

Innovative Systeme der Erdwärmenutzung – regenerative Energie aus dem Untergrund

Univ.-Doz. DI Dr. techn. Dietmar ADAM
Geotechnik Adam ZT GmbH, Brunn am Gebirge

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 Temperaturniveaus, die auch eine aktive Beheizung oder Kühlung von Gebäuden erlauben. Seit Anfang der 90er-Jahre wurden Technologien entwickelt, die es erlauben, Absorbersysteme in die Fundamente von Gebäuden 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“). Hiefür kommen primär Tieffundierungen (Pfähle, Schlitzwände), aber auch Flachfundierungen und sogar Keller- bzw. Stützwände infrage. Die Absorberleitungen werden unmittelbar in die Fundierungselemente verlegt, zusätzliche Einbauten im Erdreich sind nicht erforderlich. Sonderanwendungen sind „Energietunnel“, Heizungen von Straßendecken, „Energie-Brunnen“ etc. Es werden Systeme mit und ohne Wärmepumpen verwendet. Das Verfahren der geothermischen Energiebewirtschaftung ermöglicht eine umweltfreundliche, Ressourcen schonende 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 von Fundierungen

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 $\frac{1}{4}$ elektrische Energie erforderlich; der Hauptanteil von $\frac{3}{4}$ der erforderlichen Gesamtenergie stammt aus der Umweltwärme.

Bei einem geothermischen Kühlsystem wird dem Gebäude Wärme entweder über eine Luftkühlung oder über ein auf Wasser basierendes 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 besteht darin, Betonelemente mit Kunststoff- bzw. Kupferrohren zu bestücken und mit einem geeigneten Medium (im Allgemeinen Wasser bzw. Mischungen aus Wasser und Frostschutzmittel [Glykol]) Erdwärme umzuwälzen und diese einer späteren Nutzung (Heizung, Kühlung) zuzuführen. Die hohe Wärmeleit- und Speicherfähigkeit von Beton machen 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 auch Flachfundierungen. Tieffundierungen (Pfähle, Schlitzwände) eignen sich 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



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

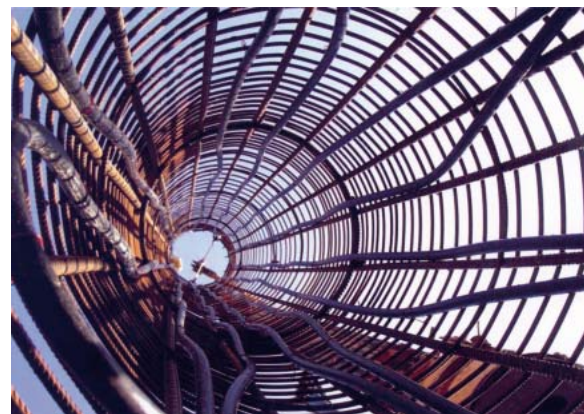


Abb. 2: HDPE-Absorberleitungen eines „Energiepfahles“, montiert am Bewehrungskorb eines Bohrpfahles



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

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 aus PE, HDPE oder Kupfer. 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 bzw. in Ausführung befindlichen Projekten mit Energiefundierungen sind:

- das Rehabilitationszentrum Bad Schallerbach
- die Messe- und Eishalle Dornbirn
- das Kunsthaus Bregenz
- das Keble College Oxford
- das EA GeneraliCenter Wien
- das Columbuscenter Wien
- der Uniqa Tower Wien
- die Strabag-Zentrale Wien

4 Neuentwicklungen

Die geothermische Heizung und/oder Kühlung von Wohnhäusern, Büro- und Geschäftsgebäuden, Industriebauwerken oder Sportstätten (z. B. Eislaufhallen) etc. wird in Österreich seit etwa 10 Jahren immer häufiger angewendet. Hinzu kommen verschiedenste weitere Einsatzmöglichkeiten der geothermischen Energienutzung.

4.1 „Energietunnel“

Die Nutzung von Erdwärme mittels Tunnelbauwerke bietet gegenüber den traditionellen Anwendungen folgende Vorteile:

- Tunnelbauwerke liegen von Natur her 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 Erdwärmennutzung 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 Einfahrtbereichen 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 Tunnel meist nah an der Oberfläche liegen und die Abstände zu den Nutzern gering sind. Ideal sind hier große, neu errichtete Objekte mit gemischter Wohn- und Gewerbenutzung und einem möglichst hohen Kühlbedarf.

Beim Einbau von Massivabsorbern in Tunnels ist zunächst zwischen offenem und bergmännischem Tunnelbau zu unterscheiden. Bei der Anwendung der offenen Bauweise steht das bereits aus dem Hochbau bekannte Arsenal an Methoden zur Verfügung: Einbau von Absorbern in Bohrpfählen, Schlitzwänden und unter den Bodenplatten, zum Beispiel nach dem bewährten „Enercret“-System der Firma Nägelebau. Im bergmännischen Tunnelbau kann mit bestehenden Methoden lediglich der Sohlbereich von Tunnelröhren mit Absorberleitungen ausgestattet werden. Um auch die Tunnelschalen nutzen zu können, wurde von der TU Wien in Zusammenarbeit mit der Firma Polyfelt das so genannte „Energievlies“ entwickelt und im Rahmen einer Versuchsanlage im Lainzer Tunnel Bauabschnitt „LT22-Bierhäuselberg“ (Abb. 7) getestet. Weiterführende Forschungsaktivitäten beschäftigen sich derzeit mit der Nutzung von Erdwärme über Anker.

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

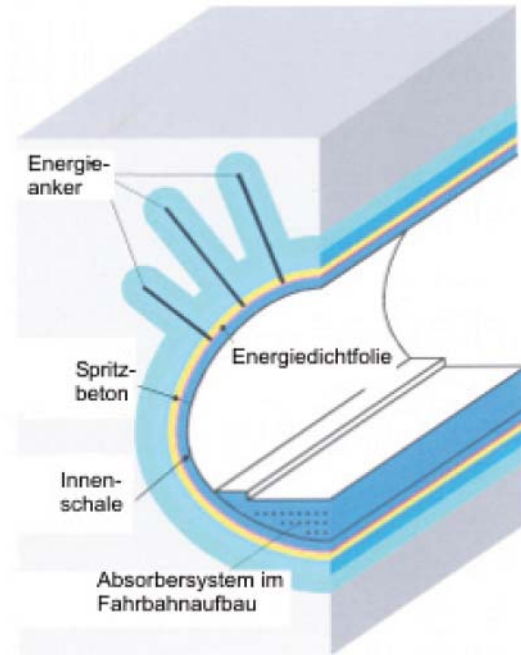
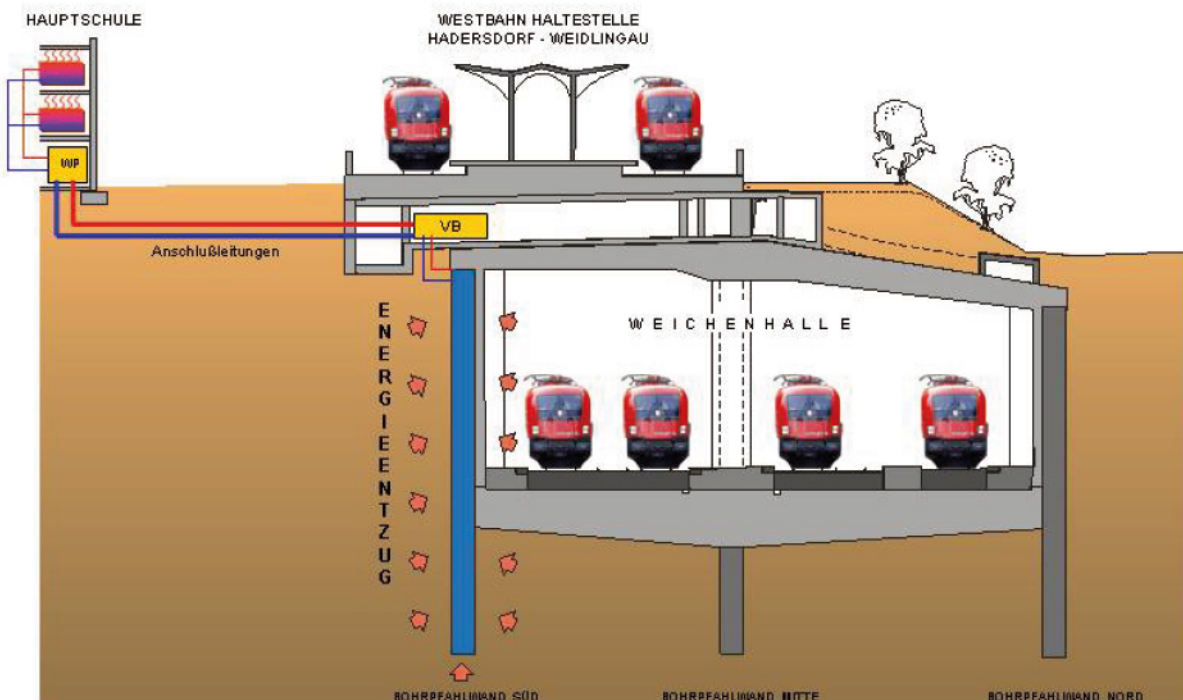


Abbildung 4: „Energietunnel“ mit bergmännischem Vortrieb. Situierung der verschiedenen Absorberelemente – schematisch

Abbildung 5: Querschnitt der geothermischen Versuchsanlage in Hadersdorf-Weidlingau



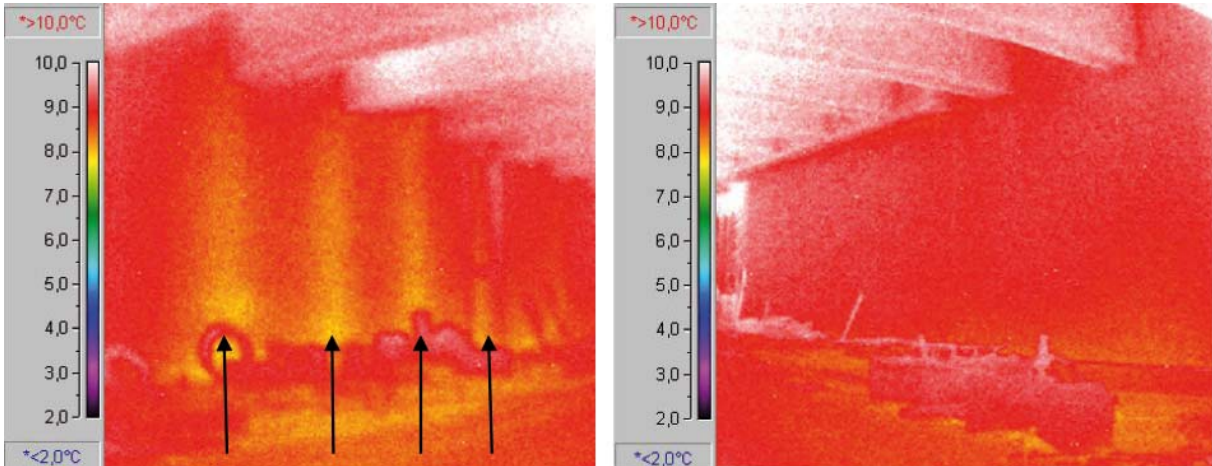


Abb. 6: Wärmebild des mit Energiepfählen ausgerüsteten Tunnelabschnittes beim Lainzer Tunnel Baulos „LT24 – Hadersdorf-Weidlingau“. Links ist die lokale Abkühlung (Pfeile) der Tunnelschale durch die Energiepfähle deutlich zu erkennen. Rechts ist im Vergleich dazu die gegenüberliegende Tunnelwand zu sehen, bei der kein Erdwärmeeintzug stattfindet.

genen 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 Verlängerung der U-Bahn-Linie U2 die vier unterirdischen Stationen „Schottenring“, „Taborstraße“, „Praterstern“ und „Messe“ mit einer Erdwärmeanlage zur Deckung des Heiz-

und Kühlbedarfs der Stationen auszurüsten. In Abhängigkeit der Fundierungselemente werden Energiepfähle, Energieschlitzwände oder Energiebodenplatten (Abb. 8) 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 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 Erdwärmean-



Abb. 7: Versuchsanlage mit Energievlies beim Baulos „LT22-Bierhäuselberg“



Abb. 8: Herstellung einer Energiebodenplatte beim Baulos „U2/3-Praterstern“

lagen auf das Tragverhalten der Fundierungen und andererseits der Temperaturhaushalt des Untergrundes untersucht werden.

4.2 „Energiebrunnen“

Bei vielen Bauvorhaben 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 wird derzeit in Wien betrieben, bei der sowohl Entnahmebrunnen (Wärmequelle) als auch Versickerungsbrunnen (Wärmesenke) verwendet werden. Zur Erzielung eines geschlossenen Wärmeträgersystems dienen U-förmige Rohre als Erdwärmesonden.

4.3 Heizung/Kühlung von Straßenkonstruktionen

Die Nutzung der Geothermik im Straßenwesen betrifft vor allem die Heizung von Verkehrsflächen in den Wintermonaten, und zwar mit folgenden Zielen:

- eisfreie Fahrbahn, somit erhöhte Verkehrssicherheit
- Reduktion des Winterdienstes
- erhöhter Umweltschutz, da Salzung und Splittstreuung entfallen
- Erhöhung der Lebensdauer der Fahrbahn
- Verbesserung des Fahrkomforts (keine Montage von Schneeketten)
- Minimierung von Frost-Tau-Schäden, besonders bei frostgefährdetem Untergrund
- Kosteneinsparungen sowohl aus betriebswirtschaftlicher Sicht für die Straßenverwaltung als auch aus übergeordneter volkswirtschaftlicher Sicht

Auch in Galerien gegen Lawinen, Steinschlag oder Muren und in kurzen Tunnels bietet die

Fahrbahnheizung Vorteile im Winter erfährt der kalte Fahrbahnbelag einen besonders intensiven Abrieb durch den Autoverkehr. Autoreifen mit Spikes und/oder Ketten verstärken diesen Effekt noch mehr. Die daraus resultierende Luftverschmutzung erfordert eine erhöhte Leistung der Ventilation, was die Lufttemperatur und damit die Belagtemperatur zusätzlich absenkt. Eine Fahrbahnheizung kann diesen negativen Kreislauf unterbrechen.

Derzeit läuft ein mehrjähriges Forschungsprojekt, um unter anderem die optimale Situierung der Absorberleitungen (Rohre) aus energetischer und konstruktiver Sicht zu ermitteln. Die beiden Aspekte weisen z. T. konträre Optima auf, sodass meist Kompromisslösungen erforderlich sind. Auch die Möglichkeiten eines intermittierenden Betriebes werden untersucht.

4.4 Heizung/Kühlung von Brückenfahrbahnen

Bei auf Pfählen, Schlitzwänden, Brunnen oder Caissons gegründeten Straßen- und Autobahnbrücken können die Fundierungskörper als Energieabsorber ausgebildet werden, um die geothermische Energie für die Klimatisierung der Brückenfahrbahn zu nutzen. Das Energiebewirtschaftungssystem in Form eines saisonalen Speichers erfordert nicht unbedingt eine Wärmepumpe, sondern nur eine Umwälzpumpe. Mit dieser wirtschaftlichen Methode lassen sich folgende Vorteile erzielen:

- Eis- und Schneefreihaltung der Fahrbahn, womit nicht nur auf Streusalz und Splitt vollständig verzichtet werden kann, sondern auch die Verkehrssicherheit deutlich erhöht wird.
- Verringerung der temperaturbedingten Spurrillenbildung im Sommer, wobei die Fahrbahntemperatur immer unter der kritischen Temperatur gehalten werden kann.
- Schonung des Tragwerkes, der Fahrbahn und insbesondere der Brückenlager durch den Ausgleich von saisonal und tageszeitlich bedingten Temperaturdifferenzen (Reduktion von temperaturbedingten Zwängungsspannungen).

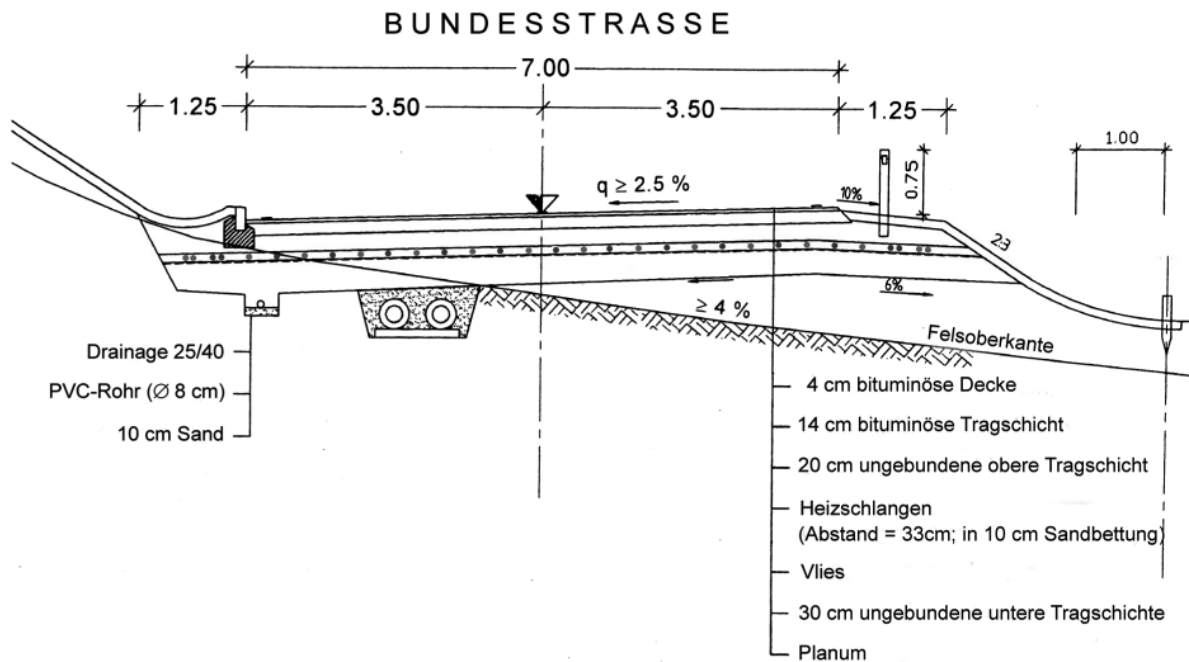


Abbildung 9: Straßenkonstruktion mit geothermischer Heizung oder Kühlung der Fahrbahn. Beispiel für Heizschlangen in 10 cm Sandbettung

Literatur

- Adam, D.; Markiewicz, R. (2002): Nutzung der geothermischen Energie mittels erdberührter Bauwerke – Teil 1: Theoretische Grundlagen. In: ÖIAZ, 147. Jg., Heft 4/2002. Teil 2: Experimentelle Untersuchungen und Computersimulationen. In ÖIAZ, 147. Jg., Heft 5/2002. Teil 3: Ausführungsbeispiele und Neuentwicklungen. Erscheint in ÖIAZ, 147. Jg., Heft 6/2002, Wien.
- Brandl, H.; Markiewicz, R. (2001): Geothermische Nutzung von Bauwerksfundierungen („Energiefundierungen“). In: ÖIAZ, 146. Jg., Heft 5-6/2001, Wien.
- Brandl, H.; Adam, D.; Kopf, F. (1999): Geothermische Energienutzung mittels Pfählen, Schlitzwänden und Stützbauwerken. Pfahl-Symposium 1999, TU Braunschweig, Deutschland.
- Brandl, H.; Markiewicz, R. (2002): Die Nutzung geothermischer Energie im Bauwesen. Zement+Betton 4/02. Zement+Betton Handels- und Werbeges.m.b.H., Wien.