

# Massivabsorbertechnologie zur Erdwärmenutzung bei der Wiener U-Bahnlinie U2

## Concrete absorber technology for earth-coupled concrete structures using geothermal energy for the Vienna Underground line U2

Von Heinz Brandl, Dietmar Adam, Roman Markiewicz, Wien und Wolfgang Unterberger, Hans Hofinger, Salzburg

Mit 11 Abbildungen und 1 Tabelle

(Eingelangt am 3. August 2010)



em. O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing.  
Dr.techn. Dr.h.c.mult.  
Heinz Brandl



Univ.-Prof. Dipl.-Ing.  
Dr.techn. Dietmar Adam



Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Roman Markiewicz



Dipl.-Ing. Dr.techn.  
Wolfgang Unterberger



Dipl.-Ing.  
Hans Hofinger

### Kurzfassung

Die Massivabsorbertechnologie nutzt Erdwärme für die Beheizung bzw. Klimatisierung von Bauwerken. Dabei werden in ohnehin erforderliche Betonbauteile wie Schlitzwände, Bohrpfähle, Bodenplatten oder Tunnel Absorberrohre eingebaut, welche mit einem Wärmeträger durchströmt werden und daher große Flächen thermisch aktivieren können. Bei der Verlängerung der U-Bahnlinie U2 in Wien wurde diese Technologie weltweit erstmals beim U-Bahnbau eingesetzt. Die Planungs- und Ausführungsarbeiten erforderten eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Geotechnikern, Tragwerksplanern, Tiefbauunternehmen, Absorber- und Haustechnikplanern. Seit dem Jahre 2008 läuft der Betrieb der vier Erdwärmeanlagen schließlich, wobei deren Verhalten mittels zahlreicher Messsensoren kontinuierlich beobachtet wird.

### Abstract

The „massive absorber system“ uses geothermal energy for heating and cooling purposes. Absorber pipes are installed in concrete elements that are constructed for structural reasons anyway like diaphragm walls, bored piles, bottom slabs or tunnels.

Therefore, large earth-coupled structures can be activated thermally by a heat carried fluid, which circulates through the installed absorber pipes. In the scope of the extension of the Viennese Underground line U2 this absorber system was installed worldwide the first time in infrastructure buildings. Design and construction required an interdisciplinary teamwork of geotechnical engineers and companies as well as designers for the absorber and HVAC system. In 2008 the operation of the four geothermal energy plants started, comprising also a monitoring system to check and optimize the operation and the characteristics of the system.

### 1. Einleitung

Die Wiener U-Bahnlinie U2 (Abb. 1) wurde im Anschluss an die Station Schottenring im 2. Wiener Gemeindebezirk über die Taborstraße zum Praterstern und weiter über die Ausstellungsstraße und das Stadion zur Donaustadtbrücke verlängert. Im 22. Bezirk wird die U2 von der Donaustadtbrücke über das Donauespital bis zur geplanten Endstelle bei der Aspernstraße geführt. Nach Fertigstellung wird die U2 insgesamt 12,5 km mit insgesamt 12 neuen Stationen aufweisen und damit acht Wiener Bezirke verkehrstechnisch verbinden.



Abb. 1: Streckenverlauf der U-Bahnlinie U2 mit den vier „Erdwärmestationen“ Schottenring, Taborstraße, Praterstern und Messe und den restlichen acht Stationen bis zur Aspernstraße.

Baubeginn für die Strecke vom Schottenring bis zum Stadion war Mitte 2003, wobei dieser Abschnitt planmäßig bis zur Fußball-Europameisterschaft in Wien 2008 fertig gestellt wurde. Baubeginn für die Strecke vom Stadion bis Aspernstraße war Mitte 2005 mit geplanter Eröffnung im Oktober 2010. Eine weitere Ausbaustufe mit geplanter Eröffnung 2013 stellt die Verlängerung um 4 weitere Stationen bis zur Seestadt Aspern dar.

### 2. Machbarkeitsstudie

Im Jahr 2001 wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie nachgewiesen, dass die im Zuge der Verlängerung der Wiener U-Bahnlinie U2 zu errichtenden unterirdischen Stationsbauwerke, Stationstunnel und Streckentunnel ideale Voraussetzungen für eine thermische Nutzung des angrenzenden Erdreiches darstellen. Bei der sogenannten Massivabsorbertechnologie werden konstruktiv ohnehin erforderliche Betonelemente genutzt, um dem anstehenden Boden und Grundwasser Wärme zu entziehen bzw. zuzuführen. Die Studien umfassten neben einer Gegenüberstellung der erzielbaren mit der erforderlichen Energiemenge und der prinzipiellen Leitungsführung in allen vier unterirdischen Stationsbauwerken auch Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die vor allem aufgrund des großen Kühlbedarfs der U-Bahnstationen vergleichsweise geringe Betriebskosten und damit verbunden kurze Amortisationszeiten ergaben.

Das positive Studienergebnis und Umweltaspekte führten schließlich dazu, dass bei allen vier unterirdischen Stationsbauwerken eine Erdwärmeanlage hergestellt wurde. Damit wurde international erstmals eine Erdwärmenutzung mit Massivabsorbertechnologie bei einem Infrastrukturvorhaben in großem Stil umgesetzt.

### 3. Stationen mit Erdwärmenutzung

Die mit Erdwärmeanlagen ausgestatteten Stationen verfügen über einen erheblichen Kühlbedarf, vor allem im Bereich von Schalt-, Trafo- und Motorräumen. Die Kontrollwarten und Aufenthaltsräume der Kontrollorgane sowie die Geschäftszeilen in einigen Stationen müssen beheizt werden. Die vier Erdwärmeanlagen haben gemeinsam eine installierte Heizleistung von 827 kW und eine Kühlleistung von 509 kW. Besonders bei der Kühlleistung erweist sich die Erdwärme als hervorragende Energiequelle, da die Aggregate im Vergleich zur konventionellen Kühlung wesentlich kleiner ausfallen können und die angesaugten Luftmengen geringer sind. Nachfolgend werden die einzelnen Stationen mit Erdwärmenutzung beschrieben:

- *Station U2/1 – Schottenring:* Die neue U2-Station liegt quer unter dem Donaukanal (bis zu 21 Meter tief) und hat zwei getrennte Bahnsteige mit innen liegenden Seitenbahnsteigen. Die bestehende Station Schottenring ist durch die Verlängerung der U2 zu einem mehrgeschossigen Umsteigeknoten geworden. Die Absorberbauteile befinden sich in den beiden Schachtbauwerken, wobei 1450 m<sup>2</sup> der Schachtbodenplatten sowie 1120 m<sup>2</sup> der umschließenden Bohrpfahlwände genutzt werden.
- *Station U2/2 – Taborstraße:* Die Station Taborstraße liegt schräg unter der Kreuzung Taborstraße/Obere Augartenstraße und der Novaragasse. Als Absorberbauwerk wird vorrangig der Schacht Taborstraße herangezogen, wobei 2300 m<sup>2</sup> Schlitzwände, 281 m<sup>2</sup> Bohrpfähle und 1720 m<sup>2</sup> Bodenplatte mit Absorbern ausgestattet sind und auch Teile der Stationsröhre genutzt werden.
- *Station U2/3 – Praterstern:* Die Station liegt östlich der ÖBB-Station in Tieflage und hat einen Mittelbahnsteig, ein Verteilergeschoß und zwei Aufgänge. Die Erdwärmenutzung erfolgt durch Schlitzwände (Schachtwände) mit einer Fläche

von 7400 m<sup>2</sup> sowie die gesamte Bodenplatte mit einer Fläche von 3740 m<sup>2</sup>.

- *Station U2/4 – Messe:* Die Station Messe befindet sich auf der Praterseite unter den Fahrbahnen der Ausstellungsstrasse. Als Absorberbauwerk dient hier lediglich ein Teil der Bodenplatte (2350 m<sup>2</sup>), da der Leistungsbedarf dieser Station vergleichsweise gering ist.

### 4. Planungsphase

#### 4.1 Behördenverfahren

Große Infrastrukturprojekte unterliegen heute fast immer dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz, und es muss daher eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt werden. Da die Energieversorgung eines Bauwerkes Teil der Umweltverträglichkeitserklärung (UVE) ist, muss eine potenzielle Erdwärmenutzung bereits in dieser Phase dargestellt werden. Im Rahmen der ganzheitlichen Betrachtungsweise einer UVP stellt dies jedoch für den Projektwerber einen Vorteil dar, da die Umweltauswirkungen einer Erdwärmeanlage praktisch ausschließlich positiv sind.

Die baurechtlichen bzw. eisenbahnrechtlichen Genehmigungen für die Erdwärmeanlagen konnten ohne große Schwierigkeiten erlangt werden, da bereits umfangreiche Erfahrungen aus den Hochbauanwendungen vorlagen. Im wasserrechtlichen Verfahren bestand die Rechtsunsicherheit, ob Erdwärmeanlagen mit Massivabsorbertechnologie überhaupt wasserrechtlich genehmigungspflichtig wären, da die entsprechenden Bestimmungen im Wasserrecht unklar formuliert sind. In enger Zusammenarbeit mit der Wasserrechtsbehörde wurde daher bei der Wiener U-Bahn eine Mustergenehmigung durchgeführt, die als Präzedenzfall die Genehmigung künftiger Anlagen vereinfachen soll. Die wasserrechtliche Hauptfrage ist die Beeinflussung des Temperaturhaushaltes im Untergrund. Detaillierte numerische Berechnungen haben jedoch ergeben, dass lediglich in einem Abstand von fünf bis zehn Metern vom erdberührten Bauteil eine messbare Beeinflussung der Temperaturen besteht und dass die Auswirkungen der Grundwasserströmung diesen Einfluss noch weiter verringern. Beim gegenständlichen Projekt wurden betreffend der Erdwärmeanlage alle behördlichen Genehmigungen ohne zusätzliche Auflagen erteilt.

#### 4.2 Ausschreibung der Bauleistungen

Die Ausschreibung von Erdwärmeanlagen ist sehr stark dadurch charakterisiert, dass es in diesem Marktsegment nur wenige kompetente Anbieter für derart spezielle Bauleistungen gibt. Die bevorzugte Form der Ausschreibung ist die Überantwortung der Erdwärmearbeiten in den Hauptbauauftrag. Die Erdwärmeanlage wird damit ähnlich ausgeschrieben wie hochspezialisierte Sondertiefbaumaßnahmen, wie Vereisungen und Hebungsinjektionen, für die es auch nur wenige Anbieter gibt.

Ein besonderes Problem in der Ausschreibung ist die Regelung des Ausfallrisikos. Auch bei bester Ausführung der Absorberanlagen sind Ausfälle von Absorberkreisen im Zuge der Herstellung wahrscheinlich. Allerdings liegt es sehr wohl im Kompetenzbereich der ausführenden Firma, derartige Ausfälle durch sorgfältige Arbeit zu minimieren. Erdwärmeanlagen sind relativ unempfindlich gegenüber Ausfällen, bei reduziertem Absorbervolumen sinken bzw. steigen lediglich die Arbeitstemperaturen im Absorbersystem, und folglich nimmt der Wirkungsgrad ab. Zugleich sind genau dadurch die Zusammenhänge sehr komplex, und jeder Mangel am Absorbersystem senkt den Wert der Anlage für den Eigentümer. Für die Ausschreibungen der Wiener U-Bahn wurden daher Ausschreibungsbedingungen entwickelt, welche die Interessen des Auftraggebers optimal schützen, dem Auftragnehmer keine unzumutbaren Belastungen auferlegen

und zugleich mit den Werkvertragsnormen kompatibel sind. Im Wesentlichen wird dabei ein gewisser Ausfall (3% der gesamten Absorberlänge) als systemimmanent akzeptiert, für höhere Ausfälle hat der Auftragnehmer Ersatz zu leisten oder muss eine Entgeltminderung hinnehmen. Er hat aber zu garantieren, dass eine gewisse Grenze (12% Ausfall) nicht überschritten wird.

4.3 Detailplanung

In der Detailplanung erfolgten schließlich genaue Überlegungen, welche Bauteile mit Absorberröhren ausrüstbar sind, wo die Sammler/Verteiler liegen und wie die Leitungsführung am effizientesten erfolgen kann. Auf dieser Basis wurden detaillierte energietechnische Simulationen durchgeführt, in welcher der tatsächliche Heiz- und Kühlbedarf im Jahresgang und die dafür erforderlichen Betriebstemperaturen des Absorbersystems ermittelt wurden (Abb. 2). In diesen Simulationen wurde auch über den Grad an Zumischung anderer Energieträger wie Fernwärme, Gas oder Elektrizität entschieden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die installierten Anlagenleistungen.

der Anschlussstelle möglich gewesen. Aus diesem Grund wurden (stichprobenartigen) Prüfkreise eingebaut, die von der Anschlussstelle beginnend bis an die Geländeoberkante reichen und damit bei den Schlitzwänden bereits frühzeitig der schadlose Einbau der Absorberleitungen sichergestellt werden konnte. Auch die Schweißarbeiten an den Bewehrungskörpern für die Herstellung der elektrischen Durchverbindung zwischen den Korbteilen konnten mit Hilfe von Schweißschutzmatten ohne Gefährdung der Kunststoffabsorberrohre durchgeführt werden. Druckproben wurden generell vor dem Korbeinbau, bei der Korbabnahme und nach dem Betoniervorgang durchgeführt. Nach Fertigstellung der Umschließungswände erfolgte der Aushub unter dem Deckel (Deckelbauweise), wobei permanente bzw. auch temporäre Aussteifungshorizonte eingebaut wurden. Am Endaushubniveau wurde schließlich eine Sauberkeitsschicht eingebracht und die Anschlussstellen der vertikalen Absorberkreise in den Umschließungswänden freigelegt (Abb. 4). Zu diesem Zeitpunkt wurde eine erneute Druckprobe aller eingebauten Absorberkreise durchgeführt.

Abb. 2: Exemplarisches Beispiel für das Ergebnis der Simulationsberechnung der Absorberanlage bei der Station U2/2-Taborstrasse (Berechnung für 1865 m<sup>2</sup> belegte Schlitzwandfläche und 1640 m<sup>2</sup> belegte Bodenplatte).

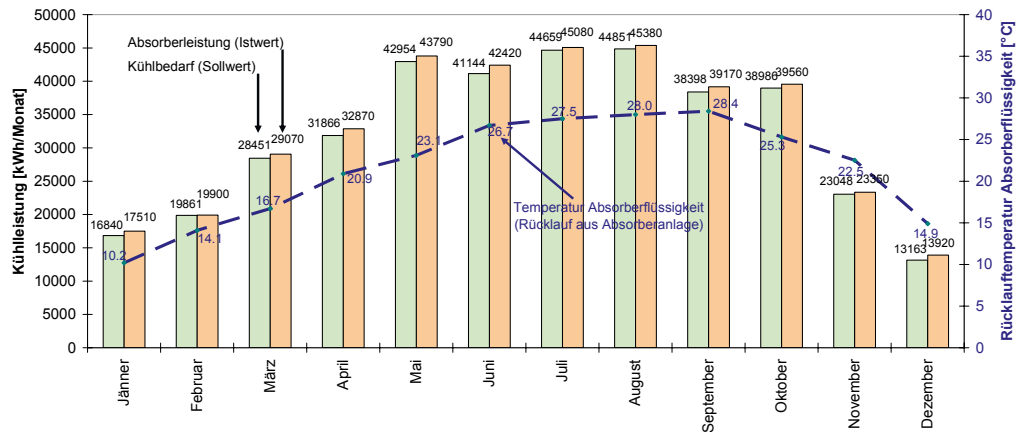


Tabelle 1: Installierte Leistung und Energie (inkl. Stromanteil der Wärmepumpe).

Station	U2/1 – Schottenring	U2/2 – Taborstraße	U2/3 – Praterstern	U2/4 – Messe
Heizleistung	105 kW	185 kW	455 kW	82 kW
Jahresheizenergie	170 MWh/a	175MWh/a	411 MWh/a	110 MWh/a
Kühlleistung	65 kW	114 kW	280 kW	50 kW
Jahreskühlenergie	143 MWh/a	525 MWh/a	769 MWh/a	324 MWh/a

Die Anordnung der Absorberrohre an den Bewehrungen der konstruktiven Bauteile (Pfähle, Schlitzwände) erforderte intensive Diskussionen, da bestehende Regelwerke über die Bewertung von Absorberröhren in tragenden Bauteilen keine Aussagen enthalten. Besondere Fragestellungen, wie zum Beispiel der Einfluss der Bodenvereisung auf die mechanische Beständigkeit der Kunststoffrohre bei der U2/1 unter dem Donaukanal waren ebenfalls zu untersuchen.

5. Bauphase

Die Herstellung der Umschließungswände für die einzelnen Stationsbauwerke und damit auch der Energiepfähle und Energieschlitzwände (Abb. 3) wurde von der Geländeoberkante aus durchgeführt. Durch die großen Tiefen der Elemente mussten die Bewehrungskörbe zwei- bis dreimal gestoßen werden. Dies erforderte auch den Stoß der Absorberleitungen. Da die Anschlussstellen für die Absorberkreise generell unterhalb der Bodenplatten der Schächte zu liegen kamen, wäre eine Druckkontrolle der eingebauten Kreise erst wieder nach Freilegen

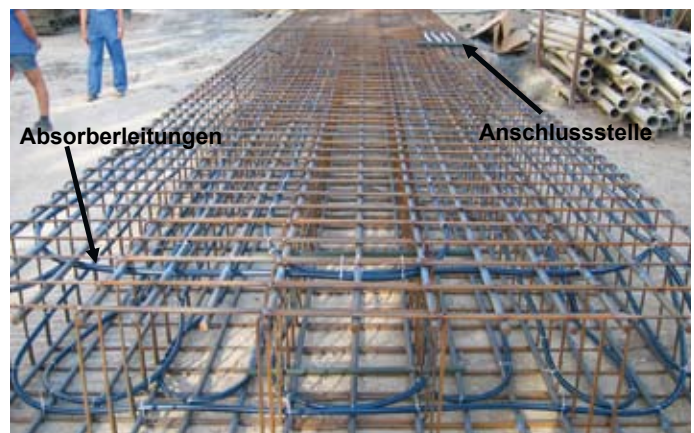


Abb. 3: Mit Absorberleitungen belegter Schlitzwandkorb für den Einbau bei der Station der U2/3. Die mittlere Korbkammer blieb weitgehend unbelegt, um Beschädigungen während des Betoniervorganges zu verhindern. Am oberen Bildrand ist die Anschlussstelle (Niveau Bodenplatte) zu erkennen.



Abb. 4: Absorberleitungen auf der Sauberkeitsschicht unterhalb der Bodenplatte bei der Station U2/3. Rechts sind die Anschlussstellen für die Einbindung der Schlitzwandelemente zu erkennen.

Ausgehend von den Anschlussstellen der Energiefundierungen wurden die Absorberleitungen bis zu den Bodenplattendurchführungen verlegt, damit auch die Bodenplatte als thermischer Bauteil aktiviert wird. Die Durchführung zahlreicher Leitungen durch die bis zu 2 m starke Bodenplatten stellte ein besonderes Detail dar. Neben dem langzeitigen Schutz gegenüber



Abb. 5: Druckwasserdichte Durchführung der Absorberleitungen durch die herzustellende rund 2 m starke Bodenplatte. Die gelben Schaumkörper sind in 2 Horizonten angeordnet und dienen als Platzhalter für das Ausinjizieren nach Fertigstellung der Bodenplatte.

Beschädigungen während der Bauphase mussten diese insbesondere druckwasserdicht ausgeführt werden, da die Grundwasserdruckhöhen ca. 20 m betragen. Dafür wurde das System Rascor® ausgewählt, bei dem alle Absorberleitungen sowie alle aufgehenden Stützprofile des Durchführungskastens durch einen Schaumkörper geföhrt werden, der wiederum mit Injektionsleitungen an der Bodenplattenoberkante verbunden wird (Abb. 5). Dieser Schaumkörper wird in die Bodenplatte einbetoniert und nach deren Aushärtung mit einem dauerelastischen Harz verpresst. Dabei wurde ein Druck von etwa 3 bar nicht überschritten, um Beschädigung an den Absorberleitungen zu vermeiden.

Bei der Station U2/2 Taborstraße fungieren zusätzlich zu den Umschließungswänden und der Bodenplatte des Schachtes Taborstraße auch die Stationsröhren (Abb. 6) als Absorberbauteile. Dafür wurden bereits in der Bodenplatte die notwendigen Anbindeleitungen verlegt und bis zur Durchschlagstelle der Stationsröhre an der Schlitzwand geführt. Nach Fertigstellung der Außenschale der Stationsröhre wurden die Sohlbereiche mit Absorberleitungen belegt und an die vorbereiteten Anbindeleitungen angeschlossen.

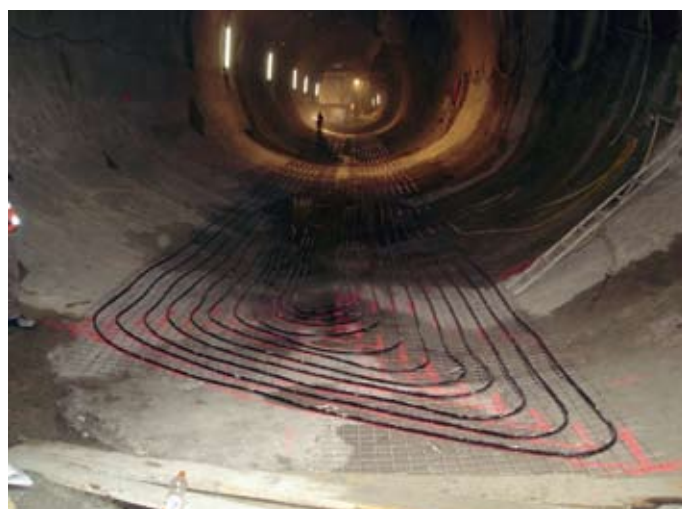


Abb. 6: Verlegung von Absorberleitungen in Teilen der Tunnelröhren.

Durch eine detaillierte Planung sowie eine exzellente Bauausführung und Bauüberwachung des Absorbersystems konnte letztendlich eine vergleichsweise äußerst niedrige Ausfallrate erreicht werden. Von den bei allen vier Stationen insgesamt rund 103 km verlegten Absorberrohren, die zu insgesamt 430 Absorberkreisen zusammengefasst sind, kam es nur bei 4 Kreisen zu einem Ausfall, d.i. weniger als 1%.

### 6. Messtechnik

Zur Überwachung der Erdwärmanlage wurden bei sämtlichen Erdwärmanlagen an ausgewählten Positionen (Schlitzwände, Stationsröhren, unterhalb der Bodenplatten) Temperatursensoren vorgesehen. Des Weiteren wurde beim Stationsbauwerk U2/2 ein Schlitzwandelement mit zahlreichen Messinstrumenten bestückt (Abb. 7 und Abb. 8), die zur Untersuchung des Einflusses des Erdwärmebetriebes auf die Tragfähigkeit der Fundierungen herangezogen werden sollen. Um sowohl das Verformungsverhalten der Schlitzwand als auch die durch den Erdwärmebetrieb bedingte Temperaturbeanspruchung zu erfassen, wurden folgende Geräte installiert:

- 21 Aufnehmer zur Messung der Dehnungen bzw. Stauchungen und der Temperatur an Luft- und Erdreichseite der

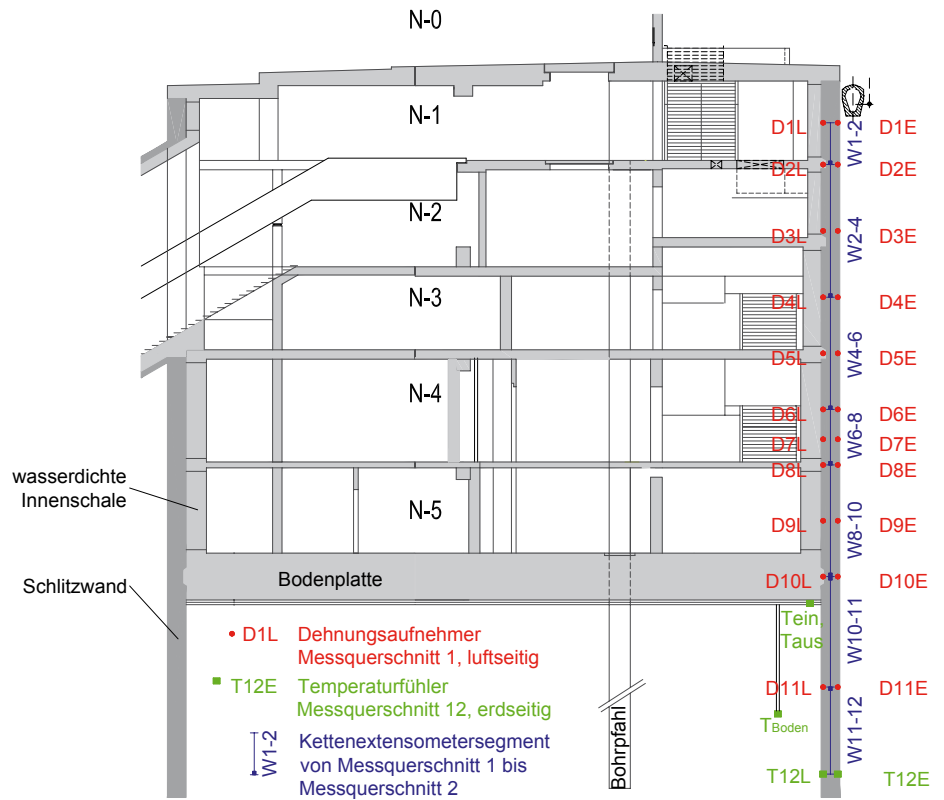


Abb. 7: „U2/2-Taborstrasse“ – Schachtbauwerk T – Querschnitt im Bereich der Messschlitzwand (Niveau „N-0“ entspricht der Geländeoberkante). Jeweils beim Auflager der Geschosdecken und in Feldmitte wurden Dehnungsaufnehmer an der Luft- und Erdreichseite platziert. Zusätzlich wurde ein Kettenextensometer, bestehend aus 7 Segmenten, und Temperatursensoren eingebaut.

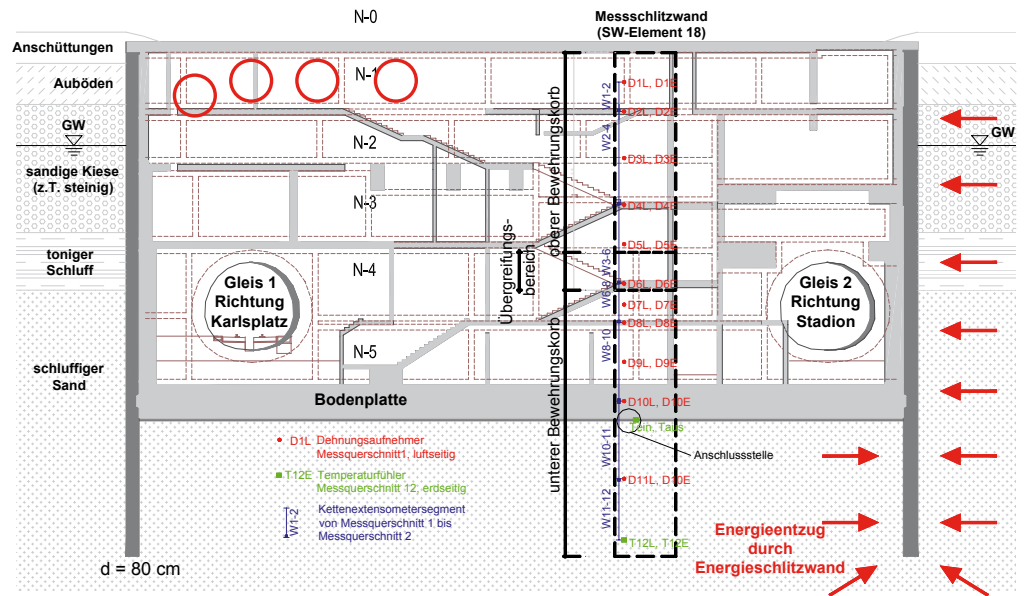


Abb. 8: „U2/2-Taborstrasse“ – Schachtbauwerk T – Abwicklung der südlichen Längswand. Zu sehen ist die Lage der Messschlitzwand mit den eingebauten Messgeräten. Zusätzlich sind die geologischen Verhältnisse und der Energieentzug durch die Energieschlitzwand schematisch dargestellt.

Schlitzwand im Bereich aller Stützstellen (Geschoßdecken und Bodenplatte) und jeweils in Feldmitte;

- 1 Kettenextensometer, bestehend aus 7 Segmenten zur Messung der Längsverschiebungen zwischen den einzelnen Stützstellen und unterhalb der Bodenplatte bis zum Schlitzwandfuß, situiert an der Stirnseite der Wand;
- 2 Temperaturfühler zur Messung der Temperatur an Luft- und Erdreichseite der Schlitzwand im Bereich des Schlitzwandfußpunktes;
- 4 Temperaturfühler zur Messung von Vor- und Rücklauftemperatur der Absorberflüssigkeit im Bereich der Anschlussstelle.

Die Geräte und die dazu erforderlichen Messkabel (insgesamt wurden in der Schlitzwand etwa 420 m Kabel verlegt) wurden in einer Eckkammer des dreiteiligen Schlitzwandbewehrungskorbes (Abb. 9) situiert, wodurch Beschädigungen im Zuge des Betoniervorganges (Betonierrohr in der mittleren Kammer) vermieden werden konnten. Die Messkabel wie auch die Absorberrohre wurden zunächst bis zur Anschlussstelle im Bereich der Bodenplatte geführt und nach Freilegen der Anschlussstelle bis zum Standort des Datenloggers verlängert.

### 7. Betriebsphase

Abbildung 10 zeigt den Verlauf der Temperaturen in der Messschlitzwand der Station U2/2 im Verlauf eines Betriebsjahres

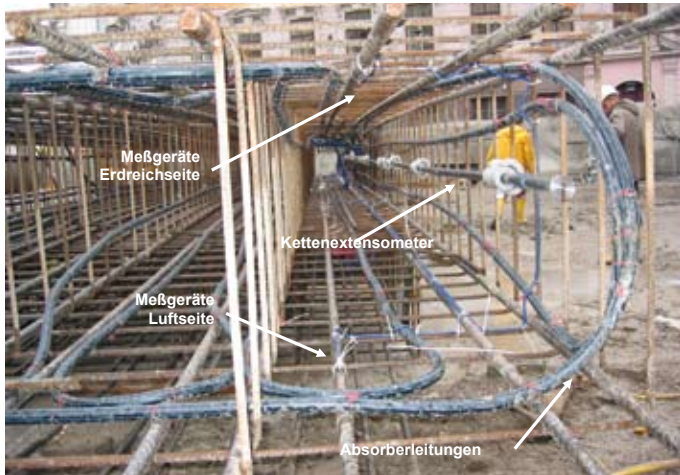


Abb. 9: Blick in den Bewehrungskorb der Messschlitzwand im Bereich der Endtiefe. Sämtliche Messgeräte wurden in einer Eckkammer des Bewehrungskorbes situiert um Beschädigungen durch das Absenken des Betonierrohres auszuschließen.

von Mai 2009 bis Mai 2010 anhand der Temperatursensoren der Dehnungsaufnehmern auf der Erd- und Luftseite der Schlitzwand. Die Messungen an der Luftseite in den Querschnitten 11 und 12 (unterhalb der Bodenplatte) zeigen deutlich, dass mit dem Erdwärmebetrieb in diesem Schlitzwandelement im Juni 2009 begonnen worden ist (abrupter Temperaturanstieg). Diesbezüglich ist festzuhalten, dass es bei der gesamten Station U2/2 zu einem Ausfall von lediglich 3 Absorberkreisen kam, wobei allerdings einer davon in der Messschlitzwand situiert ist. In der Messschlitzwand wurden insgesamt 2 Absorberkreise eingebaut. Die Absorberrohre des beschädigten ersten Absorberkreises sind primär auf der Erdseite des unteren Bewehrungskorbes situiert (QS 9 bis 12 Erdseite); die Absorberrohre des unbeschädigten zweiten Kreises verlaufen auf der Erdseite des oberen Bewehrungskorbes und auf der Luftseite des unteren Bewehrungskorbes. Dies ist bei der Interpretation der Messergebnisse zu berücksichtigen.

Insgesamt bewegen sich die gemessenen Temperaturen je nach Höhenlage in einer Bandbreite von 8 bis 20,5°C im Jahresverlauf. In Abb. 11 sind die gemessenen Temperaturen für die Luftseite (blau) und die Erdreichseite (braun) getrennt voneinander

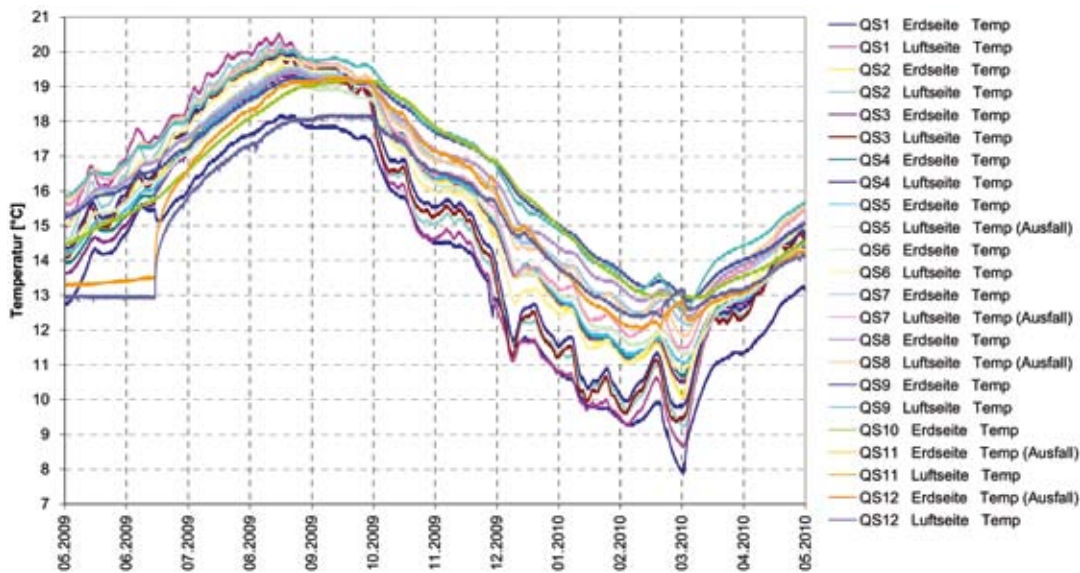


Abb. 10: Temperaturen in der Messschlitzwand bei der Station U2/2.

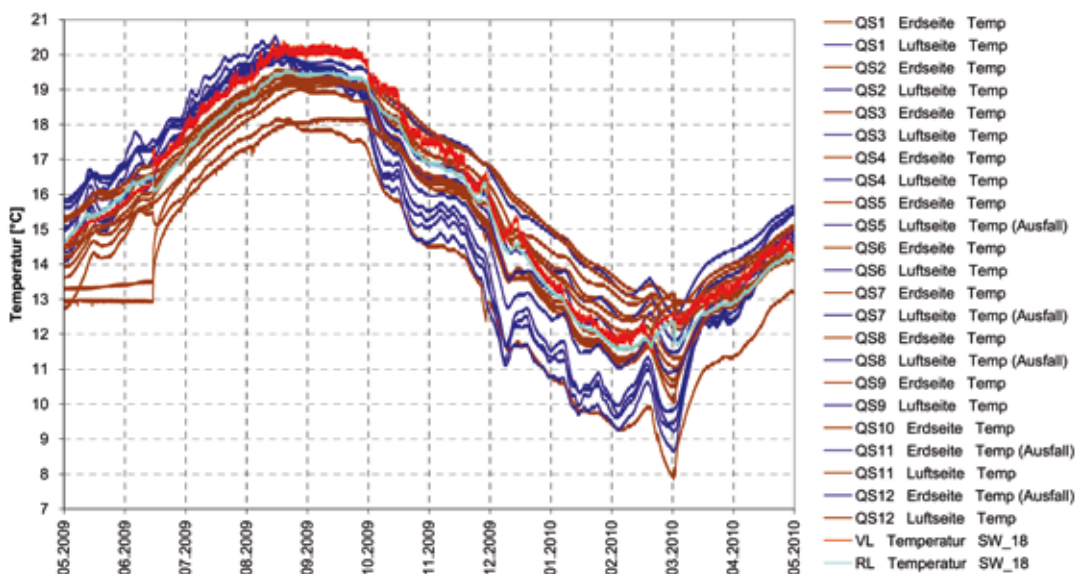


Abb. 11: Temperaturen in der Messschlitzwand bei der Station U2/2, getrennt nach Situierung auf Luftseite (blau) und Erdseite (braun). Zusätzlich sind die Temperaturen der Absorberflüssigkeit (rot und cyan) eingetragen.

dargestellt, wobei zu erkennen ist, dass auf der Luftseite die Temperaturen in den Sommermonaten in einer deutlich engeren Bandbreite verlaufen als in den Wintermonaten, was vermutlich auf unterschiedliche Temperaturen angrenzender Räume zurückzuführen ist. Auf der Erdreichseite verlaufen demgegenüber die Temperaturen das ganze Jahr über in einer ähnlichen Bandbreite.

In Abb. 11 sind zusätzlich auch die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der Absorberflüssigkeit dargestellt. Diese werden unmittelbar vor Eintritt der Absorberflüssigkeit in das Schlitzwandelement gemessen. Die Vorlauftemperatur ist das ganze Jahr über wärmer als die Rücklauftemperatur, womit Wärmeenergie an das Erdreich abgegeben wird und damit ein Kühleffekt erzielt wird. Dies stimmt mit den Auslegungsparametern dieser Station überein, die gezeigt haben, dass ganzjährig Kühlbedarf besteht. Die Temperaturspreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf beträgt ca. 1°C im Sommer und reduziert sich im Winter aufgrund des geringeren Kühlbedarfs auf ca. 0,5°C.

Parallel zu diesen Temperaturmessungen werden auch die Verformungen (Dehnungsaufnehmer und Kettenextensometer) der Schlitzwand gemessen. Damit soll untersucht werden, ob es durch den Erdwärmebetrieb zu Einflüssen auf das Tragverhalten der Schlitzwand kommt. Die Auswertung dieser Messdaten erfordert allerdings noch eine längere Beobachtungszeit, um die Einflüsse unterschiedlicher Effekte (Heizbetrieb, Kühlbetrieb, betriebsbedingte Innentemperaturen, Außentemperatur etc.) berücksichtigen zu können.

## 8. Ausblick

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 ersichtlich, wo verschiedene Räumlichkeiten sowohl beheizt als auch gekühlt werden müssen. Ein weiteres wichtiges Feld der Eigennutzung stellt die Eisfreihaltung dar, besonders bei diversen Stiegenzugängen oder Einfahrten zu Wartungs- und Sicherungsanlagen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Veräußerung von Erdwärme an Drittnutzer. Dies ist vor allem bei innerstädtischen Tunnelbauwerken (U-Bahnen) interessant, wo die Tunnel meist nah an der Oberfläche liegen und die Abstände zu den Nutzern gering sind. Ideal sind hier große, neu zu errichtende Objekte mit gemischter Wohn- und Gewerbenutzung und einem möglichst hohen Kühlbedarf.

Die Nutzung von Verkehrstunnelbauwerken zur Gewinnung von Erdwärme bietet allen Beteiligten Vorteile. Volkswirtschaftlich wird eine umweltfreundliche, erneuerbare Energiequelle erschlossen, die importunabhängig ist und einen Beitrag zum Klimaschutz und der Erfüllung der internationalen Verpflichtungen darstellt. Der Nutzer der Erdwärme erhält einen leitungsgebundenen, umweltfreundlichen Energieträger mit allen Vorteilen derartiger Systeme. Schon heute stellt die Erdwärme eine der wenigen alternativen Energieformen dar, die ohne Förderungsmaßnahmen mit konventionellen Energieträgern konkurrieren kann. Die absehbaren Trends in der Energiepreisentwicklung werden die Konkurrenzfähigkeit der Erdwärme weiter steigern. Für den Eigentümer des Tunnels bietet die Erdwärme die Möglichkeit, zusätzliche Einnahmequellen aus dem Bauwerk zu erschließen und Betriebskosten zu senken. Weiters bedeutet der Einsatz von Erdwärme einen Imagegewinn auf Grund des umweltfreundlichen und innovativen Charakters solcher Anlagen.

In diesem Sinne ist seitens der Wiener Linien GmbH & Co KG vorgesehen, auch bei den neu zu errichtenden U-Bahnstationen (Verlängerung der U-Bahnlinie U1-Süd) künftig auf Erdwärme zu setzen.

## 9. Literatur

- [1] Adam, D., Markiewicz, R. (2002): Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauwerke – Teil 1: Theoretische Grundlagen. ÖIAZ, 147. Jg., Heft 4/2002; Teil 2: Experimentelle Untersuchungen und Computersimulationen. ÖIAZ, 147. Jg., Heft 5/2002; Teil 3: Ausführungsbeispiele und Neuentwicklungen. ÖIAZ, 148. Jg., Heft 1/2003, Wien.
- [1] Adam, D., Unterberger, W., Hofinger, J., Markiewicz, R. (2004): Die Verwendung von Tiefgründungselementen als Erdwärmeabsorber bei der Verlängerung der Wiener U-Bahnlinie U2 (in coop. with.). Beiträge zum 19. Christian Veder Kolloquium. Heft 21. Herausgegeben von der Gruppe Geotechnik Graz.
- [1] Adam, D., Unterberger, W., Hofinger, J., Markiewicz, R. (2005): Running hot and cold in Vienna. Tunnels & Tunnelling International.
- [1] Adam, D., Markiewicz, R. (2009): Energy from earth-coupled structures, foundations, tunnels and sewers. Géotechnique 59, No. 3, 229–236.
- [1] Brandl, H. (1998): Energy piles for heating and cooling of buildings. Proc. of 7<sup>th</sup> Int. Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations. Vienna. Deep Foundation Institute (DFI), Hawthorne, New Jersey, USA, pp. 3.4.1 – 3.4.6.
- [1] Brandl, H. (1998): Energy piles and diaphragm walls for heat transfer from and into the ground. Proc. of 3<sup>rd</sup> Int. Geotechnical Seminal on Deep Foundations on Bored and Auger Piles (BAP III). Ghent, pp. 37–60. A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield.
- [1] Brandl, H., Markiewicz, R. (2001): Geothermische Nutzung von Bauwerksfundierungen („Energiefundierungen“). ÖIAZ, Vol. 146, No. 5–6, Wien.
- [1] Brandl, H. (2006): Energy foundations and other thermo-active ground structures (Rankine Lecture). Géotechnique 56, No. 2, 79–122.
- [1] Markiewicz, R. (2004). Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Nutzung von geothermischer Energie mittels erdberührter Bauteile und Neuentwicklungen für den Tunnelbau. Dissertation. Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Wien.
- [1] Pöttinger, M. (2003): Die weltweit erste Anwendung der Erdwärmenutzung im U-Bahnbau. Heft 54/Oktober 2003. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik. Wien.
- [1] Unterberger, W., Adam, D., Hofinger, J. (2002): Erdwärmenutzung im Verkehrstunnelbau. Zement+Beton 4/02. Zement+Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., Wien.

em. O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing.  
Dr.techn. Dr.h.c.mult. Heinz Brandl  
e-mail: heinz.brandl@tuwien.ac.at  
Technische Universität Wien  
Institut für Geotechnik / Grundbau, Boden- und Felsmechanik  
Karlsplatz 13, 1040 Wien

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dietmar Adam  
e-mail: dietmar.adam@tuwien.ac.at  
Technische Universität Wien  
Institut für Geotechnik / Grundbau, Boden- und Felsmechanik  
Karlsplatz 13, 1040 Wien  
Geotechnik Adam ZT GmbH  
Wiener Straße 66-72/15/4  
2345 Brunn am Gebirge

Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Markiewicz  
e-mail: markiewicz@geotechnik-adam.at  
Geotechnik Adam ZT GmbH  
Wiener Straße 66-72/15/4  
2345 Brunn am Gebirge

Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Unterberger  
e-mail: W.Unterberger@ic-group.org  
iC Consulente ZT GmbH  
Niederlassung Salzburg  
Zollhausweg 1, 5101 Bergheim

Dipl.-Ing. Hans Hofinger  
e-mail: J.Hofinger@ic-group.org  
iC Consulente ZT GmbH  
Niederlassung Salzburg  
Zollhausweg 1, 5101 Bergheim