

Innovative Systeme der Erdwärmenutzung – regenerative Energie aus dem Untergrund

Univ.-Prof. DI Dr. techn. Dietmar Adam, TU Wien, Institut für Geotechnik

Die Nutzung der ausgeglichenen Temperaturen im Untergrund zur Klimatisierung durch den Menschen hat eine lange Tradition, in Erdkellern und Höhlen wird dies zur Lagerung von Lebensmitteln bereits seit Jahrtausenden verwendet. Die Einführung leistungsfähiger Wärmepumpen ermöglicht seit einigen Jahrzehnten die Anhebung der im Untergrund gespeicherten Energie auf Temperaturniveau, die auch eine aktive Beheizung oder Kühlung von Gebäuden erlauben. Seit Anfang der 90er-Jahre wurden Technologien entwickelt, die es erlauben, Absorbersysteme in Bauwerksteile zu integrieren und damit größere Energiepotenziale zu günstigeren Preisen zu erschließen.

1 Einleitung

Erdberührte Bauwerksteile („Erdwärmeabsorber“) ermöglichen eine sehr wirtschaftliche Nutzung der geothermischen Energie. Dies betrifft vor allem Bauwerksteile aus Beton („Massivabsorber“). Hierfür kommen primär Tieffundierungen (Pfähle, Schlitzwände), aber auch Flachfundierungen und sogar Keller- bzw. Stützwände infrage. Die Absorberleitungen werden unmittelbar in die Fundierungselemente eingebaut, zusätzliche Einbauten im Erdreich sind nicht erforderlich. Es werden Systeme mit und ohne Wärmepumpen verwendet. Das Verfahren der geothermischen Energiebewirtschaftung ermöglicht eine umweltfreundliche, ressourcenschonende Heizung und/oder Kühlung von Bauwerken.

2 Geothermische Energiebewirtschaftung

Prinzipiell kann zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Möglichkeiten

der geothermischen Energiebewirtschaftung unterschieden werden:

- einfache geothermische Energieentnahme bzw. -zufuhr
- saisonaler Betrieb mit Wärme- und Kältespeicherung

Während beim einfachen geothermischen Betrieb (Entnahme bzw. Zuführen von Wärme aus dem bzw. in den Boden) der Energiefluss lediglich in einer Richtung erfolgt, wird beim saisonalen Betrieb die thermodynamische Trägheit des Bodens herangezogen, um Energie im Boden zu speichern, sodass diese zum benötigten Zeitpunkt wiederum entnommen werden kann. Bei einem saisonalen Speicher ist es daher möglich, eine ausgeglichene Energiebilanz im Zeitraum eines Jahres zu gewährleisten.

3 Prinzip der geothermischen Energienutzung bei Hochbauten

In den meisten Klimazonen Europas ist die Temperatur des Untergrundes ab einer Tiefe von ca. 10-15 m relativ konstant: Bis zu einer Tiefe von ca. 50 m beträgt sie in der Regel 10-15 °C. Daher reicht eine Umwälzung der Wärme für eine Heizung im Allgemeinen nicht aus; Ähnliches gilt für eine Kühlung. Aus diesem Grund ist zu unterscheiden zwischen

- Systemen ohne Wärmepumpe
- Systemen mit Wärmepumpe

Mittels Wärmepumpe können Absorbersysteme zur Gebäudeheizung verwendet werden; umschaltbare Wärmepumpen ermöglichen sowohl eine Beheizung

als auch eine Kühlung. Die Bodenwärme wird der Wärmepumpe durch den sog. Primärkreislauf zugeführt; der Sekundärkreislauf befindet sich im Bauwerk. Leistungsfähige Wärmepumpen weisen einen Wirkungsgrad von ca. 4 auf: In diesem Fall ist nur ¼ elektrische Energie erforderlich; der Hauptanteil von ¾ der erforderlichen Gesamtenergie stammt aus der Umweltwärme.

Bei einem geothermischen Kühlsystem wird dem Gebäude Wärme entweder über eine Luftkühlung oder einem auf Wasser basierenden Kühlsystem entzogen. Die Kältemaschine ist dabei an das Absorbersystem angeschlossen und leitet die Überschusswärme über das Transportmedium im Primärkreislauf in den Boden. Bei kombinierten Systemen bzw. saisonaler Erdwärmespeicherung kann die Energie bei Bedarf wiederum entnommen werden. Beim sog. „Free Cooling“ wird der Fremdenergiebedarf auf den Betrieb einer Umwälzpumpe reduziert.

Das Grundprinzip zur Erdwärmenutzung besteht darin, Betonelemente mit Kunststoffrohren zu bestücken und mit einem geeigneten Medium (im Allgemeinen Wasser bzw. Mischungen aus Wasser und Frostschutzmittel [Glykol]) Erdwärme umzuwälzen und diese einer Nutzung (Heizung, Kühlung) zuzuführen. Die hohe Wärmeleit- und Speicherfähigkeit von Beton macht diesen Baustoff zu einem geeigneten Energieabsorber. Platten- und Pfahlgründungen von Bauwerken werden etwa seit Mitte der Achtzigerjahre zur Nutzung von geothermischer Energie herangezogen, ohne dass ein großer Mehraufwand bei der Herstellung der statisch ohnehin erforderlichen

Bauteile notwendig ist. Seit dem Jahre 1996 sind auch Schlitzwände, die zur Baugrubensicherung bzw. Fundierung von Bauwerken dienen, als Energieabsorber im Einsatz.

Im Prinzip können alle erdanliegenden Betonbauteile als Energieabsorber verwendet werden. Somit eignen sich auch Flachfundierungen. Tieffundierungen (Pfähle, Schlitzwände) in besonderer Weise, da tiefer liegende Bereiche des Untergrundes erschlossen werden, welche nicht mehr unter dem Einfluss der saisonalen Temperaturschwankungen an der Oberfläche stehen. Aus diesem Grund ist auch der „Energiepfahl“ jenes Element, mit dem am häufigsten eine geothermische Energiebewirtschaftung erfolgt. Grundsätzlich kommen folgende Tieffundierungen infrage:

- Ortbetonbohrpfähle.
- Rammpfähle aus Stahlbeton (Voll- und Hohlquerschnitt).
- Schlitzwände

An der Bewehrung werden in situ bzw. im Werk Wärmetauscherrohre montiert. Diese Rohre, die im Allgemeinen einen Durchmesser von 20 mm bis 25 mm aufweisen, bestehen meist aus HDPE. Beim Betoniervorgang werden die Schläuche unter Druck gesetzt, anschließend erfolgt eine Dichtheitsprüfung der Rohrleitungen mit einem definierten Druck von 8 bis 10 bar.

Ist die Bewehrung aufgrund großer Pfahlänge zu stoßen, so kann mittels einer Schweißverbindung bzw. Patentkupplung die Verbindung der Rohrleitungen in wenigen Minuten hergestellt werden. Im Bereich des Pfahlkopfes ist eine Aussparung angebracht, in der sich die Vor- und Rücklaufleitungen befinden. Die Pfähle können mit einem oder mehreren Kreisläufen ausgestattet werden.

Beispiele von ausgeführten Hochbauprojekten mit Energiefundierungen in Wien sind:

- das EA GeneraliCenter



Abb. 1: HDPE-Absorberleitungen einer „Energiebodenplatte“, montiert auf der Sauberkeitsschicht eines Hochbaus

- das Columbuscenter
- der Uniqa Tower
- die STRABAG-Zentrale

4 Erdwärmeabsorber für den Ingenieurtiefbau und Tunnelbau

4.1 Allgemeines

Die Massivabsorbertechnologie hat sich sowohl für die Beheizung als auch für die Kühlung von Hochbauten in Verbindung mit Wärmepumpen bzw. Kältemaschinen bereits bestens bewährt. Besonders bei der Kühlung erweist sich die Nutzung der Erdwärme als hervorragende Energiequelle, da einerseits die Aggregate im Vergleich zur konventionellen Ausstattung kleiner ausfallen können und andererseits die Betriebskosten im Vergleich zu einer herkömmlichen Kühlung mit Strom wesentlich geringer sind.

Eine völlig neue Anwendung dieser innovativen Technologie ist die Nutzung der geothermischen Energie mittels Tunnelbauwerken. Diese bietet gegenüber den traditionellen Anwendungen folgende Vorteile:

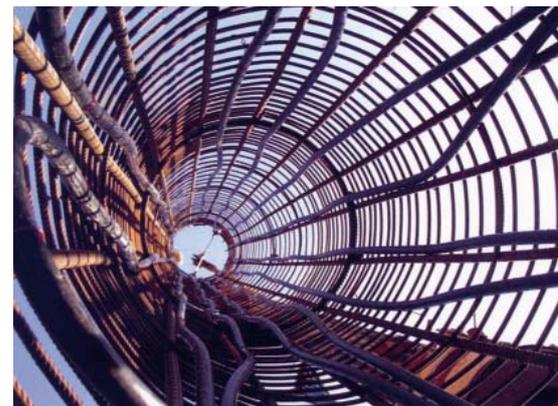


Abb. 2: HDPE-Absorberleitungen eines „Energiepfahles“, montiert am Bewehrungskorb eines Bohrpfahles



Abb. 3: HDPE-Absorberleitungen einer „Energieschlitzwand“, montiert am Bewehrungskorb eines Schlitzwandelementes

- Tunnelbauwerke liegen von Natur aus in Tiefen, wo bereits mit konstanter Jahresmitteltemperatur gerechnet werden kann.
- Tunnelbauwerke bieten große erdberührte Flächen und ermöglichen damit die Erschließung deutlich größerer Energiemengen.
- Längere Tunnel weisen erhebliche innere Wärmequellen, vor allem durch die Abwärme der Fahrzeuge, auf. In U-Bahn-Tunneln ist dies besonders prägnant, wo auch im Winter Temperaturen über 20 °C vorherrschen können.
- In den großen Genehmigungsverfahren, die für Tunnelbauwerke erforderlich sind, können aus Vorhaben wie der Erdwärmenutzung auch immaterielle Vorteile erwachsen, wie etwa ein positives Image des Projektwerbers oder eine erhöhte Akzeptanz des Tunnelbaus beim Anrainer.

Die Möglichkeiten der Nutzung der Energie für Heiz- und Kühlzwecke sind vielfältig. Jedes Tunnelbauwerk verfügt zunächst über einen nicht unerheblichen Eigenbedarf an Energie. Besonders deutlich ist dies bei U-Bahn-Stationen, wo verschiedene Räumlichkeiten beheizt und gekühlt werden müssen. Im Eisenbahn- und Straßentunnelbau besteht jedoch auch oft die Notwendigkeit der Beheizung und Kühlung von Betriebsräumen, Schaltwarten oder Lüfterzentralen. Ein weiteres wichtiges Feld der Eigennutzung stellt die Eisfreihaltung dar, besonders im Straßentunnelbau, wo dies in den Portal- und Einfahrtsbereichen aus Gründen der Verkehrssicherheit sehr wünschenswert wäre. Im Eisenbahntunnelbau sind ebenfalls Zufahrten, besonders zu Wartungs- und Sicherungsanlagen wie Rettungstollen, sowie Bahnsteige eisfrei zu halten.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Veräußerung von Tunnelenergie an Drittnutzer. Dies ist vor allem bei innerstädtischen Tunnelbauwerken interessant, wo die Tunnels meist nah an der Oberfläche liegen und die Abstände zu

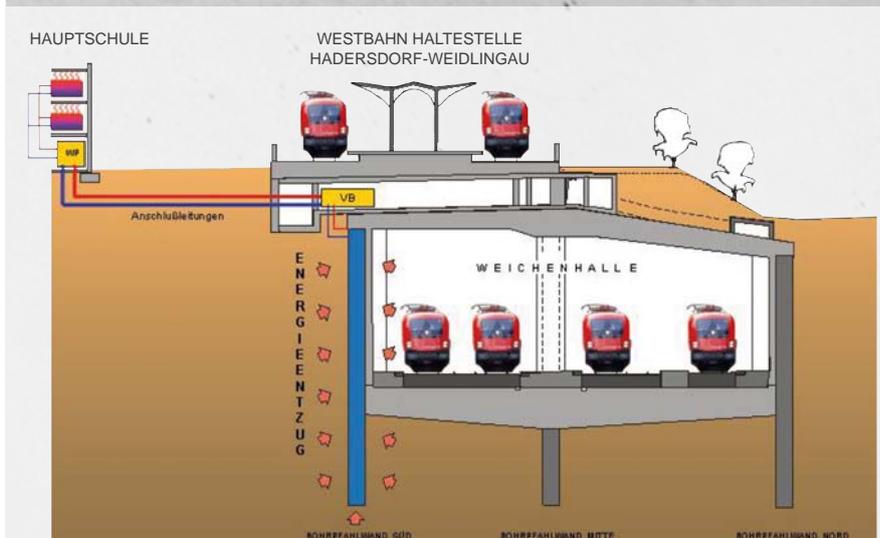


Abbildung 4: Querschnitt der geothermischen Versuchsanlage in Hadersdorf-Weidlingau

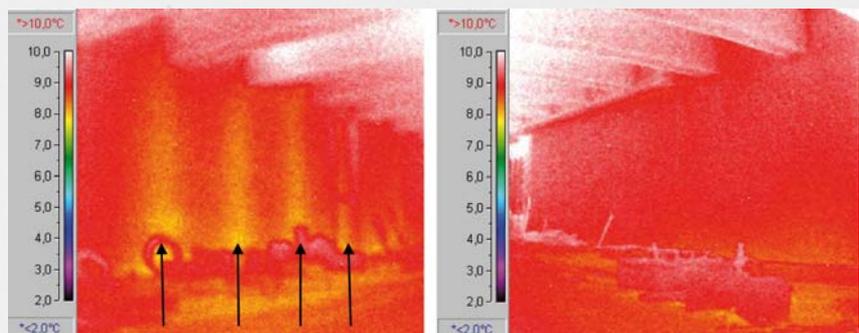


Abb. 5: Wärmebild des mit Energiepfählen ausgerüsteten Tunnelabschnittes beim Lainzer Tunnel Baulos „LT24 – Hadersdorf-Weidlingau“. Links ist die lokale Abkühlung (Pfeile) der Tunnelchale durch die Energiepfähle deutlich zu erkennen. Rechts ist im Vergleich dazu die gegenüberliegende Tunnelwand zu sehen, bei der kein Erdwärmeentzug stattfindet.

den Nutzern gering sind. Ideal sind hier große, neu errichtete Objekte mit gemischter Wohn- und Gewerbenutzung und einem möglichst hohen Kühlbedarf.

4.2 Tunnels in offener Bauweise

Beim Einbau von Massivabsorbern in Tunnels ist zunächst zwischen offenen und bergmännischen Tunnelbauten zu unterscheiden. Bei der Anwendung der offenen Bauweise steht das bereits aus dem Hochbau bekannte Arsenal an Me-

thoden zur Verfügung: Einbau von Absorbem in Bohrpfählen, Schlitzwänden und unter den Bodenplatten.

Die Pilotanlage „Hadersdorf-Weidlingau“ im Lainzer Tunnel Bauabschnitt LT24 (im Westen von Wien), die im Februar 2004 in Betrieb ging, stellt die erste großmaßstäbliche Anwendung zur Erdwärmenutzung im Tunnelbau dar. Über 59 Energiepfähle (Abb. 5) kann eine Wärmeleistung von 150 kW erzeugt werden, die zur Beheizung der nahe gelegenen

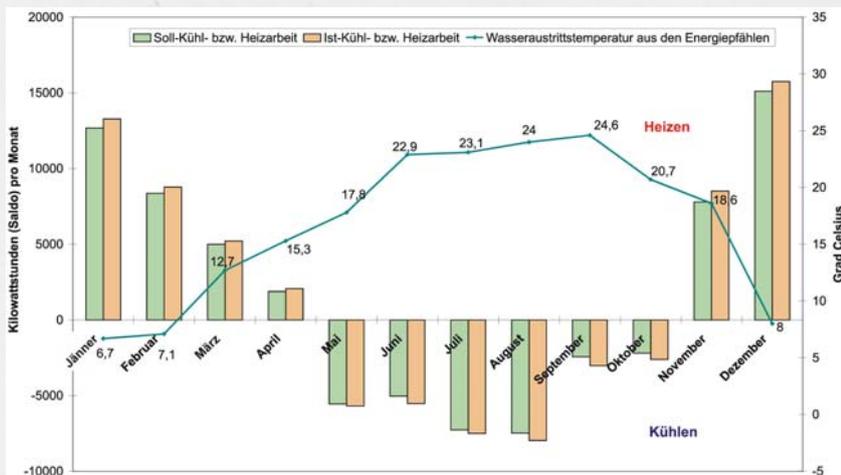


Abb. 6: Simulationsergebnis für die Absorberanlage der Station U2/1 Schottenring. Das Ergebnis zeigt eine etwa ausgeglichene Energiebilanz im Jahresverlauf.



Abb. 7: Energiebodenplatten in einem Stationsbauwerk (links) und in einem Tunnelabschnitt (rechts) bei der U-Bahnlinie U2 in Wien.

der Erdwärme als hervorragende Energiequelle, da die Aggregate im Vergleich zur konventionellen Ausstattung kleiner ausfallen können und die angesaugten Luftmengen geringer sind, was wieder zu einer Reduktion von Stollenquerschnitten führt.

Auch bei der Anwendung im U-Bahn-Bau ist ein intensives Mess- und Forschungsprogramm integriert, wobei einerseits die Auswirkungen der Erdwärmanlagen auf das Tragverhalten der Fundierungen und andererseits der Temperaturhaushalt des Untergrundes untersucht werden. Die komplette Anlage wird im Winter 2007/2008 erstmals in Betrieb genommen.

4.3 Tunnels in geschlossener Bauweise

4.3.1 Energievlies

Bei Tunnels, die in geschlossener Bauweise hergestellt werden, ist das bewährte System der Montage von Absorberleitungen in Betonbauteilen nur im Sohlbereich (Abb. 8 rechts) möglich. Um auch die Tunnelchale für den Energieentzug heranziehen zu können, wurde ein gänzlich neues Produkt, das so genannte „Energievlies“, entwickelt.

Die ersten Überlegungen hinsichtlich der Entwicklung eines Energievlieses erfolgten bereits 2002. Es wurden mehrere Möglichkeiten diskutiert, wie in einem Tunnelbauwerk eine Energieextraktion mit einem Vlies erfolgen könnte, wobei letztendlich einem Schutz- und Drainagevlies mit integrierter Rohrleitung der Vorzug gegeben wurde. Durch den Einbau von Rohrleitungen in ein Schutz- und Drainagevlies erhält man ein der bereits erprobten Massivabsorbertechnik ähnliches System, bei dem ein geschlossener Kreislauf zur Energieextraktion vorliegt. Über eine Sammelleitung (beispielsweise im Ulmenbereich) können einzelne Zellen gespeist werden, in denen die Absorberflüssigkeit Energie aus dem umliegenden Erdreich entzieht und anschließend über eine Sammelleitung

Sporthauptschule Hadersdorf verwendet wird. Der Betrieb der Anlage wird durch ein umfassendes wissenschaftliches Forschungsprogramm begleitet, das es ermöglichen soll, künftige Anlagen noch effizienter zu errichten und die verschiedenen Betriebszustände zu optimieren.

Die Erfolge dieser Pilotanlage haben schließlich dazu beigetragen, dass diese Technologie auch im U-Bahn-Bau eingesetzt wird. Die Wiener Linien GmbH hat sich entschlossen, im Rahmen der Ver-

längerung der U-Bahn-Linie U2 die vier unterirdischen Stationen „Schottenring“, „Taborstraße“, „Praterstern“ und „Messe“ mit einer Erdwärmanlage zur Deckung des Heiz- und Kühlbedarfs der Stationsräume auszurüsten. In Abhängigkeit der Fundierungselemente werden Energiepfähle, Energieschlitzwände oder Energiebodenplatten verwendet, um eine gesamte Heizleistung von 449 kW und eine gesamte Kühlleistung von 131 kW zu gewährleisten. Besonders bei der Kühlleistung erweist sich die Nutzung

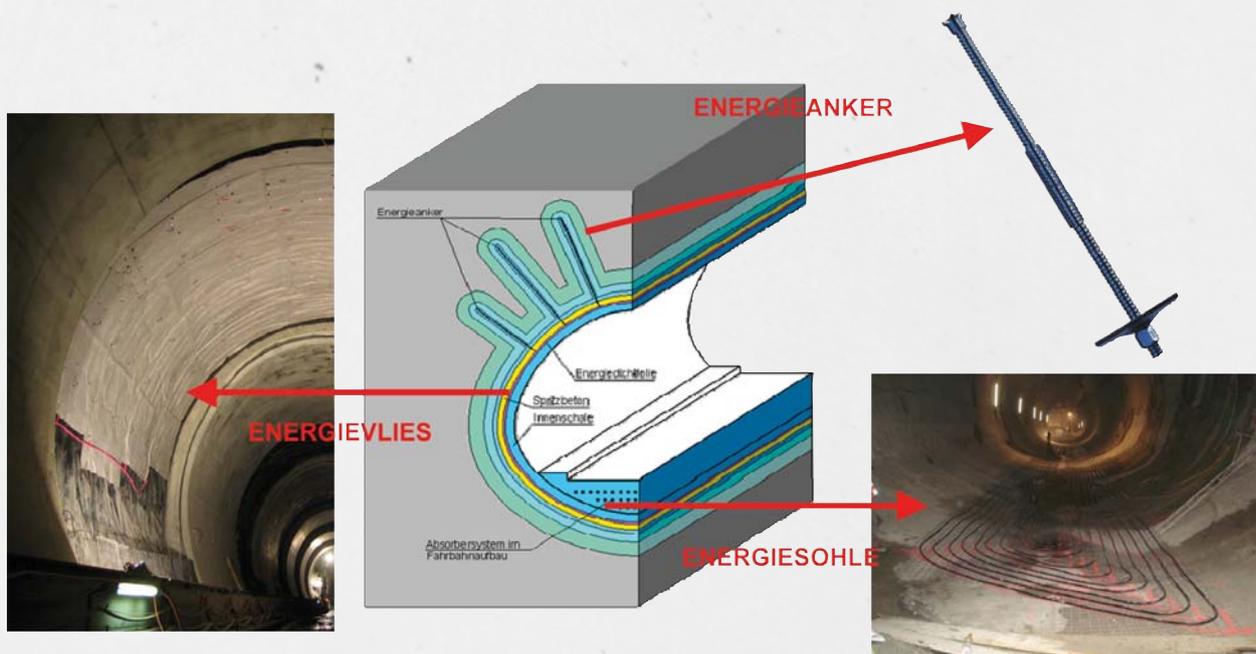


Abb. 8: Möglichkeiten der Erdwärmenutzung bei bergmännisch aufgefahrener Tunnelbauwerken



Abb. 9: Einbau des Energievlieses im bergmännischen Tunnelbau beim Lainzer Tunnel Bauabschnitt „LT22 – Bierhäuselberg“

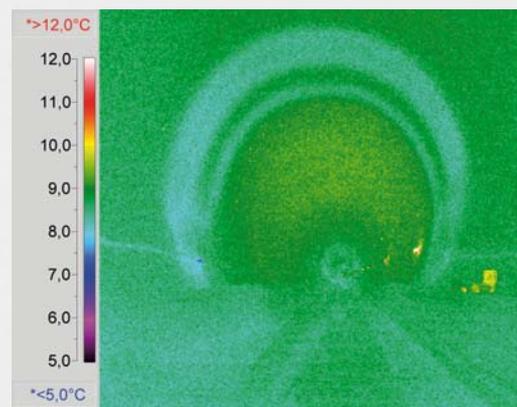


Abb. 10: Aufnahme mit einer Wärmebildkamera zur Veranschaulichung des Wärmeflusses beim Energievlies nach Fertigstellung der Tunnelschale

zur Wärmepumpe weiterleitet. Mit diesem System lassen sich einzelne in sich abgeschlossene Zellen herstellen, die im Bedarfsfall (Schadensfall) vom übrigen Kreislauf abgekoppelt werden können. Idealerweise können vorgefertigte Elemente (Vlies mit integrierter Rohrleitung) angefertigt und an die Baustelle geliefert werden, wodurch hinsichtlich

der Bauausführung keine wesentlichen Änderungen zu erwarten sind, da ein Schutz- und Drainagevlies in vielen Fällen ohnehin eingebaut wird (der Bauherr muss kein zusätzliches Element kaufen, und es ergibt sich kein zusätzlicher Arbeitsschritt beim Einbau). Die Montage der Rohrleitungen am Vlies bietet zudem den Vorteil, dass das Vlies die Rohrlei-

tungen vor allem beim Betoniervorgang der Innenschale schützt.

Nach Herstellung und Testen eines Energievlies-Prototyps im Labor wurde eine Versuchsanlage im Lainzer Tunnel Abschnitt „LT22 - Bierhäuselberg“ (im Westen von Wien) hergestellt und betrieben. In 2 Tunnelblöcken wurden je-

weils 4 Energievliesbahnen montiert und sowohl im Heiz- als auch im Kühlbetrieb getestet. Obwohl mit dieser Versuchsanlage wertvolle Erkenntnisse in Bezug auf den Einbau beim bergmännischen Tunnelbau und deren Betrieb gewonnen werden konnten, erscheint eine wirtschaftliche Umsetzung von Großprojekten erst nach Realisierung einer größeren Pilotanlage möglich. Im Rahmen einer solchen Pilotanlage sind in erster Linie die Kosten und die Randbedingungen für einen reibungslosen Einbau zu eruieren. Zudem sind noch Detaillösungen z. B. hinsichtlich der Leitungsführung zu erarbeiten.

4.3.2 Energieanker

Weitere Untersuchungen haben sich mit der Entwicklung des so genannten Energieankers beschäftigt, bei dem ein Anker, der primär zur Tunnel- oder Hangsicherung verwendet wird, auch der Energienutzung dient. Im Vergleich zu den bereits angeführten Massivabsorbersystemen wie Energiepfähle und Energieschlitzwände bei Tunnels in offener Bauweise oder Energievliese bei geschlossener Bauweise haben Anker den Vorteil, dass sie vom Fels bzw. Boden vollkommen umschlossen sind und somit rundum Wärme entziehen bzw. überschüssige Wärme einspeisen können.

Die Idee zur Nutzung von Erdwärme mittels Anker bestand schon seit langer Zeit, ein Problem hierbei war allerdings die technische Realisierung aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse im Ankerinneren. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde in den letzten Jahren allerdings ein Prototyp mittels eines Injektionsbohrankers vom Typ Atlas Copco MAI SDA entwickelt. Das Tragelement eines solchen Ankers, die Ankerstange, ist als Rohr mit kalt aufgerolltem Außengewinde ausgeführt und bietet somit genügend Platz, um Absorberflüssigkeit ein- und rückzuleiten. Unter Verwendung einer verlorenen Bohrkronen wird der Anker in den Baugrund eingebohrt und mittels Kupplungen nach Bedarf verlängert. Nach dem Verpressen und Aushärten des Anker Mörtels besteht eine kraft- und

formschlüssige Verbindung zwischen Anker und Baugrund.

Nach dem Verpressen des Anker Mörtels muss der Spülkanal des Energieankers vom Zementmörtel gereinigt werden. Im nächsten Schritt ist die Bohrkronen dauerhaft abzudichten, einerseits gegen drückendes Wasser von der Bergseite, andererseits gegen den Innendruck des geschlossenen Kreislaufes der Absorberflüssigkeit. Der luftseitige Anschluss des Systems im Tunnel muss einfach herzustellen sein. Aus Kostengründen

sind Standardprodukte einzusetzen. Wichtig hierbei ist eine rasch und unter Baustellenbedingungen herstellbare dichte Verbindung der Anker untereinander zu einem geschlossenen Absorberkreislauf.

Ein Energieanker darf sich in der Handhabbarkeit nur gering bis gar nicht von einem herkömmlichen Anker unterscheiden, um für den Tunnelbau bzw. eine Hangsicherung überhaupt geeignet zu sein. Problematische Bereiche sind dabei die dauerhaften Abdichtungen an

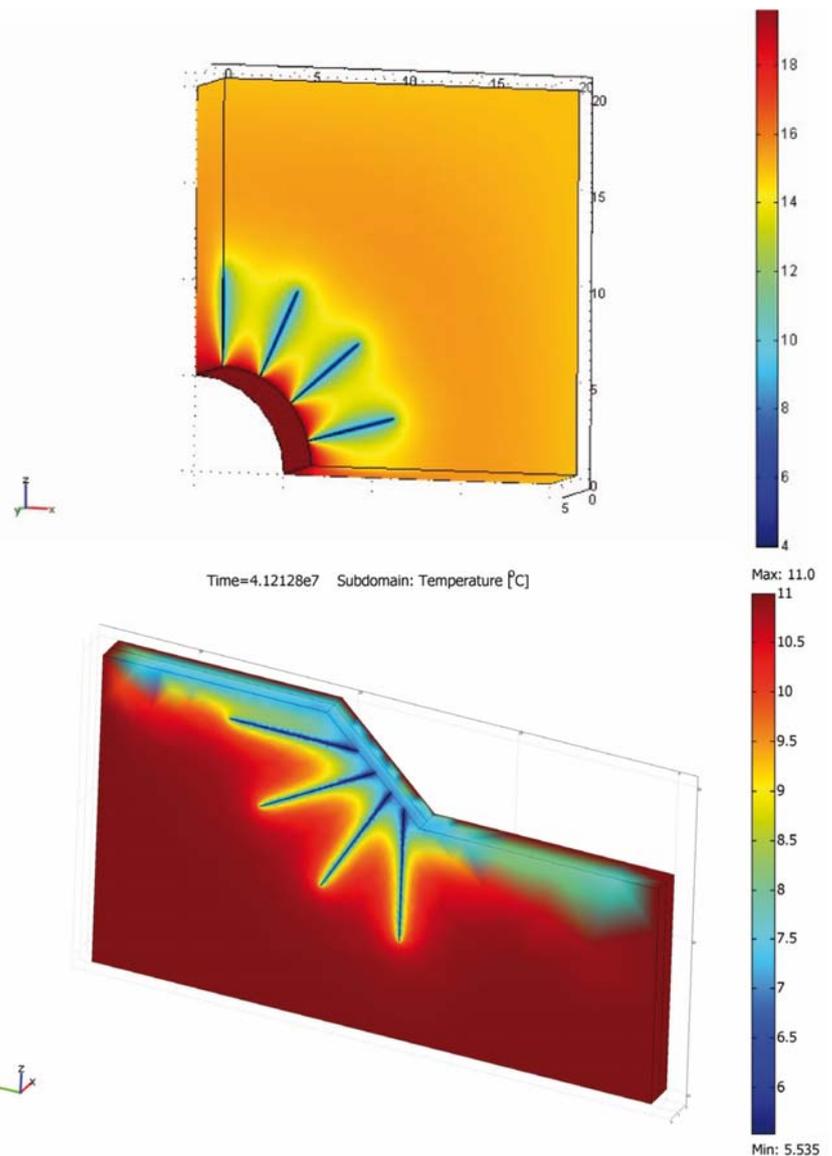
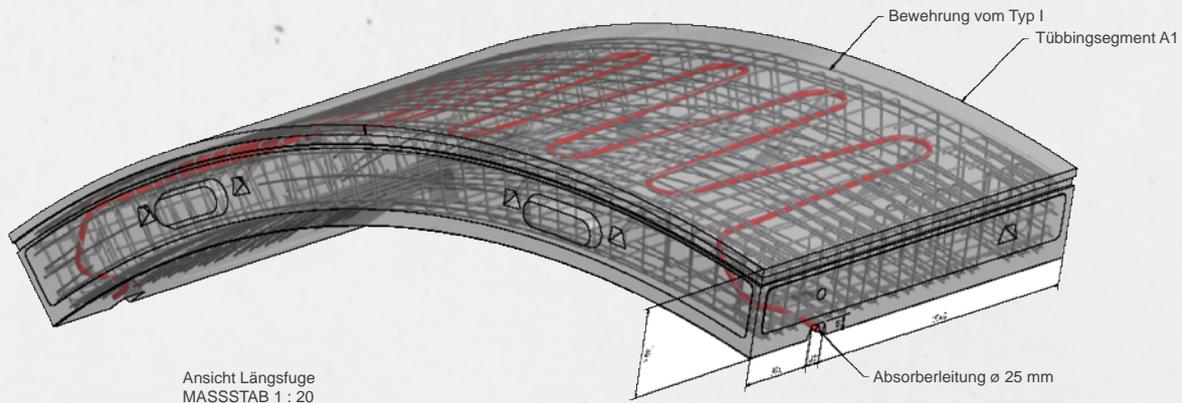


Abbildung 11: A: Thermische Nutzung von Ankern im bergmännischen Tunnelbau; B: Thermische Nutzung von Ankern zur Böschungsstabilisierung



Ansicht Längsfuge
MASSSTAB 1 : 20

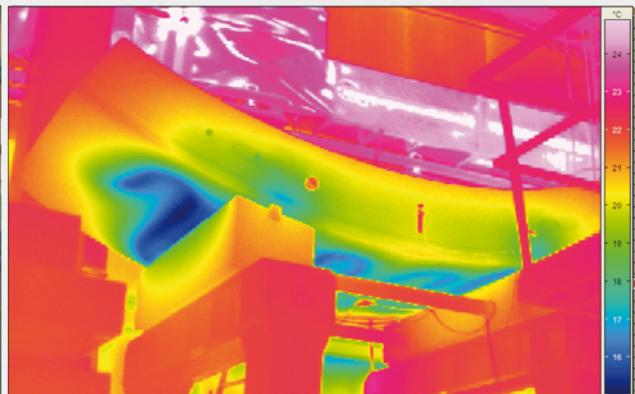


Abbildung 12: Energietübbing: Anordnung der Absorberelemente innerhalb des Betonfertigteils (oben) und Testen eines Prototyps im Labor (unten) [Pralle et al., 2009]

der Bohrkronen im Bohrloch tiefsten bzw. an den Kupplungsmuffen zwischen zwei Ankerstangen.

Im Rahmen dieser Forschungstätigkeit wurde schließlich eine Testanlage im Baulos LT 31 Klimtgasse des Lainzer Tunnels (Wien) errichtet und betrieben. Obwohl im Rahmen dieser Testanlage die Funktionsfähigkeit des Energieankers nachgewiesen werden konnte, sind allerdings noch weitere Untersuchungen notwendig, um einen wirtschaftlichen Einsatz von Energieankern bei Großprojekten umsetzen zu können.

4.3.3 Energietübbing

Der so genannte Energietübbing (Abb. 12) wurde von den Firmen Ed. Züblin

AG und Rehau AG + Co entwickelt. Damit kann nun auch aus maschinell vortriebenen Tunnels, bei denen Betonfertigteile (Tübbinge) als Tunnelschale verwendet werden. Nach bereits erfolgten Labor- und Feldversuchen wurde nun erstmalig beim Eisenbahntunnel Jenbach im Tiroler Unterinntal eine Tunnellänge von 54 m mit Energietübbingen ausgestattet, um den nahe gelegenen Bauhof der Gemeinde Jenbach mit Wärme aus dem Tunnel bzw. Erdreich zu versorgen. [Pralle et al., 2009]

4.4 Energiebrunnen

Bei vielen Bauvorhaben – insbesondere bei Tunnelbauwerken in offener Bauwei-

se – werden Brunnen zur Absenkung des Grundwasserspiegels benötigt. Diese meist temporären Maßnahmen können auch zur Heizung und/oder Kühlung benachbarter Bauwerke genutzt werden, und zwar sowohl temporär als auch permanent. Letzteres erfordert im Allgemeinen keine aufwändige zusätzliche wasserrechtliche Genehmigung, da die Nutzung von einzelnen Brunnen nur zur geothermischen Energiebewirtschaftung keinen Eingriff in den Wasserhaushalt des Untergrundes darstellt.

Eine zu Forschungszwecken umfassend instrumentierte Versuchsanlage wurde in Wien betrieben, bei der sowohl Entnahmehbrunnen (Wärmequelle) als auch Versickerungsbrunnen (Wärmesenke) verwendet worden sind. Zur Erzielung



Abb. 13: Herstellung eines Energiebrunnens

eines geschlossenen Wärmeträgersystems dienten U-förmige Rohre als Erdwärmesonden. Aus einem rund 40 m tiefen Brunnen konnte bei diesem Versuchsprojekt unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen (Bodenaufbau, Grundwasser, Verfüllmaterial etc.) eine Leistung von ca. 2 kW erzielt werden.

5 Direkte thermische Nutzung des Grundwassers

Bei der direkten Nutzung der Grundwasserwärme (offenes System im Ge-

gensatz zum Energiebrunnen) müssen mindestens zwei Brunnen gebohrt werden: ein Förderbrunnen (Quelle) und ein Schluckbrunnen (Senke). Im Heizbetrieb wird über einen oder mehrere Förderbrunnen das Grundwasser entnommen und dem Grundwasser die Wärme entzogen. Das abgekühlte Wasser wird anschließend einem oder mehreren Schluckbrunnen bzw. Versickerungsanlagen und auf diese Weise wieder dem Aquifer zugeführt (Abb. 14).

Im Kühlbetrieb wird dem entnommenen Grundwasser Wärme zugeführt und anschließend das erwärmte Wasser versickert. Für die Auslegung von derartigen Anlagen sind grundsätzlich die Grenzen der Nutzung zu beachten, und zwar ob die erforderliche Wassermenge immer zur Verfügung steht, ob die Thermalfront bzw. der Absenk- und Aufspiegelungstrichter fremde Wasserrechte beeinträchtigt und ob sich Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen gegenseitig beeinflussen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die geothermische Nutzung von Fundierungen, Keller- oder Stützwänden

ermöglicht ein umweltfreundliches, ressourcenschonendes sowie wirtschaftliches Heizen und/oder Kühlen von Bauwerken. Es werden „saubere“ Energie und „sich selbst erneuernde“ Energieträger genutzt, die direkt am Ort der Nutzung dem Untergrund entzogen oder in diesem gespeichert wird. Mit zunehmender Anwendung für Wohn- und Geschäftshäuser, öffentliche Gebäude, Industrieobjekte, Infrastrukturbauwerke etc. sinkt die Abhängigkeit von Energieimporten.

Als besonders geeignet haben sich Pfähle und Schlitzwände erwiesen, wobei praktisch keinerlei Tiefenbegrenzung nach oben oder unten besteht. Bei sachgemäßer Betriebsführung wird das Tragfähigkeits-Verformungsverhalten der Fundamentelemente in keinem geotechnisch oder statisch relevanten Ausmaß beeinflusst.

Die Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauteile ist nicht nur auf Fundierungen und massive Wände bzw. Pfahlwände beschränkt. „Energietunnels“, die Heizung und/oder Kühlung von Verkehrsflächen auf Straßen sowie Brücken und die direkte thermische Nutzung von Grundwasser

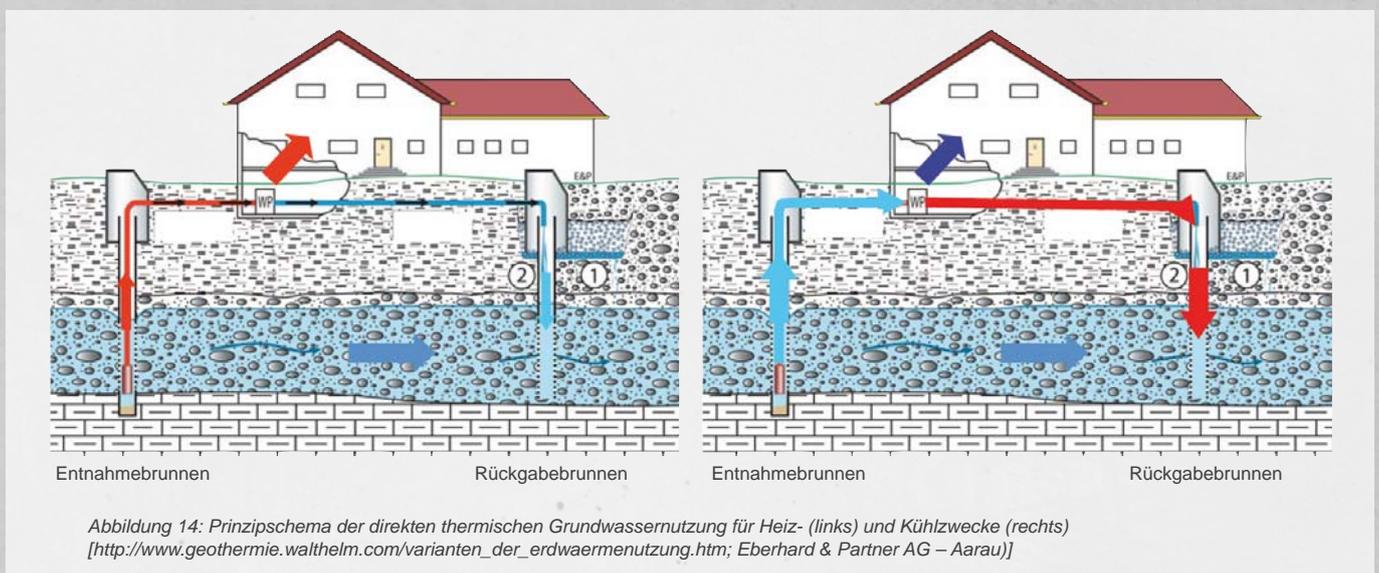


Abbildung 14: Prinzipschema der direkten thermischen Grundwassernutzung für Heiz- (links) und Kühlzwecke (rechts) [http://www.geothermie.walthelm.com/varianten_der_erdwaermenutzung.htm; Eberhard & Partner AG – Aarau]

stellen weitere Anwendungsgebiete mit einer Vielzahl von Vorteilen dar: Umweltfreundlichkeit, Schonung von Ressourcen, Wirtschaftlichkeit, Erhöhung der Betriebssicherheit (z. B. Straßenverkehr im Winter), Erhöhung der Lebensdauer bei gleichzeitiger Reduktion des Erhaltungsaufwandes von Bauwerken (z. B. Straßendecken, Brückentragwerke) etc. Für die Simulation, Dimensionierung und Planung von Erdwärmeabsorbern und Grundwasserbrunnen waren anfänglich noch sehr aufwändige Berechnungen erforderlich. Mittlerweile existieren bereits Softwarelösungen, mit denen bestimmte (vom Softwarehersteller vorgegebene) Fälle rasch simuliert werden können. Bei davon abweichenden Randbedingungen und komplexen Verhältnissen sind allerdings weiterhin vergleichsweise aufwändige Berechnungsmodelle erforderlich. Mit der stetig wachsenden Bedeutung der Nutzung von umweltfreundlicher Energie wird es aber auch in diesem Bereich wertvolle Weiterentwicklungen in naher Zukunft geben.

7 Literatur

Adam, D.; Markiewicz, R.:

Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauteile – Teil 2: Experimentelle Untersuchungen und Computersimulationen. Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ), 2002. 147 (5).

Adam, D.; Markiewicz, R.:

Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauteile – Teil 3: Ausführungsbeispiele und Neuentwicklungen. Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ), 2003. 148 (1).

Brandl, H.:

Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into ground. In 3rd International Geotechnical Seminar, Deep Foundations and Auger Piles, III. University of Gent. 1998. Gent, Belgium, A.A. Balkema, Rotterdam.

Brandl, H.:

Energy piles for heating and cooling of buildings. In Proc. of 7th Int. Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations. 1998. Vienna.

Brandl, H.:

Geothermal utilisation of deep foundations. In Civil and Environmental Engineering Conference, Asian Institute of Technology (AIT). 1999. Bangkok.

Brandl, H.:

Energy foundations and other thermo-active ground structures. Rankine lecture. Géotechnique, 2006. 56 (2): S. 81-122.

Brandl, H.; Markiewicz, R.:

Geothermische Nutzung von Bauwerksfundierungen („Energiefundierungen“). Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ), 2001. 146. Jg. (5-6).

Markiewicz, R.:

Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Nutzung von geothermischer Energie mittels erdberührter Bauteile und Neuentwicklungen für den Tunnelbau. In Dissertation am Institut für Grundbau und Bodenmechanik. 2004, Technische Universität Wien, Wien. S. 333.

Oberhauser, A.:

Verfahrens- und Komponentenentwicklung zur Planung von Tunnelthermie®-Anlagen. In Dissertation am Institut für Eisenbahnen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen. 2006, Technische Universität Wien, Wien. S.176.

Oberhauser, A., et al.:

Der Energieanker – Synergien bei der Nutzung eines statisch konstruktiven Bauteils. Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ), 2006. 151 (4-6): S. 97-102.

Ostermann, N.; Adam, D.; Unterberger, W.:

Erdwärmennutzung im Verkehrstunnelbau. Schriftenreihe der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik, 2003. 53: S. 59-63.

Pralle, N.; Gottschalk, D.; Holub, W.:

Umweltfreundliche Wärmeenergieversorgung des Bauhofs Jenbach. Geothermisches Tunnelkraftwerk Jenbach, 2009.



Wopfinger
Baustoffe

