvolumen wird aktiviert längere Herstellungsdauer, da erst nach Leitungsverlegung die Bodenplatte betoniert werden kann		
Energietunnel	Vlies, Anker und Tübbing	über große Kontaktfläche wird großes Untergrundvolumen aktiviert	komplizierte und noch unausgereifte Methoden	keine Angaben	
			lange Leitungslänge zu Verbraucher		
			teure Herstellung, da Spezialanfertigung		

Tabelle 8.1: Zusammenfassung der möglichen absorberbelegten Bauteile

können wie die Aufwandswerte variieren und sollen Richtwerte für geothermisch belegte Bauteile darstellen.

Trotz des geringen Mehraufwandes bei der Herstellung von absorberbelegten Bauteilen sind die Leitungen vor Beschädigungen zu schützen. Schäden können bereits während der Lagerung eintreten, aber auch beim Einbau und nach der Fertigstellung der Bauteile. Da Beschädigungen an den Leitungen in bereits fertiggestellten Bauteilen nicht repariert werden können, führen diese zum Ausfall des verlegten Kreislaufes.

In dieser Arbeit sind häufig auftretende Schäden beschrieben sowie Maßnahmen um diese zu vermeiden. Eine Auflistung der möglichen Schäden, deren Schadensbilder und deren Auswirkungen sind in Tabelle 8.2 zusammengefasst.

Schadensfälle	betroffenes Bauteil	Grund für das Auftreten	Vermeidung	Schadensbild	Auswirkungen
Schäden beim Lagern	HD-PE-Rohr	nicht fachgerechte Lagerung der HD-PE-Rohre	während der Lagerung vor Sonneneinstrahlung schützen	anfängliche Versprödung führt bis zum Zerfall des Materials	Rohrmaterial darf nicht verwendet werden
	HD-PE-Rohr	nicht fachgerechte Lagerung der HD-PE-Rohre	während der Lagerung vor Nässeeinwirkung und Sonneneinstrahlung schützen	Löcher in den HD-PE-Rohren mit Durchmesser von ca.0,5 mm	
	Temperaturwechsel	rascher Temperaturanstieg führt zum Ausdehnen des HD-PE-Materials	bei erwartetem Temperaturanstieg nicht verlegen	Abknicken der Rohre verringert den Durchfluss	geringere Leistungsfähigkeit bei mehr als 10 mbar Widerstand bei der Durchflussprüfung ist die Leitung zu ersetzen
Schäden beim Einbau	Ort betonpfähle	spiralförmige Belegung in Kombination mit schiefer Bohrung	Längsbelegung genaue Überwachung der Bohrung und deren Schiefstellung bei zu schrägen Bohrlochern keine Aktivierung durchführen	Absorber werden vom Betonierrohr durchtrennt oder beschädigt	Leitungsbeschädigung führt zum Ausfall des Kreislaufes
	instabiler Bewehrungskorb	Verwendung eines nicht ausreichend versteiften Bewehrungskorb	ausreichend stabiler Bewehrungskorb um dem Einrütteln stand zu halten	Abknicken der HD-PE-Rohre	bei mehr als 10 mbar Widerstand bei der Durchflussprüfung darf der Kreislauf nicht benutzt werden
	Anbohren	Baugrubenumschließungen Schlitzwand Pfahlwand	innenliegenden Bereich nicht belegen	Loch im HD-PE-Rohr	Leitungsbeschädigung führt zum Ausfall des Kreislaufes

Tabelle 8.2: Zusammenfassung der möglichen Schadensfälle bei absorberbelegten Bauteilen

Appendix

Literaturverzeichnis

- BBergG: Bundesberggesetz, Gesetz, Stand: Zuletzt geändert durch Art. 15a G v. 31.7.2009, Bundesministerium der Justiz, 1980 (siehe S. 19, 20).
- Bockelmann, Franziska, Norbert M. Fisch und Herdis Kipry: Erdwärme für Bürogebäude nutzen, Fraunhofer IRB Verlag, 2011 (siehe S. 8–14, 40, 41, 43, 45, 46).
- Brandl, Heinz u. a.: Massivabsorbertechnologie zur Erdwärmenutzung bei der Wiener U-Bahnlinie U2, in: Österr. Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift Heft 7-9/2010 und Heft 10-12/2010 (siehe S. 69).
- Buja, Heinrich-Otto: Handbuch des Spezialtiefbaus - Geräte und Verfahren, 1.Auflage, Werner Verlag GmbH&Co.KG, 1998 (siehe S. 49, 51–58, 81, 82).
- Bußmann, Werner: Geothermie - Energie aus dem Inneren der Erde, Fraunhofer IRB Verlag, 2011 (siehe S. 3–6).
- Enercret: Fotos zur Verfügung gestellt von Enercret, 2013 (siehe S. 28, 44, 52, 59).
- Enercret: Thermoaktive Fundamente, 2012 (siehe S. 51, 54, 88, 90–92).
- Enercret, Herr Ing. Bayer, Frau Dipl.-Ing. Oles: Interview, 2013 (siehe S. 27, 28, 42–45, 57–60, 88).
- Franzius, Jan Niklas und Norbert Pralle: Mit Tunneln heizen, 2009 (siehe S. 61, 65).
- Hude, Nico von der und Reinhard Volker: Erdwärmenutzung und Ausführung auf der U-Bahnbaustelle U2/1 in Wien, in: Erdwärmenutzung aus erdberührten Betonbauteilen und tiefliegenden Bauwerken Heft 54, Oktober 2003 (siehe S. 48, 49).
- Jodl, O.Univ.Prof. Dipl.-Ing Dr.techn. Dr.h.c. Georg: Skriptum zu Bauverfahrenstechnik, 2010 (siehe S. 30).
- Koenigsdorff, Roland: Oberflächennahe Geothermie für Gebäude, Fraunhofer IRB Verlag, 2011 (siehe S. 4–8, 15–20).
- König, Horst: Maschinen im Baubetrieb, 3.Auflage, Vieweg+Teuner Verlag, 2011 (siehe S. 30–32).
- Magistratsabteilung 29 - Brückenbau, Grundbau: Grenzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden Übersicht, 2013 (siehe S. 23, 24).
- maps.google.at, 2013, URL: <https://maps.google.at/> (siehe S. 88).
- ÖBA der ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Wichra: Interview, 2013 (siehe S. 42, 69, 86, 87).
- ÖBB: Fotos zur Verfügung gestellt von ÖBB, 2013 (siehe S. 45).

- ÖBB Projektleitung: Pläne, 2012 (siehe S. 42, 68).
- Oberhauser, Andreas: Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie-Anlagen, Dissertation, TU Wien - Fakultät für Bauingenieurwesen, 2006 (siehe S. 26, 61–64, 72).
- Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Regelblatt 207 Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen, Regelblatt, 2009 (siehe S. 22, 23, 25, 34, 47, 70, 71, 73, 75).
- Projektleitung des Hauptbahnhofes, ÖBB, Herr Dipl.-Ing. Meszner: Interview, 2013 (siehe S. 85, 86).
- Santyr, Michael: Österreichische Brandschutzkatalog Sammelband 2005, 2005, URL: http://www.brandschutz.at/BS/BK_05/Adobe/BK_05_00_.pdf (siehe S. 89, 90).
- Tholen, Michael und Simone Walker-Hertkorn: Arbeitshilfen Geothermie, wvvg Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, 2008 (siehe S. 15, 16, 20, 26, 33, 35, 36, 39, 66–73).
- Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 1 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, Richtlinie, Juni 2010 (siehe S. 21).
- Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, Richtlinie, Sep. 2001 (siehe S. 21, 41, 43, 47, 54, 55, 76).
- Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 3 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Unterirdische thermische Energiespeicher, Richtlinie, Juni 2001 (siehe S. 21).
- Verein Deutscher Ingenieure: VDI 4640 Blatt 4 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Direkte Nutzung, Richtlinie, Sep. 2004 (siehe S. 22).
- WHG: Wasserhaushaltsgesetz, Gesetz, Stand: Zuletzt geändert durch Art. 2G v. 8.4.2013, Bundesministerium der Justiz, 2009 (siehe S. 20, 21).
- Wiener Linien: U-Bahn-Bauabschnitt U2/3 Station "Praterstern", 2006 (siehe S. 91, 92).
- WRG: Wasserrechtsgesetz 1959, Bundesrecht, Bundeskanzleramt, Oktober 2013 (siehe S. 22, 23).
- [www.aqualine-geo.de: Hosenstücke](http://www.aqualine-geo.de/Produkte.html), 2013, URL: <http://www.aqualine-geo.de/Produkte.html> (siehe S. 67).
- [www.atlascopco.at: Size 1: Fahrbahre, einachsige, öleingespritzte Drehschraubenkompressoren, 7-14 bar](http://www.atlascopco.at/atde/products/product.aspx?id=1517273), 2013, URL: <http://www.atlascopco.at/atde/products/product.aspx?id=1517273> (siehe S. 30, 32).
- [www.bathforyou.de: Gerberit Elektro-Schweißmuffe](http://www.bathforyou.de/de/geberit-elektro-schweissmuffe), 2013, URL: <http://www.bathforyou.de/de/geberit-elektro-schweissmuffe> (siehe S. 39).

- www.beton.org: Spezialtiefbau bei Infrastrukturmaßnahmen, 2013, URL: <http://www.beton.org/wissen/infrastruktur/spezialtiefbau/> (siehe S. 48).
- www.enercret.com: erdberührte Bauteile, 2013, URL: http://www.enercret.com/page/deutsch/enercret_system/erdberuehrte_bauteile/erdberuehrte_bauteile.html (siehe S. 58).
- www.hauptbahnhof-wien.at: Hauptbahnhof Wien, 2013, URL: <http://www.hauptbahnhof-wien.at> (siehe S. 85).
- www.ikz.de: Schweißen von Kunststoffrohren, 2013, URL: <http://www.ikz.de/ikz-praxis-archiv/p0001/000104.php> (siehe S. 37).
- www.kern-gmbh.de: Werkstoff-Datenblätter, 2014, URL: <http://www.kern-gmbh.de/index.html?/kunststoff/service/werkstoffe/eigenschaften/datenblatt.htm> (siehe S. 35).
- www.kunststoffanlagen.de: Heizelementmuffenschweißen, 2013, URL: <http://www.kunststoffanlagen.de/heizelementmuffenschweissen.html> (siehe S. 37).
- www.kunststoffanlagen.de: Heizelementstumpfschweißen, 2013, URL: <http://www.kunststoffanlagen.de/heizelementstumpfschweissen.html> (siehe S. 38).
- www.kunststoffanlagen.de: Heizelementstumpfschweißen, 2013, URL: <http://www.kunststoffanlagen.de/heizwendelschweissen.html> (siehe S. 39).
- www.nextroom.at: Strabag Zentrale, 2013, URL: www.nextroom.at/building.php?id=318 (siehe S. 87).
- www.waterkotte-geo.com: Waterkotte-Geoenergy Consultant, 2013, URL: <http://www.waterkotte-geo.com/> (siehe S. 74).
- www.wien.gv.at und Magistratsabteilung 28: Favoritenstraße/Columbusplatz - realisiertes Bauvorhaben, 2013, URL: <http://www.wien.gv.at/verkehr/strassen/archiv/grossprojekte/favoriten.html> (siehe S. 89, 90).
- www.zamg.ac.at: Jahresrückblick, Sep. 2013, URL: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/jahresrueckblick> (siehe S. 8).
- www.zamg.ac.at: Klimadaten Österreich 1971-2000, 2014, URL: http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (siehe S. 36).
- Zauner, Andrea: Oberflächennahe Erdwärmenutzung in Österreich, Zement+Beton Handels- und Werbeges.m.b.H, 2009 (siehe S. 55, 66, 67).
- Ziegler, Martin und Sylvia Kürten: Erdwärmenutzung mit Hilfe von geothermisch wirksamen Abdichtungselementen an erdberührten Untergeschoßkonstruktionen im Grundwasser, Fraunhofer IRB Verlag, 2011 (siehe S. 40, 41, 43, 47, 50, 54, 55, 60, 61, 64, 65).

Abbildungsverzeichnis

2.1	Links: Schnitt der Erde, Rechts: Temperaturverlauf vom Mittelpunkt zur Kruste	4
2.2	Hot-Dry-Rock System	7
2.3	Abhängigkeit der Untergrundtemperatur von der saisonalen Außentemperatur	9
2.4	Kühl- und Heizbetrieb	10
2.5	Wärmepumpe	11
2.6	Saisonale Wechselwirkung	12
2.7	Offene Erdwärmesysteme	13
2.8	Links: Bodenplatte, Rechts: Pfahlsystem	14
2.9	Erdwärmesonde	14
2.10	Sondentypen	16
2.11	Heat-Pipe-Prinzip	17
3.1	Grenzzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden in Wien	23
3.2	Grenzzlinie der Bewilligungspflicht für Erdwärmesonden in Wien	24
4.1	Lagerung der Wärmeüberträger auf der Baustelle	28
4.2	Fahrbarer Schraubenkompressor der Baureihe Size 1 von Atlas Copco	30
4.3	Funktionsprinzip Kompressor	31
4.4	Verdichtungsstufe, Schraube	32
4.5	Heizelement-Muffenschweißen	37
4.6	Heizelement-Stumpfschweißen	38
4.7	Heizwendel-Schweißen	39
4.8	Elektro-Schweißmuffe	39
4.9	Links: Verlegung in der Bodenplatte, Rechts: Verlegung unter der Bodenplatte	40
4.10	Detail Biegung 180 °C	42
4.11	Aktivierung unter der Bodenplatte bei U2 Station Messe	44
4.12	Verteiler und Bodenplattendurchlass	45
4.13	Skizze eines belegten Energiepfahls	46
4.14	Bohrpfahlwand: obere Zeile Primärpfähle, untere Zeile Sekundärpfähle	48
4.15	Anschlusskasten	49

Abbildungsverzeichnis

4.16	Belegte Pfahlbewehrungskörbe	51
4.17	SOB-Pfahlherstellung	52
4.18	Rammhaube	53
4.19	Hohlpfähle aus Stahl	54
4.20	Befestigung des Bewehrungskorbes an der Leitwand	56
4.21	Zweiter Bewehrungskorb wird über den ersten gehoben	57
4.22	Schlitzwand Anschlussstelle	59
4.23	Energievlies	61
4.24	Systemskizze eines mit Energievlies aktivierten Tunnels	62
4.25	Energieanker mit eingeführter Koaxialsonde	63
4.26	Energieanker mit Ankerkopfdichtung	63
4.27	Ankerkopfstück	64
4.28	Energietübbinge	65
4.29	Kupplungsnische	65
4.30	Prinzipskizze einer Parallelschaltung und einer Serienschaltung	67
4.31	Hosenstück mit Muffe	67
4.32	Kabelkanal	68
4.33	Druckwasserdichte Durchführung	69
5.1	Qualitätskontrolle mittels Manometer	74
5.2	Druckprüfungsprotokoll	75
6.1	Knicken durch Temperaturwechsel	80
6.2	Spiralförmige Belegung	81
6.3	Betonierrohr	82
6.4	Instabiler Bewehrungskorb	83
6.5	Leitungsverlegung zur Minderung des Anbohrerisikos	84
7.1	Hauptbahnhof	85
7.2	Hauptbahnhof Baustellenfoto	86
7.3	Strabag Konzernzentrale Wien	88
7.4	Columbus Center	89
7.5	U-Bahnstation U2/3 Praterstern	91

Tabellenverzeichnis

4.1	Technische Daten eines Schraubenkompressors der Baureihe Size 1 von Atlas Copco	32
4.2	Maße der PE 100, SDR 11, PN 16 Rohre	33
4.3	Vergleich zwischen LD-PE und HD-PE	35
4.4	Wärmeausdehnung verschiedener Werkstoffe	35
4.5	Mindestbiegeradien von HD-PE 100, SDR 11, abhängig von Temperatur und Durchmesser d	36
7.1	Hauptbahnhof Wien	87
7.2	Strabag Konzernzentrale Wien	88
7.3	Columbus Center	90
7.4	U-Bahnstation U2/3 Praterstern	92
8.1	Zusammenfassung der möglichen absorberbelegten Bauteile	94
8.2	Zusammenfassung der möglichen Schadensfälle bei absorberbelegten Bauteilen	95