

# Nachhaltige Nutzung von Erdwärme mittels innovativer Systeme im Ingenieurtiefbau und Tunnelbau



Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Dieter Adam  
dieter.adam@geotechnik-adam.at  
dieter.adam@tuwien.ac.at  
Geotechnik Adam ZT GmbH,  
Brunn am Gebirge  
Wiener Straße 66–72/15/4  
2345 Brunn am Gebirge  
Tel: +43-2236-312244-11;  
Fax: +43-2236-312244-99



Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Roman Markiewicz  
markiewicz@tuwien.ac.at



Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Andreas Oberhauser  
andreas.oberhauser+e232@tuwien.ac.at

Technische Universität Wien  
Institut für Grundbau  
und Bodenmechanik  
Karlsplatz 13  
1040 Wien

Tel:+43-1-58801-22111; Fax: +43-1-58801-22198 (Adam), Tel: +43-2236-312244-22; Fax: +43-2236-312244-pp (Markiewicz),  
Tel: +43-1-58801-23214; Fax: +43-1-58801-23299 (Oberhauser)

Die Nutzung von Erdwärme aus Ingenieurbauwerken und Tunnels bietet die Möglichkeit, die erdberührten Bauteile zur umweltfreundlichen Beheizung und Kühlung im Nahbereich des Bauwerks heranzuziehen. Während zu Beginn das Hauptaugenmerk der Forschung auf die Entwicklung von neuen Absorberelementen und auf die technische Machbarkeit derartiger Anlagen gelegt worden ist, treten in jüngster Zeit energiewirtschaftliche Betrachtungen in den Vordergrund. Dafür wird ein wirkungsvolles Planungstool benötigt, welches ausreichend detaillierte Studien der zukünftigen Anlage unter Berücksichtigung aller Randbedingungen, die den Planungsprozess beeinflussen, ermöglicht. Die Erfahrungen aus drei Pilotanlagen zur Erdwärmenutzung am Lainzer Tunnel (Wien, Österreich) fließen in diesbezügliche Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten ein, die an der Technischen Universität Wien durchgeführt werden.

## 1 Nutzungsmöglichkeiten der Erdwärme

Geläufig ist die Geothermie vor allem durch Nutzung der tiefen Reservoirs sowie die hydrothermale Nutzung. Diese Technologien können sinngemäß auch für Basistunnel mit hoher Überdeckung bzw. sogar zur Erzeugung elektrischer Energie herangezogen werden [1, 2]. Hierfür sind jedoch

große Investitionssummen bereit zu stellen bzw. große Distanzen mittels Rohrleitungen zu überbrücken. In den letzten Jahren wurden daher auch andere Entwicklungen der Wärmegewinnung vorangetrieben, insbesondere die Verwendung unterirdischer Betonbauteile als Niedertemperatur-Absorbersysteme.

Die Erdwärmenutzung mittels erdberührter Betonbauteile und anderer statisch-konstruktiver Elemente für den Tunnelbau bietet ein breites Anwendungsgebiet. Tunnel und unterirdische Stationsbauwerke verfügen über große Oberflächen, welche zum Boden- oder Felskörper in direktem Kontakt stehen und somit ein beträchtliches Volumen erschließen. Mit Hilfe dieser zur Verfügung stehenden (Beton-)Oberflächen kann Erdwärme in den Wintermonaten aus dem Boden extrahiert und überschüssige Oberflächenwärme in den Sommermonaten in den Boden eingespeist werden, womit der Boden als Wärmespeicher dient. Diese Energie steht zum Heizen und Kühlen von Gebäuden zur Verfügung. Die Installation eines solchen Erdwärmesystems an der Verkehrsinfrastruktur erlaubt es dem Infrastrukturbetreiber, ein neues Tätigkeitsfeld zu erschließen – er wird zum Tunnelwärmelieferanten.

Für die Betreibergesellschaft bieten sich mehrere Möglichkeiten, die gewonnene Erdwärme zu nutzen:



*Bild 1: Anwendung der Tunnelthermie® für den bergmännischen Tunnelbau. Absorberelemente in einem U-Bahntunnel (U2/2, Energiebodenplatte) und in einem Eisenbahntunnel (Lainzer Tunnel LT 22-Bierhäuselberg, Energievlies) in Wien (Foto: J. Hofinger, R. Markiewicz).*

- Eigennutzung (Heizung und Kühlung innerhalb der Anlage)
- Nutzung zur Erhöhung der Sicherheit (Eisfreihaltung von Bahnsteigen, Treppen, etc.)
- Drittnutzung (Veräußerung von Heiz-/Kühlenergie)

Besonders innerstädtische Verkehrsbauwerke mit tiefer Einbindung in den Untergrund ermöglichen die Nutzbarmachung eines beachtlichen Wärmereservoirs. Auf Grund der großen Betonoberflächen bei Untertagebauwerken, welche zur thermischen Aktivierung des Untergrundes herangezogen werden, sind beachtliche thermische Leistungen erzielbar. So wurde beispielsweise für die thermische Nutzung der Fundierung des geplanten Bahnhofsgebäudes Stuttgart (Projekt Stuttgart 21) eine Leistung von 671 kW abgeschätzt [3]. Die Aktivierung derartiger Energiereserven ist insbesondere im innerstädtischen Bereich interessant, da sich die Abnehmer in unmittelbarer Nähe zum Absorberbauwerk befinden. Insbesondere U-Bahn-Bauwerke mit zahlreichen Notausstiegen und Entlüftungsschächten zum Ausleiten der Wärme aus dem Untergrund hin zu den Verbrauchern eignen sich besonders gut zur Erdwärmenutzung. So wird die Technologie bei der Wiener U-Bahn-Linie U2 großmaßstäblich zur Klimatisierung (Beheizung und Kühlung) von vier neu errichteten Stationsbauwerken eingesetzt [4, 5, 6]. Diese Erdwärmeanlagen werden mit der Eröffnung der neuen Stationen 2008 in Betrieb gehen.

## 2 Absorberelemente

In Verkehrsinfrastrukturbauwerken können mehrere Typen von Absorberelementen zum Einsatz kommen. Neben den klassischen Absorberelementen wie Energiepfählen, Energieschlitzwänden und Energiebodenplatten, welche bei Tunnels in offener Bauweise zur Anwendung kommen, stehen nun auch Elemente für den bergmännischen Tunnelbau zur Verfügung. An den Instituten für Grundbau und Bodenmechanik sowie Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen der TU Wien wurden bzw. werden zusammen mit Partnern aus der Industrie verschiedene Arten vom Absorbieren entwickelt [7, 8]. Mit der Entwicklung des Energievlieses in Kooperation mit

der Polyfelt GmbH wurde der erste Schritt zur geothermischen Nutzung von Tunnels, die in Neuer Österreichischer Tunnelbauweise errichtet wurden, getan [6]. Die neueste Entwicklung für den bergmännischen Tunnelbau (Bild 1), der Energieanker, wurde in Zusammenarbeit mit der Atlas Copco MAI GmbH entwickelt und befindet sich derzeit in der Testphase [9].

## 3 Pilotversuche im Ingenieurtiefbau und Tunnelbau

### 3.1 Energievlies Testanlage Lainzer Tunnel LT 22-Bierhäuselberg

Die Versuchsanlage „LT22-Bierhäuselberg“ besteht im Wesentlichen aus 8 Energievliesbahnen, wobei 4 Bahnen zum Energieentzug aus dem Erdreich und 4 Bahnen zum Energieeintrag in das Erdreich herangezogen werden (siehe Bild 2 links). Damit kann sowohl die Verwendung des Energievlieses für Heizzwecke als auch für Kühlzwecke untersucht werden. Die Versuchsanlage lässt sich somit in 2 Abschnitte teilen, wobei die Kopplung der beiden Abschnitte durch eine Wärmepumpe erfolgt. Damit sind zwei Blöcke mit Energievliesbahnen ausgerüstet, wobei zwischen Energieentzug und Energieeintrag ein Betonierabschnitt (Block) Abstand gelassen wird, um einen thermischen Kurzschluss zu unterbinden. Für den Anschluss des Energievlieses müssen einzelne Rohrleitungen durch die Innenschale geführt werden. Diese Leitungen (Sammelleitungen) sind an eine im Tunnelinneren situierte Wärmepumpe angeschlossen, womit der Kreislauf zwischen Energieentzug und Energieeintrag geschlossen wird. Dadurch sind bis auf eine Stromzuleitung zur Wärmepumpe keine weiteren Leitungsführungen zur bzw. von der Versuchsanlage erforderlich. Mittels Messinstrumenten wird eine ausführliche Datendokumentation während des Betriebes gewährleistet.

### 3.2 Energieanker Testanlage Lainzer Tunnel LT31 – Klimtgasse

Die Testanlage für den Energieanker wurde in einer Böschung im Baulos LT31 – Klimtgasse des Lainzer Tunnels errichtet. Das Testgelände hierfür wurde von der

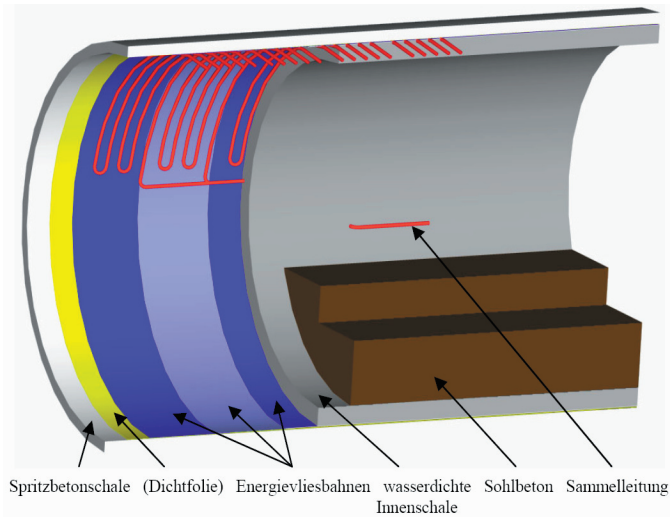


Bild 2: Schema der Energievlies Testanlage im Lainzer Tunnel LT 22-Bierhäuselberg (Quelle: R. Markiewicz) und Foto der Energieanker Testanlage im Lainzer Tunnel LT 31-Klimtgasse.



ÖBB Infrastruktur Bau AG zur Verfügung gestellt. Die insgesamt 21 Anker wurden ähnlich einem „Igel“ aufgefächert eingebohrt, der unterste Anker senkrecht nach unten, die darauf folgenden mit einer Neigung von 60° bzw. 30° abwärts. Der oberste Anker wurde horizontal eingebohrt. Zwischen den Ankerreihen wurden Abstände von 2 m bzw. von 4 m eingehalten, um die gegenseitige Beeinflussung der Anker im Betrieb testen zu können. Zusätzlich wurden 2 Stück 12 m lange Anker in den Boden eingebohrt und zwar in der Mitte beider Ankerfelder mit einer Neigung von 45° abwärts. In beide Bohrungen wurden Temperatursensoren in einer Tiefe von 6 bzw. 12 m versetzt, um die Bodentemperaturen als Referenzwert messen zu können bzw. die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kältefront im Boden erfassen zu können (siehe Bild 3).

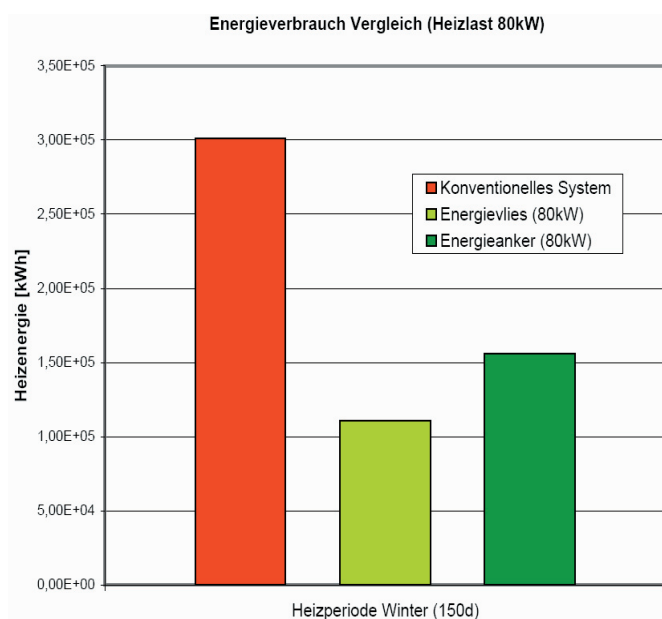


Bild 3: Simulation des Energieverbrauchs verschiedener Erdwärmesysteme für den bergmännischen Tunnelbau im Vergleich.

### 3.3 Vergleich des Energieverbrauchs verschiedener Systeme

An Hand der aus den Testanlagen ermittelten Betriebsdaten kann der Energieverbrauch für die neuen Absorberbauteile miteinander verglichen werden. Es zeigt sich, dass beide Elemente im Betrieb einen günstigeren Energieverbrauch aufweisen als vergleichbare konventionelle Heizsysteme. Das Energievlies erweist sich auf Grund seiner Konfiguration als vom Energieverbrauch her betrachtet günstigeres Element für den bergmännischen Tunnelbau.

## 4 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Erdwärmeanlagen

Im Rahmen der Forschungstätigkeit an der Technischen Universität Wien wurde eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der Erdwärmeanlagen sowohl aus der Sicht des Kunden als auch aus der Sicht des Anlagenbetreibers bzw. des Eigentümers der Erdwärmeanlage durchgeführt. Für den Kunden ist es hierbei wichtig, dass der Erdwärme- bzw. -kälteverkaufspreis nicht höher ist, als der bisherige Preis für eine Kilowattstunde an Wärmeenergie. Der Infrastrukturbetreiber hat mit dem Bau der Anlage eine Zusatzinvestition zu tätigen. Auch diese muss sich durch den Verkauf an Energie oder durch die Einsparung an Energiekosten für das eigene Unternehmen amortisieren.

Die Untersuchungen zeigen, dass ein Wärmeverkaufspreis, der gleich hoch ist wie der Strompreis, ein Optimum für den Betreiber darstellt, da die Amortisationszeiten geringer als 20 Jahre ausfallen. Dies ist dem Kunden gegenüber jedoch nicht vertretbar. Die Wärmeversorgung bzw. Klimatisierung mit geothermischer Energie darf, um attraktiv zu bleiben, nicht teurer sein als konventionelle Systeme. Die hinsichtlich der Energiekosten stärksten Konkurrenten sind Gasheizungen sowie das Fernwärmenetz.

In der Bilanzierung darf jedoch nicht vergessen werden, dass mit konventionellen Heizsystemen wie Heizöl, Erdgas oder Fernwärme lediglich ein Heizbetrieb möglich ist. Für eine Klimatisierung des angeschlossenen

Gebäudes im Sommer muss eine Zusatzinvestition in eine Klimaanlage getätigt werden. Diese zusätzlichen Kosten müssen in die Investitionsentscheidung für die Erdwärme mit einfließen. Bei einem Erdwärmesystem ist ein Beheizen und Kühlen mit derselben Anlage möglich. Zahlreiche Anwendungen aus dem Hochbau zeigen, dass Erdwärme-Technologie zu einem fixen Bestandteil von Neubau-Vorhaben wird bzw. bereits geworden ist. Mit der Nutzung der Erdwärmetechnologie an Eisenbahn-Tunnelbauten wurde der nächste Schritt zum erfolgreichen Einsatz der Geothermie bei Infrastrukturbauwerken getan.

Die Nutzung geothermischer Energie mittels erdberührter Bauteile stellt weiters, wenn man vom Anteil der thermischen Kraftwerke an der Energieproduktion absieht, eine von fossilen Brennstoffen unabhängige Art der Gebäudebeheizung und Kühlung dar. Damit kann ein nicht unerheblicher Beitrag zur Einhaltung der ambitionierten nationalen sowie internationalen Klimabündnisvereinbarungen (Kyoto-Protokoll etc.) geleistet werden.

#### Dank

Die Forschung auf dem Gebiet der Erdwärmennutzung mit Geokunststoffen (Energievlies) und Fels-/Bodenankern (Energieanker) wurde durch Mittel des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie sowie den Firmen Polyfelt (heute: Tencate) und Atlas Copco MAI GmbH ermöglicht, wofür die Autoren an dieser Stelle ihren Dank aussprechen.

#### Literatur

1. *Rybach, L.; Wilhelm, J.*: The geothermal potential of Swiss Alpine tunnels. *Geothermics*, 2003. 32: p. 557–568.
2. *Rybach, L.*: Tunnelwärmennutzung: Grundlagen und Beispiele aus der Schweiz. in 4. Wiener Eisenbahnkolloquium. 2006. Wien, Eurailpress Tetzlaff Verlag.
3. *Adam, D.; Ostermann, N.*: Die Nutzung der Erdwärme bei Verkehrsinfrastrukturprojekten am Beispiel von Stuttgart 21. *Beton & Zement*, 2005(3): p. 12–17.
4. *Brandl, H.*: Energy foundations and other thermo-active ground structures. Rankine lecture. *Géotechnique*, 2006. 56(2): p. 81–122.
5. *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. p. p. 333.
6. *Adam, D.; Markiewicz, R.*: Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauteile – Teil 3: Ausführungsbeispiele und Neuentwicklungen. *Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ)*, 2003. 148(1).
7. *Adam, D.; Markiewicz, R.*: Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauteile – Teil 1: Theoretische Grundlagen. *Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ)*, 2002. 147(4).
8. *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).
9. *Oberhauser, A., et al.*: Der Energieanker – Synergien bei der Nutzung eines statisch konstruktiven Bauteils. *Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift (ÖIAZ)*, 2006. 151(4-6): p. 97–102.