

Glättevermeidung durch die Nutzung von Geothermie

Dipl.-Ing. M. Eilers

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach

Zusammenfassung

Fahrbahnoberflächen von Brücken und insbesondere von Stahlbrücken bergen gegenüber dem Straßenverlauf vor und hinter der Brücke die Gefahr einer vorzeitigen Vereisung. Dieser Gefahr wird zurzeit durch verstärkten Streudienst oder durch Taumittelsprühanlagen begegnet, was durch die verwendeten Taumittel negative Auswirkungen auf die Umwelt und auf die Dauerhaftigkeit der Bauwerke haben kann. Als Alternative wird im Rahmen dieses Beitrags die Möglichkeit der Nutzung geothermischer Energie zur Beheizung von Brückenbelägen vorgestellt. Neben den Untersuchungen zur Wärmegewinnung und zur Anordnung der Wärmetauscher im Fahrbahnbelag wird auch ein innovatives Steuerungssystem vorgestellt, das unter Berücksichtigung der meteorologischen Randbedingungen eine Anpassung der Verhältnisse auf dem Bauwerk an die Verhältnisse vor und hinter dem Bauwerk ermöglichen soll. Eine kostenintensive Dauerbeheizung des Fahrbahnbelages kann so vermieden werden.

Einleitung

Bei Fahrbahnoberflächen von Brücken und insbesondere von Stahlbrücken besteht gegenüber dem Straßenverlauf vor und hinter der Brücke die Gefahr einer vorzeitigen Vereisung, da die relativ dünnen Fahrbahntafeln schnell auskühlen. Dies stellt ein erhöhtes Sicherheitsrisiko dar, dem derzeit entweder durch Frühwarnsysteme mit Streudienst oder durch Taumittelsprühanlagen begegnet wird. Da diese Lösungen aufgrund der zusätzlichen Salzbelastung für die Umwelt und auch für das Bauwerk unbefriedigend sind, wird angestrebt, die besondere Gefährdung aus dem Vereisungsverhalten der Brückenfahrbahn zu beseitigen. Die umweltfreundliche Nutzung von Geothermie wäre hierfür besonders geeignet, da neben einer Beheizung des Fahrbahnbelags zur Glättevermeidung im Winter ferner die Möglichkeit besteht, den Asphalt im Sommer zu kühlen und somit die Spurrinnenbildung zu verringern und die Lebensdauer des Belages zu verlängern.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) betreut die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein Forschungsprojekt zu diesem Thema. Auftragnehmer

sind der Lehrstuhl für Stahl- und Leichtmetallbau der RWTH Aachen, das Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen sowie das Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der UniBW München.

Das Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung geeigneter Maßnahmen, die auf der Grundlage des Energietransfers zwischen einem geothermischen Speicher und der Fahrbahndecke beruht. Die hier untersuchte Lösung unterscheidet sich insbesondere durch zwei innovative Ansätze von bereits ausgeführten Referenzobjekten in europäischen Nachbarländern. Zum Einen soll – anstelle einer energieaufwändigen vollständigen Eisfreihaltung – das Vereisungsverhalten auf dem Brückenbelag an das Vereisungsverhalten vor und hinter der Brücke angepasst werden (siehe Bild 1). Dies geschieht mit Hilfe einer neu entwickelten Steuerungssoftware, die unter Berücksichtigung der meteorologischen und der bauwerksspezifischen Randbedingungen den Energieaufwand minimiert. Zum Anderen werden erstmalig Untersuchungen durchgeführt, die darauf abzielen, die Rohrregister aus Kunststoff oder Edelstahl beim Einbau des Fahrbahnbelags in den Gussasphalt zu integrieren.



Bild 1: SERSO-Projekt Schweiz (vollständige Eisfreihaltung)

Wärmetechnische Grundlagen

Die sinnvolle Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie ist abhängig von den meteorologischen, geologischen und topografischen Randbedingungen des Einzelfalls und bedarf sorgfälti-

ger Untersuchungen im Planungsstadium. Als mögliche Lösungen zur Energieentnahme aus dem Erdreich bzw. dem Grundwasser sind drei unterschiedliche Varianten vorstellbar:

- Untergrund ohne Grundwasserfluss; Speicherung der Wärme im Erdreich.
- Untergrund ohne Grundwasserfluss; Speicherung der Wärme im Aquifer.
- Untergrund mit starkem Grundwasserfluss; Wärmeentnahme aus dem Grundwasser mittels Brunnen.

Hinsichtlich einer optimalen Anordnung der Rohrleitungen in der Fahrbahn müssen sowohl Aspekte hinsichtlich des Einbaus als auch Aspekte hinsichtlich des thermodynamischen Verhaltens der Fahrbahn berücksichtigt werden. Anhand numerischer Untersuchungen zum thermodynamischen Verhalten hat sich gezeigt, dass die Verlegung auf der Dichtungsschicht, also unterhalb des Belages, zu hohen Verlusten führt – lediglich ein Drittel der eingebrachten Wärme wird an der Oberfläche wirksam. Daher wird eine Verlegung der Rohregister in der Mitte des Belages angestrebt – wodurch sich der Wirkungsgrad auf über 50% erhöht. Hinsichtlich der horizontalen Lage der Rohre ist bei einem Abstand von 15 cm bis 20 cm die Temperaturspreizung auf der Fahrbahnoberfläche sehr hoch, so dass sich zeitweise Streifen von vereistem und abgetautem Belag bilden könnten, während sich bei einem Abstand von 10 cm ein relativ gleichmäßiges Temperaturprofil einstellt. Daher sind aus thermischen Überlegungen 10 cm Rohrabstand empfehlenswert (Bilder 2 und 3).

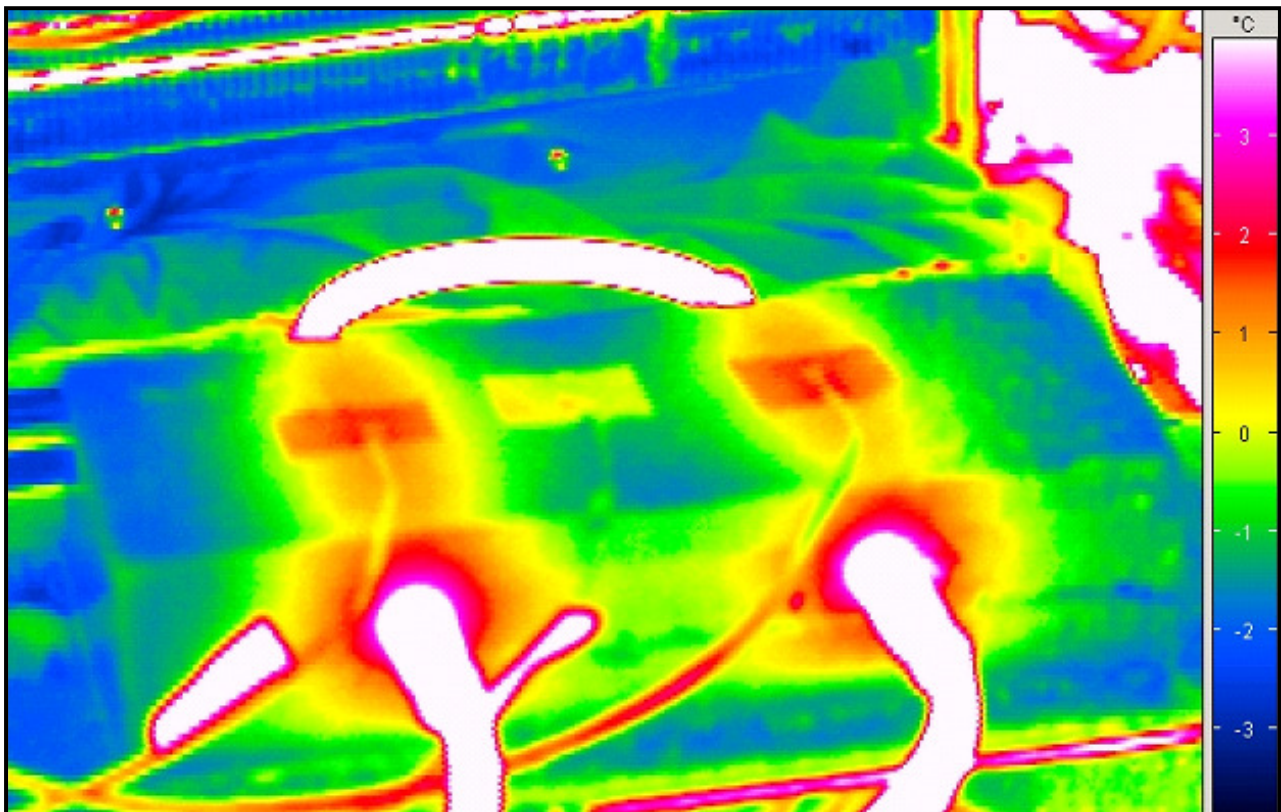


Bild 2: Infrarotaufnahme eines Probekörpers im Bereich des Bogens, Rohrabstand 15 cm

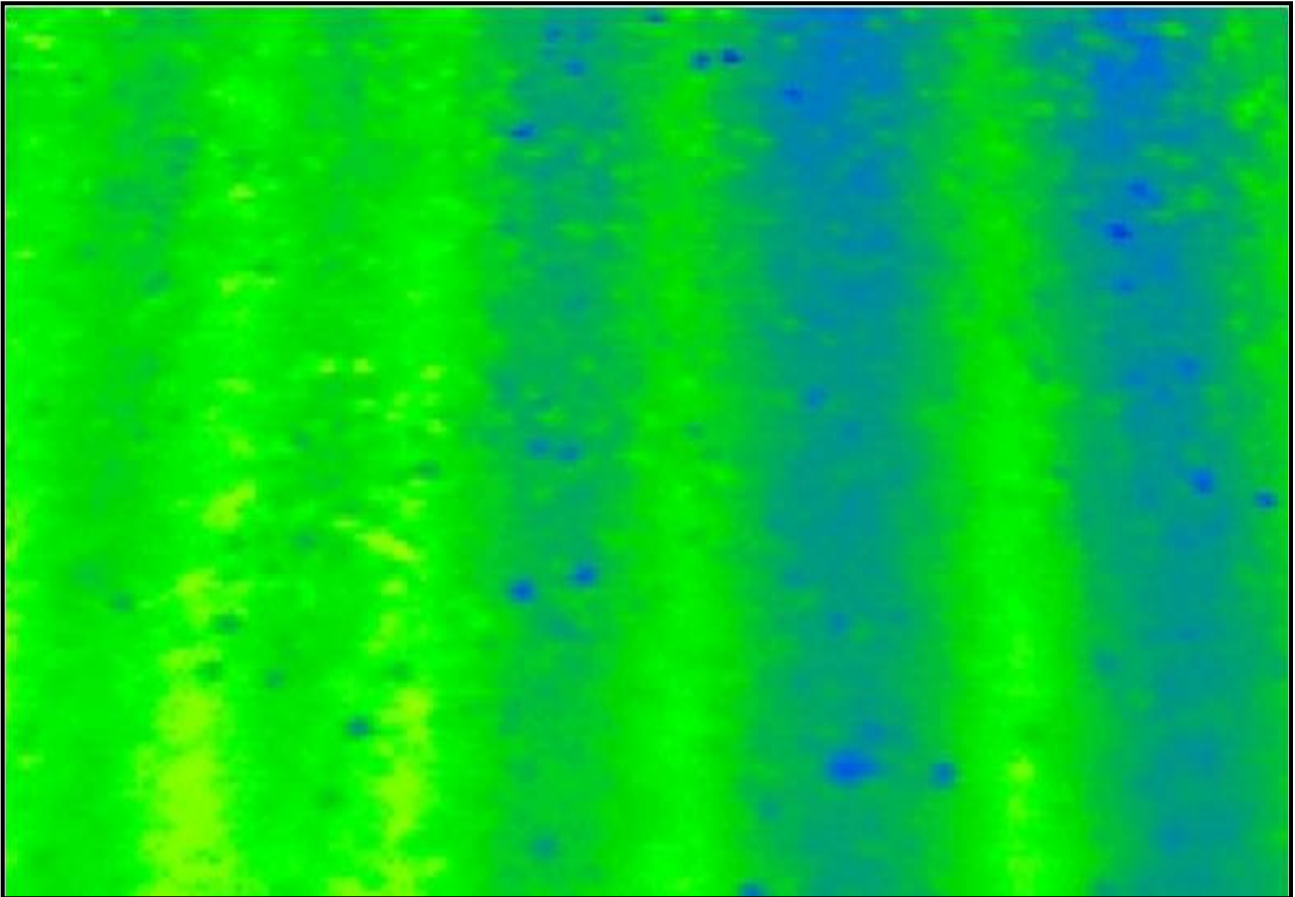


Bild 3: Infrarotaufnahme eines Probekörpers, Rohrabstand links 10 cm und rechts 15 cm

Laboruntersuchungen

Für die zu verwendenden Rohrleitungen kommen verschiedene Materialien in Frage, die jedoch der beim Gussasphalteinbau üblichen Temperaturbelastung von etwa 250 °C widerstehen müssen. Daher wurden mehrere unterschiedliche Arten von Rohrleitungen in Kleinteilversuchen im Hinblick auf ihre thermischen Eigenschaften überprüft. Einige der untersuchten Kunststoffrohrleitungen hielten der thermischen Belastung nicht stand bzw. es entstanden nicht tolerierbare Querschnittsveränderungen. Positive Ergebnisse erzielten insbesondere Aluminium-ummantelte Kunststoffrohre.

Im Rahmen der Untersuchungen konnten auch die numerischen Untersuchungen im Hinblick auf die Lage und den Abstand der Rohrleitungen anhand von Infrarotaufnahmen von Probekörpern bestätigt werden.

Um festzustellen, inwiefern sich das Einlegen von Rohrleitungen auf die mechanischen Eigenschaften und insbesondere auf die Dauerfestigkeit des Asphaltbelags auswirkt, wurden Probekörper mit unterschiedlicher Anordnung der Rohrleitungen hergestellt (Rohrleitungen längs und quer, bzw. ohne Rohrleitungen als Referenz). Sowohl bei 4-Punkt- als auch bei 5-Punkt-Biegeversuchen ist bei den untersuchten Frequenzen und Laständerungen, unabhängig davon ob und wie die Pro-

bekörper mit Rohrleitungen versehen waren, ein Versagen zwischen Dichtungsschicht und Asphalt aufgetreten. Dieses Verhalten zeigt, dass die eingelegten Rohrleitungen zunächst keine extremen Schwachstellen darstellen. Eine endgültige Aussage über den genauen Einfluss der Rohrleitungen auf die Dauerfestigkeit des Fahrbahnaufbaus kann auf der Basis der Laboruntersuchungen jedoch noch nicht getroffen werden.

Testfelder unter Praxisbedingungen

Zur Überprüfung der thermodynamischen Eignung einer solchen Brückenheizung wurde auf Grundlage der Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen ein Brückenmodul (bestehend aus zwei D-Brücken-Fahrbahnplatten von 6 m x 3 m) auf einem Betriebsgelände in Neuss errichtet und in Betrieb genommen. Um den Aufwand gering zu halten, erfolgt die Erwärmung des Mediums mittels konventioneller Technik. Die Untersuchungen wurden Ende September 2008 abgeschlossen und werden zur Zeit ausgewertet. Erste Versuchsergebnisse zeigen eine hinreichend gute Übereinstimmung mit den numerischen Untersuchungen.

Um den Einbau und die Dauerfestigkeit eines mit Rohrregistern versehenen Fahrbahnbelags unter Praxisbedingungen beurteilen zu können, wurden im Rahmen von Instandsetzungsmaßnahmen (Erneuerung des Fahrbahnbelags) auf einem Brückenbauwerk über die A 555 in der Anschlussstelle Rodenkirchen kurze Abschnitte mit Rohrregistern versehen (siehe Bild 4). Da der Temperierungs-Betrieb für die Beurteilung der mechanischen Eignung nur von untergeordnetem Interesse ist, wurde auf einen Anschluss bzw. auf ein Füllen der Rohre verzichtet. Zur Befestigung und Lagesicherung (insbesondere bezüglich des Auftriebs) haben sich z.B. Lochbleche als geeignet erwiesen. Bisher konnten keine optisch sichtbaren Schäden festgestellt werden. Eine erste messtechnische Untersuchung erfolgte Anfang Oktober 2008 und wird zurzeit ausgewertet.



Bild 4: Einbau des Gussasphaltes auf die fixierten Rohre

Vorläufige Ergebnisse

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Beläge sollten Störungen im Belag möglichst vermieden werden. Daher wäre eine Anordnung der Rohrregister unmittelbar über der Abdichtung oder bei Betonbrücken oberflächennah in der Fahrbahntafel wünschenswert. Wie die Berechnungen gezeigt haben, führt dies jedoch zu hohen Verlusten bei der Beheizung und somit zu einem schlechten Wirkungsgrad. Daher wird eine Anordnung der Rohrregister in der Mitte des Belages aus thermodynamischer Sicht in vielen Fällen unvermeidbar sein, es sein denn, dass eine unterseitige Dämmung der Fahrbahntafel (wie bei einem Pilotprojekt in Berkenthin geplant) vorgesehen wird.

Um das Rohrregister in der Mitte des Belages einbauen zu können, bieten sich zwei Möglichkeiten an:

- Das Rohrregister wird auf einer in Minderdicke eingebauten Schutzschicht befestigt und anschließend mit einer in Überdicke einzubauenden Deckschicht überdeckt (Bild 5). Diese Variante bietet sich bei bestehenden Brücken an, bei denen keine Erhöhung der Gradienten möglich ist.
- Das Rohrregister wird auf einer in Minderdicke eingebauten Schutzschicht in einer Zwischenschicht eingebaut und anschließend mit einer in gleichmäßiger Dicke einzubauenden Deckschicht überdeckt. Diese Variante bietet sich bei Neubauten an, bei denen die größere Belagsdicke bei der Planung der Gradienten berücksichtigt werden kann.

Beide Varianten wurden bei der Anlage der Testfelder unter Praxisbedingungen ausgeführt. Wichtig ist auf jeden Fall, dass die durch die Befestigungen zusätzlich eingebrachten Störstellen möglichst gering sind.

Geeignete Rohrleitungen können aus Kunststoff, aus mit Aluminiummantel umhülltem Kunststoff oder aus Edelstahl bestehen. Sie müssen in der Lage sein, den hohen thermischen Belastungen zu widerstehen, die beim Gussasphalteinbau auftreten. Sowohl die numerischen als auch die thermischen Untersuchungen zeigen, dass aus thermodynamischer Sicht eine Anordnung der Rohrleitungen in der Mitte der Asphaltsschicht in einem Abstand von 10 cm zueinander zu empfehlen ist. Die Untersuchungen hinsichtlich eines optimierten Einbaus und hinsichtlich der entstehenden Kosten sind noch nicht abgeschlossen. Zur Dauerfestigkeit von Belägen mit integrierten Rohrleitungen kann noch keine endgültige Aussage getroffen werden. Neue Erkenntnisse sind nach Abschluss der Testfeld-Versuche zu erwarten.

Die Wärmespeicherung im Erdreich oder im Aquifer ist rein rechnerisch möglich, jedoch bei der Ausführung mit sehr großem Aufwand verbunden und daher kostenintensiv. Die Wärmeentnahme aus dem Grundwasser mittels Brunnen ist in vielen Fällen die weitaus kostengünstigere Alternative (Bild 6). Voraussetzung sind günstige Untergrundverhältnisse mit ausreichend starkem Grundwasserfluss.

Das in der letzten Projektphase zu entwickelnde Mess-, Steuer- und Regelsystem (MSR) auf der Basis klimatischer Grenzwerte wird derzeit anhand der Ergebnisse aus den Testfeld-Versuchen kalibriert. Es zeichnet sich jedoch schon ab, dass durch dieses auf das jeweilige Objekt abgestimmte Regelsystem eine Minimierung der Betriebszeiten und damit der Kosten erreicht werden kann.

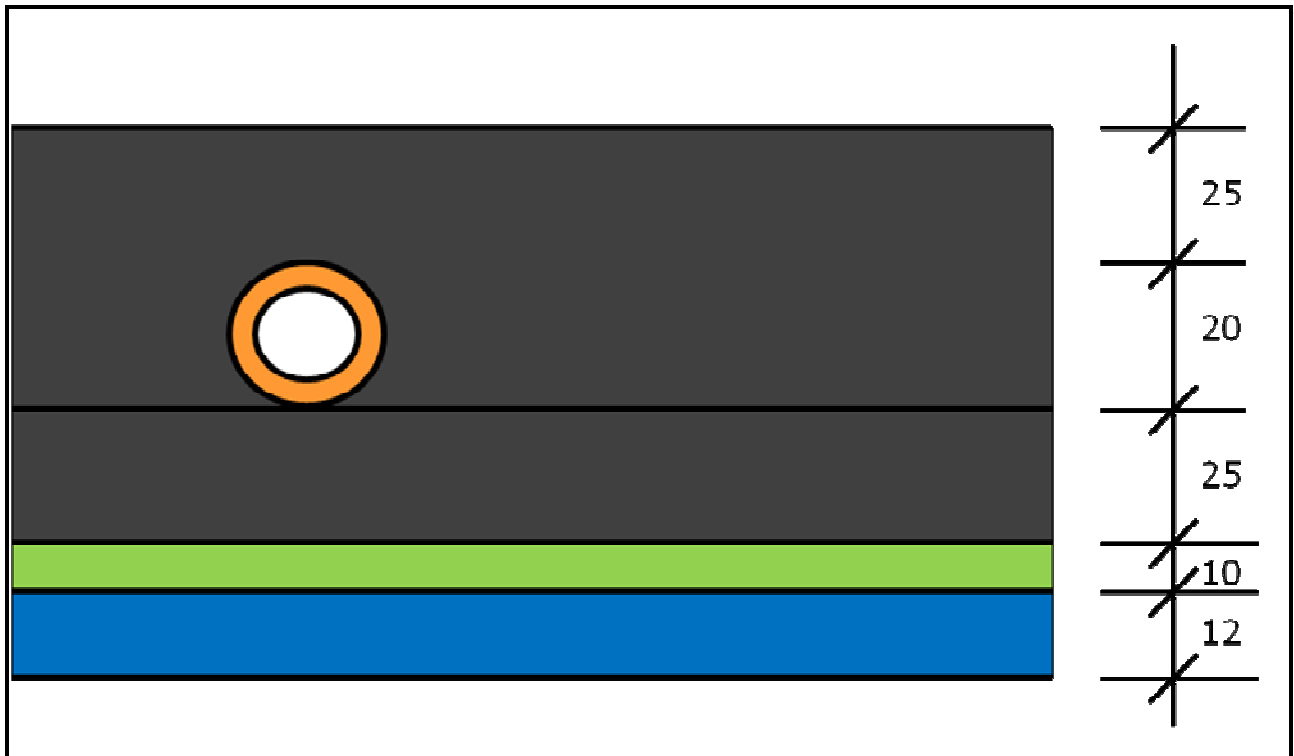


Bild 5: Einbauvariante des Rohrregisters

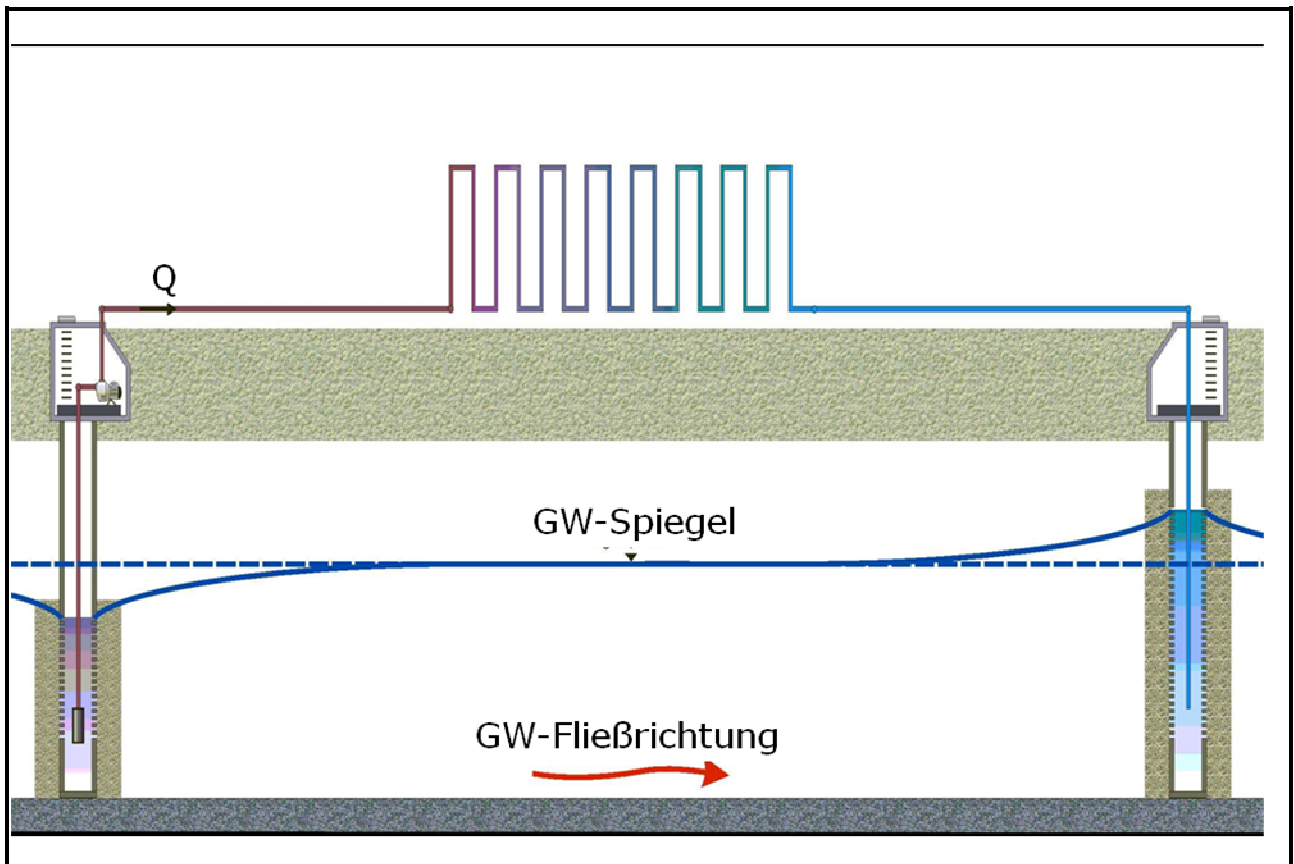


Bild 6: Wärmeentnahme mittels Brunnen

Ausblick

Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes konnte eine Reihe von Fragen zur grundsätzlichen Durchführbarkeit der Beheizung von Fahrbahntafeln auf Brücken geklärt werden. Eine Beheizung der Fahrbahntafel ist bei Wärmeentnahme aus dem Grundwasser und unter Verwendung eines speziell angepassten Steuer- und Regelsystems wirtschaftlich möglich. Noch nicht abschließend geklärt ist die tatsächliche Dauerhaftigkeit der Rohrregister und des Belages unter Praxisbedingungen.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen die Durchführung eines Pilotprojektes sinnvoll erscheinen. Ein anstehendes Pilotprojekt ist die Erneuerung der Straßenbrücke im Zuge der B 208 über den Elbe-Lübeck-Kanal bei Berkenthin. Beim Neubau dieser Brücke sind die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Einsatz einer Beheizung der Fahrbahntafel gegeben. Aufgrund der Lage der Brücke in einer Senke mit Kaltluftströmungen bei einer gleichzeitigen Überquerung einer Wasserstraße besteht eine hohe Vereisungsgefahr, so dass Maßnahmen zur Glättevermeidung getroffen werden müssen. Probebohrungen und Pumpversuche haben gezeigt, dass eine ausreichende Wärmeentnahme aus dem anstehenden Grundwasser möglich ist. Bei einer Durchführung der Maßnahme wäre es wünschenswert, verschiedene Varianten hinsichtlich der Rohrregister einzubauen und zu untersuchen. Zur Minimierung der erforderlichen Wärmemenge ist bei diesem Bauwerk eine unterseitige Isolierung der orthotropen Fahrbahntafel vorgesehen.