

Geothermische Bergwassernutzung Hydrogeothermische Verfahren an deutschen Straßentunneln

Dipl.-Ing. Patrik Buhmann, Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart
Dipl.-Ing. Jürgen Blossfeld, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Moormann, Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart

Als grundlastfähige und theoretisch überall verfügbare Energiequelle hat die Geothermie als eine der regenerativen Energieformen das Potenzial, die zunehmende Nutzung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl und Erdgas zum Teil zu ersetzen, den Ausstoß von CO₂ in die Atmosphäre zu reduzieren und somit zum Klimaschutz beizutragen. Hydrogeothermische Verfahren besitzen im Bereich der Wärmepumpentechnik im Vergleich zu Sole-Wasser- bzw. Luft-Wasser-Wärmepumpen die höchste Jahresarbeitszahl, so dass sie besonders energieeffizient sind. Durch die thermische Nutzung von anfallendem Tunneldrainagewasser kann eine thermische Beeinflussung schützenswerter Grundwasseraquifere vermieden werden und das Temperaturregime entsprechender Vorflutsysteme wird nur untergeordnet beeinträchtigt. Im Rahmen von 2 Forschungsprojekten wurde zunächst das hydrogeothermische Potential von 15 deutschen Straßentunneln abgeschätzt. Im Anschluss wurden auf der Basis von kontinuierlich erfassten Messdaten der Drainagewasserabstrommengen und Drainagewassertemperaturen das mögliche Heiz- bzw. Kühlpotential an drei Tunnelportalen konkretisiert und als Grundlage für nachfolgende Detailplanungen zur Nutzung des hydrogeothermischen Potentials herangezogen.

1 Einleitung

Als Geothermie oder Erdwärme wird die im Erdinneren gespeicherte Wärmeenergie bezeichnet, die ein erhebliches Potential zur Heizung und Kühlung von baulichen Anlagen bietet. Das energetisch nutzbare Potential ist in besonderem Maße von der Lage eines Energieabsorbers und hier besonders von der Tiefenstufe innerhalb der Erdkruste abhängig. Unter 'Hydrogeothermischen Verfahren' wird grundsätzlich die direkte Nutzung der Energie aus Grund- bzw. Schichtwasser verstanden. Ursprünglich gehen die hydrogeothermischen Verfahren auf die Nutzung von Thermalwässern zurück, die Wasser aus tiefliegenden Grundwasserleitern über Förder- und Schluckbrunnen (Primärkreislauf), an einen Wärmepumpenkreislauf übergeben.

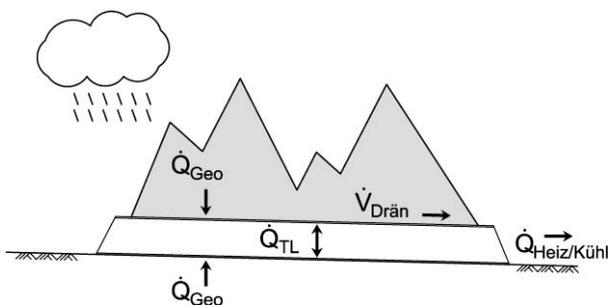


Abbildung 1-1: Hydrogeothermische Verfahren – Prinzipskizze [2]

Dieser Ansatz der Energieextraktion wurde auf die Nutzung von Drainagewässern von Tunnelbauwerken übertragen.

Hydrogeothermische Anlagen existieren derzeit vornehmlich in der Schweiz [3, 4]. Dort sind aktuell sieben geothermische Anlagen mit einer jährlichen Gesamtwärmeleistung von ca. 5.300 MWh/Jahr in Betrieb, weitere Anlagen sind in Planung. Die auf hydrogeothermischem Wege gewonnene Energie stellt im Grunde ein Nebenprodukt der aus tunnelstatischer Sicht zum Abbau des auf die Tunnelchale wirkenden Wasserdrucks erforderlichen Drainage dar. Der Energieertrag ist umso höher, je mehr Wasser mit hoher Temperatur anfällt. Das ideale Einsatzgebiet hydrogeothermischer Nutzungen in der Tunnelgeothermie wurde bisher meist im alpinen Raum mit seinen typischen hydrogeologischen und morphologischen Verhältnissen gesehen, in die mit Basistunnelbauwerken eingegriffen wird.

Im Rahmen einer ersten Vorstudie (Forschungsprojekt 1) wurden die Drainagewasserschüttungen von deutschen Straßentunneln hinsichtlich ihres geothermischen Potentials untersucht und bewertet.

Unter dem geothermischen Potential wird im Folgenden der Wärmestrom bezeichnet, der gemäß dem folgenden Zusammenhang am Übergabepunkt des Drainagewassers in die Vorflut zur Verfügung steht:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho_w \cdot c_{p,w} \cdot \Delta \vartheta \quad (1)$$

Dabei ist:

\dot{Q}	Wärmestrom [W]
\dot{V}	Drainageschüttung [m ³ /h]
$\rho_w \cdot c_{p,w}$	volumetrische spezifische Wärmekapazität des Wassers [kJ/(m ³ K)]
$\Delta \vartheta$	Temperaturspreizung nach thermischer Energieextraktion [K].

In weiterer Folge wurden im Rahmen eines vom Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart (IGS) im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) bearbeiteten Folgeprojektes (Forschungsprojekt 2) für den Tunnel Rennsteig (Thüringer Wald) und den Grenztunnel Füssen (Bayern) detaillierte Untersuchungen vorgenommen und Konzepte zur Nutzung der thermischen Energie entwickelt und gesamtheitlich beurteilt.

2 Geothermisches Potential deutscher Straßentunnel (Vorstudie)

Aufgrund der hydrogeothermischen Nutzung von Verkehrstunneln in der Schweiz kam die Frage auf, ob auch in Deutschland Straßentunnel existieren, bei denen eine sinnvolle thermische Nutzung des anfallenden Drainagewassers möglich ist. Daraufhin wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes der BASt [1] Straßentunnel recherchiert, von denen eine nennenswerte Schüttung bekannt bzw. anzunehmen war. Das Ziel bestand darin, einige potentiell geeignete Straßentunnel auszuwählen, an denen in einem weiteren Schritt Detailuntersuchungen durchgeführt werden sollten.

Als Ergebnis der Recherchen wurden die Portale von 15 Straßentunneln und einem Erkundungsstollen ausgewählt und zum Teil mehrfach im Rahmen von Ortsterminen besichtigt. Dabei wurden jeweils im Vorfeldbereich in den Schächten der Drainageleitungen die maßgebenden hydraulischen und chemisch-physikalischen Parameter ermittelt sowie Wasserproben entnommen. Die Proben wurden im Labor im Hinblick auf weitere chemisch-physikalische Parameter, die für den Betrieb einer Grundwasserwärmepumpe relevant sind, analysiert. Mit den vor Ort ermittelten Schüttungen und Wassertemperaturen wurde jeweils unter Annahme einer Temperaturspreizung von 4 Kelvin der nutzbare Wärmestrom nach (1) abgeschätzt. Einen Überblick über den nutzbaren Wärmestrom, der jeweils zum

Zeitpunkt der Ortsbesichtigung an den Portalen zur Verfügung stand, gibt Tabelle 2-1.

Portal	Orstbesichtigung	\dot{Q} [kW]
Erkundungsstollen Kramer - Nord	31.10.2013	773
Rennsteig - Nord	11.10.2012	489
Füssen - Nord	29.10.2013	261
Berg Bock - Süd	10.10.2012	185
Rennsteig - Süd	11./12.10.2012	177
Zwischensumme Gebirgstunnel		1.885
Hugenwald - West	14.02.2012	101
	02.07.2012	34
Burgholz - West	28.10.2011	84
Königshainer Berge - Ost	23.08.2012	60
Wattkopf - West	19.07.2011	50
	17.01.2012	50
Hochwald - Süd	10./12.10.2012	25
Saukopf - West	28.10.2013	22
Michaelstunnel - Nord	18.01.2012	9
	03.07.2012	18
Königshainer Berge - West	23.08.2012	17
Hestenberg - Nord	21.09.2012	14
Eichelberg - Süd	11.10.2012	13
Gesamtsumme (Maxima)		2.289

Tabelle 2-1: Nutzbarer Wärmestrom an den Portalen der Tunnel bzw. Stollen mit relevanter Schüttung [1]

Tabelle 2-1 zeigt, dass für die spezifischen Verhältnisse in Deutschland an den Portalen drainierter Straßentunnel ein nicht unerheblicher nutzbarer Wärmestrom und damit ein geothermisches Potential vorliegt, das bisher ungenutzt abfließt. Das größte geothermische Potential wurde erwartungsgemäß für die Portale von Gebirgstunneln mit längeren dränierten Strecken bei gleichzeitig deutlicher Einbindung in das Bergwasser abgeschätzt (s. Tabelle 2-1, Zeile 1 bis 5).

Während der Entnahmen wurden häufig organoleptische Auffälligkeiten der Wasserproben, wie z.B. ein Bodensatz, eine Trübung/Färbung, und/oder Auffälligkeiten im Bergwasserdrainagesystem, wie Sandablagerungen oder Versinterungen, beobachtet. Im Hinblick auf den seinerzeit angedachten Einsatz von Grundwasserwärmepumpen wurde an der Mehrzahl der Portale zusätzlich zu diesen Auffälligkeiten mindestens ein chemisch-physikalischer Parameter mit ungünstigem Einfluss festgestellt. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Parameter Gesamthärte, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Chlorid-Ionen zu nennen. Außerdem variierten teilweise an einem und demselben Portal die chemisch-physikalischen Parameter je nach Termin und Ort der Probenahme erheblich. In einigen Fällen war dabei die Herstellung von parallel zum Be-

standstunnel trassierten Rettungsstollen als eine mögliche Ursache nicht auszuschließen. Um aus der Anzahl der besichtigten Portale eine Auswahl für die Detailuntersuchungen zu treffen, wurden schließlich die Portale mit dem größten geothermischen Potential ausgewählt. Hierbei handelte es sich um die Portale Erkundungsstollen Kramer – Nord, Rennsteig – Nord und Süd, Füssen – Nord und Berg Bock – Süd (s. Tabelle 2-1). Auf diese fünf Portale entfielen etwa 80 % des insgesamt abgeschätzten geothermischen Potentials. Die hierfür am Portal zugrunde liegende Schüttung betrug je Portal mindestens 10 l/s. Die fünf Portale hoben sich auch im Hinblick auf die bei der Probenahme festgestellten Auffälligkeiten und die chemisch-physikalischen Parameter positiv von der Mehrzahl der anderen Portale ab, da hier lediglich ein bis zwei ungünstige Einflüsse auf den Betrieb einer Grundwasserwärmepumpe festgestellt wurden. Außerdem ergaben die Vorabklärungen jeweils potentielle Wärmenutzungen in Portalnähe.

Bereits durch die punktuellen Besichtigungen wurden bei der Mehrzahl der Portale Schwankungen der für das geothermische Potential relevanten Parameter Schüttung und Wassertemperatur (vgl. (1)) sowie der chemisch-physikalischen Parameter deutlich. Dadurch ergab sich die Notwendigkeit weiterer Probenahmen und Untersuchungen bzw. Analysen zur endgültigen Auswahl des Standortes einer hydrogeothermischen Anlage. Zusätzlich wurde die Erfordernis gesehen, die Eignung konkreter Wärmenutzungen zu überprüfen und deren Anforderungen beim Entwurf einer solchen Anlage angemessen zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck wurde ein Forschungsprojekt vom Institut für Geotechnik der Universität Stuttgart durchgeführt, das von der BASt fachlich betreut und vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) finanziert wurde. Diese Detailuntersuchungen, über deren Ergebnisse im Folgenden berichtet wird, wurden aus Gründen der Praktikabilität auf die Portale Rennsteig – Nord und Süd sowie Füssen – Nord fokussiert.

3 Potentiale und Nutzungen im Detail

3.1 Geothermisches Potential

Für die Tunnelportale Rennsteig Nord und Süd (Thüringen) sowie für das Tunnelportal Füssen Nord (Bayern) wurde für den Heiz- bzw. den Kühlbetrieb das geothermische Potential auf der Basis von kontinuierlichen Messungen vor Ort ermittelt. Der Tunnel Rennsteig stellt mit ca. 7,9 km Länge das aufwendigste Bauwerk der Kammquerung des Thüringer Waldes dar. Er ist Bestandteil des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr. 16, der Auto-

bahn A71 von Sangerhausen nach Schweinfurt. Der Grenztunnel Füssen verbindet mit seinen 1271 m die Bundesautobahn BAB A7 bei Füssen mit der österreichischen Fernpassroute B 179. Die im Gegenverkehr befahrene Tunnelröhre befindet sich zu 73% auf deutschem und zu 27% auf österreichischem Staatsgebiet.

Zur Ermittlung des jeweiligen geothermischen Potentials der Tunnelportale wurden zunächst die Schüttungsmengen an den entsprechenden Drainagewasseraustritten sowie die Drainagewassertemperatur ermittelt. Hierzu wurden an den Tunnelportalen die vorhandenen Drainagewasseraustritte mit Thomsonwehren und einer automatischen Erfassung der Drainagewasserabstrommenge und Temperatur nachgerüstet (vgl. Abbildung 3-1).



Abbildung 3-1: Drainagewasserfassung am Südportal des Tunnels Rennsteig

Vollständige Messreihen für die genannten Tunnel liegen derzeit für einen Gesamtzeitraum von ca. 1,5 Jahren vor. Das geothermische Potential hängt im Wesentlichen von der erzielbaren und zulässigen Temperaturspreizung nach der thermischen Auskoppelung der Wärmeenergie ab. Hierzu wurden die Randbedingungen gemäß Tabelle 3-1 berücksichtigt.

Grenzwert	[°C]
Minimale Einleittemperatur	5
Maximale Einleittemperatur	20
Maximale Temperaturspreizung bei Wärmepumpenbetrieb	4

Tabelle 3-1: Einleitgrenzwerte und maximale Temperaturspreizung

Ein Vergleich der Schüttungsmengen des Drainagewassers an den Tunnelportalen Rennsteig und Füssen Nord zeigt eine gänzlich unterschiedliche Charakteristik. Während sich am Tunnel Rennsteig Nord eine über den Jahresgang stark schwankende Schüttungsmenge zeigt (vgl. Abbildung 3-2), fällt

am Nordportal des Grenztunnels Füssen eine nahezu gleichbleibende Drainagewasserabstromschüttung von ca. 10-15 l/s an.

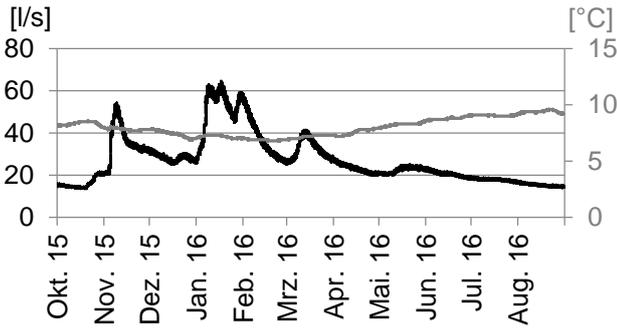


Abbildung 3-2: Drainagewasserschüttung und Temperatur am Nordportal des Tunnels Rennsteig. Erfasst wurde hier nur eine Teilmenge des anfallenden Abstromes.

Das mögliche geothermische Potential unterliegt einer jahreszeitlichen Varianz, die im Rahmen der bisherigen Untersuchungen noch nicht abschließend beschrieben werden konnte. Aus diesem Grund ergeben sich unter einer worst-case Annahme, bei der jeweils die minimalen Abstrommengen der Tunneldrainagen mit der bis dato gemessenen Höchst- bzw. Tiefsttemperatur kombiniert wurden, die möglichen geothermischen Potentiale gemäß Tabelle 3-2.

Rennsteig Nord		\dot{Q} [kW]
Heizfall		147
Kühlfall		589
Rennsteig Süd		\dot{Q} [kW]
Heizfall		53
Kühlfall		227
Füssen Nord		\dot{Q} [kW]
Heizfall		152
Kühlfall		438

Tabelle 3-2: Geothermisches Potential der Portale für die Detailuntersuchungen

Die hier getroffene worst-case-Annahme deckt sich nicht mit den Untersuchungen gemäß Kapitel 2, bei denen das zu erwartende geothermische Potential durch die Überlagerung optimaler Kombinationen aus Temperatur und Abstrommenge ermittelt wurde.

Neben der Ermittlung des geothermischen Potentials des Tunneldrainagewassers wurde die chemisch-physikalische Eignung zur thermischen Nutzung bewertet. Hierzu wurden entsprechende La-

boruntersuchungen an den 3 Tunnelportalen durchgeführt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Tunneldrainagewässer an allen Standorten grundsätzlich zur thermischen Nutzung geeignet sind.

3.2 Nutzung des geothermischen Potentials

Neben der Ermittlung des geothermischen Potentials wurde für die Tunnelportale Rennsteig Nord und Süd sowie Füssen Nord Konzepte zur Nutzung der geothermischen Energie entwickelt. Hierbei wurden zum einen Nutzungen im direkten Umfeld des Tunnels, wie z.B. die Klimatisierung von tunnелеigenen Betriebsräumen oder die Temperierung von Fahrflächen im Tunnelportalbereich, zum anderen aber auch Nutzungen außerhalb der Sphäre des Tunnelbetriebs, wie z.B. die Versorgung von naheliegender Wohnbebauung mit Wärmeenergie untersucht. Sämtliche untersuchten Nutzungen wurden in eine Entscheidungsmatrix überführt, in der neben dem geothermischen Potential des zugehörigen Portals auch weitere Bewertungskriterien wie die Betriebssicherheit, die technische Umsetzbarkeit oder die Öffentlichkeitswirksamkeit der untersuchten Nutzung berücksichtigt wurden. Hierbei zeigten sich die thermische Nutzung des Tunneldrainagewassers zur Eis- und Schneefreihaltung von tunnelnahen Betriebsflächen sowie zur Klimatisierung der Technikräume der Tunnel an den Nordportalen der Tunnel Rennsteig und Füssen als aussichtsreichste Möglichkeiten, die hydrogeothermische Nutzung von Tunneldrainagewasser im Sinne einer Pilotanlage demonstrieren zu können. Im Rahmen einer Vorplanung wurden diese Nutzungen für die Tunnel Rennsteig und Füssen detaillierter betrachtet. Hierzu wurden nutzungsorientierte Energiebedarfsermittlungen durchgeführt, um zum einen die Kühllast der Tunneltechnikräume, zum anderen den Energiebedarf der Betriebsflächen zur Sicherstellung der Eis- und Schneefreiheit zu quantifizieren. Mit Blick auf die Temperierung der Freiflächen wurde hierzu eine Energiebilanz für den Wärmeübertrager, in den Fahrflächenaufbau integrierte Rohrleitungen, aufgestellt (s. Abbildung 3-3).

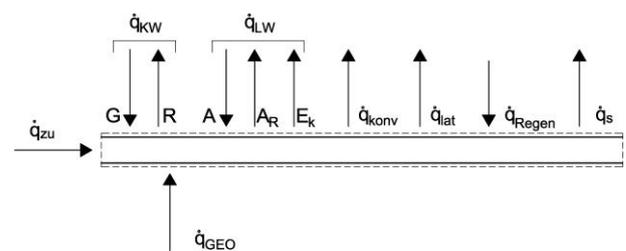


Abbildung 3-3: Energiebilanz Freiflächentemperierung

Hierbei sind die Wärmeströme aus kurzweiliger (q_{Kw}) und langweiliger Solarstrahlung (q_{Lw}) sowie aus konvektiven (q_{konv}) und latenten (q_{lat}) Wärmetransport, sowie weitere Wärmeströme aus Niederschlag (q_{Regen}) und Schmelzenergie bei Eis- oder Schneebedeckung (q_s) zu berücksichtigen.

Auf dieser Basis und den Klimadaten von den Tunnelportalen naheliegenden Klimastationen wurden erforderliche Wärmestromdichten zur Sicherstellung der Eis- und Schneefreiheit von ca. 400 W/m^2 ermittelt (s. Abbildung 3-4).

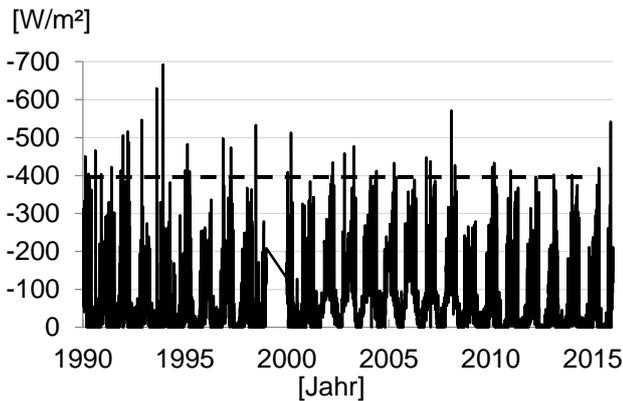


Abbildung 3-4: Energiebedarf Freiflächentemperierung Tunnel Füssen

In einer Zusammenschau zeigte sich nach der Vorplanung der unterschiedlichen Anlagenkonzepte, dass am Tunnel Rennsteig sowie am Tunnel Füssen mit dem zur Verfügung stehenden geothermischen Potential mindestens ca. 380 m^2 Betriebsfläche dauerhaft eis- und schneefrei gehalten werden können. Die vorhandenen Kühllasten der Tunnelbetriebsgebäude beanspruchen nur ein geringen Anteil von ca. 3% des möglichen Kühlpotentials, so dass an beiden Tunnelportalen die Auskopplung weiterer Kühlenergie für weitere Anwendungen, wie z.B. im Fall Füssen die Versorgung von Gebäuden eines nahegelegenen Gewerbegebietes, denkbar ist. Die abschließende Phase der Untersuchungen bildete die Entwicklung eines Pilotprojektes zur Klimatisierung der Tunnelbetriebsräume sowie eines Technikums zur Temperierung von Freiflächen auf dem Betriebsgelände des Grenztunnels Füssen im Sinne einer Entwurfsplanung.



Abbildung 3-5: Übersichtsskizze Pilotanlage und Technikum Füssen

Die Ausbildung des Wärmeübertragers zur Eis- und Schneefreihaltung hat einen entscheidenden Einfluss auf die realisierbare Wärmestromdichte. Das bedeutet, je nach Ausbildung des Übertragers werden an der Oberfläche des eis- und schneefrei zu haltenden Bereichs höhere oder niedrigere Temperaturen erreicht. Die direkte passive Eis- und Schneefreihaltung mit Tunneldrainagewasser macht den Einsatz von Rohrleitungen als Wärmeübertrager erforderlich. Im Rahmen von Modellstudien auf der Basis eines detaillierten dreidimensionalen Simulationsmodells (siehe Abbildung 3-6) wurden Variationsberechnungen durchgeführt, bei denen die Rohrabstände, der Rohrdurchmesser, die Rohrüberdeckung sowie der Einsatz von die Wärmeleitfähigkeit verbessernden Materialien variiert wurde.

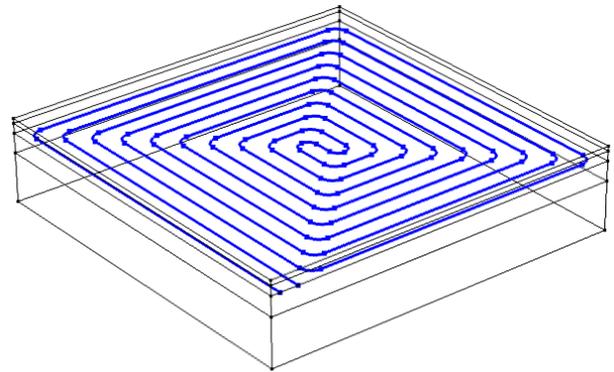


Abbildung 3-6: Numerisches Berechnungsmodell

Im Ergebnis sollen im Zuge des Technikums 9 Testfelder, 6 in Asphaltbauweise und drei in Betonbauweise (siehe Abbildung 3-5) mit unterschiedlichen geometrischen, bzw. baulichen Variationen untersucht werden. Der Betrieb der Anlage zur Temperierung von Freiflächen kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen. Werden zur Bereitstellung der Pumpenergie regenerative Energiequellen wie Windkraft oder Solarkraft genutzt, kann die Durchströmung der Rohrleitungen in den Wintermonaten im Dauerbetrieb erfolgen. Hierdurch reduziert sich der Aufwand zur Prognose von Glätteereignissen und die Betriebssicherheit wird erhöht. Die zweite Art des Betriebs erfolgt im Sinne einer Bedarfssteuerung auf der Basis eines entsprechenden Glätteprognosemodells. Hierbei wird die hydraulische Pumpe erst in Betrieb genommen, wenn auf den Testflächen mit einer Glättebildung zu rechnen ist. Eine Vorlaufzeit zum Glätteereignis gewährleistet, dass eine entsprechende Wärmestromdichte zur Eis- und Schneefreihaltung zum Zeitpunkt des Frost- oder Niederschlagsereignisses zur Verfügung steht.

Für den Betrieb der Temperierung der Freifläche wurde entgegen den vorangegangenen Untersuchungen (Vorplanung) eine Betriebsart gewählt, bei der das Tunneldrainagewasser direkt und ohne Temperaturhub durch das im Fahrflächenaufbau

angeordnetes Rohrleitungssystem zirkuliert. Dies reduziert die Herstellungs- und Betriebskosten der Anlage und steigert dadurch ihre Effizienz. Allerdings besteht bei dieser Betriebsart die Gefahr des Auffrierens und damit der Zerstörung der Rohrleitungen und ggf. des Fahrflächenaufbaus. Eigens für dieses mögliche Havarieszenario wurden Regelkreise entwickelt, die bei Frostgefahr die Anlage gezielt außer Betrieb nehmen und ein Auffrieren verhindern sollen. Das Technikum soll vor diesem Hintergrund die erforderlichen Erfahrungen mit der Regelung und dem Betrieb dieser Anlagenart generieren, die dann in weiterer Folge auf eine Anlage im Realmaßstab projiziert werden können. Darüber hinaus bietet das Technikum die Möglichkeit, die bisher auf einer theoretischen Basis basierenden erforderlichen Wärmestromdichten, die zur Sicherstellung der Eis- und Schneefreihaltung erforderlich sind, auf der Basis von Versuchsergebnissen zu bewerten und ggf. anzupassen.

Sämtliche Anlagenbestandteile sowie deren Herstellung wurden zusammen mit einer Abschätzung der Kosten für eine zeitlich begrenzte wissenschaftliche Begleitung in ein detailliertes Langtextleistungsverzeichnis überführt und monetär bewertet. Hiernach belaufen sich die Gesamtkosten für die Errichtung und wissenschaftlichen Begleitung der Pilotanlage und des Technikums am Grenztunnel Füssen auf ca. 273.000 Euro (Netto).

4 Zusammenfassung

Im Rahmen einer breiter angelegten Untersuchung deutscher Straßentunnel wurde festgestellt, dass mit dem anfallenden Drainagewasser durchaus ein erhebliches geothermisches Potential vorliegen kann, das bisher jedoch ungenutzt abfließt. Unter Berücksichtigung von Momentaufnahmen des geothermischen Potentials und der chemisch-physikalischen Eigenschaften des Drainagewassers sowie potentieller Wärmenutzungen wurden fünf Portale ausgewählt, die für die Realisierung einer hydrogeothermischen Anlage geeignet schienen. Für die anschließenden Detailuntersuchungen erfolgte eine Fokussierung auf drei besonders erfolgversprechende Portale.

Die Detailuntersuchungen an den Tunnelportalen der Straßentunnel Rennsteig und Füssen haben gezeigt, dass das anfallende Tunnelndrainagewasser ein großes thermisches Potential besitzt, für deren Nutzung sich sowohl im direkten Portalbereich als auch zur Versorgungen von Wohn- oder Betriebsgebäuden zahlreiche Möglichkeiten bieten. Besonders das vorhandene Kühlpotential übersteigt die derzeit bekannten Kühllasten um ein Vielfaches. Die Nutzung des Tunnelndrainagewassers zur Temperierung von Freiflächen nach dem System direkte pas-

sive Heizung stellt ein Novum im Bereich der Eis- und Schneefreihaltung von Betriebs- und Fahrflächen dar, das auf den Kühlbetrieb in den Sommermonaten erweitert werden kann, um z.B. temperaturbedingte Spurrillenbildung zu reduzieren. Die Temperierung von Fahrflächen im Portalbereich eines Tunnels kann ggf. zu einer Reduktion des Taumittleinsatzes in diesem Bereich und damit zu einer Senkung der Chloridbelastung im Tunnel führen. Grundvoraussetzung zur Abschätzung des geothermischen Potentials des anfallenden Tunnelndrainagewassers ist die Kenntnis über die zu erwartende Schüttungsmenge und Wassertemperatur. Vor diesem Hintergrund wäre die Nachrüstung bestehender drainierter Tunnel bzw. die Ausrüstung geplanter Tunnel mit zugänglichen geeigneten Messeinrichtungen wünschenswert.

An dieser Stelle bedanken sich die Autoren bei der Autobahndirektion Südbayern, Dienststelle Kempten sowie beim Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr und den Kollegen der Betriebsleitstelle Zella-Mehlis für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Messdatenerfassung an den Tunnelportalen sowie den konstruktiven Austausch zu Möglichkeiten der Nutzung der thermischen Energie.

Literaturverzeichnis

- [1] Blofeld, J. und Rönnau, I. 2014. *Wärmeenergie aus dränierten Bergwässern von Straßentunneln (unveröffentlicht)*. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- [2] Moormann, C., Buhmann, P., Friedemann, W., Homuth, S., und Pralle, N. 2016. Tunnel geothermics - International experience with renewable energy concepts in tunnelling / Tunnelgeothermie - Internationale Erfahrungen zu regenerativen Energiekonzepten im Tunnelbau. *Geomechanik Tunnelbau* 9, 5, 467–480.
- [3] Rybach, L. 2015. Innovative energy-related use of shallow and deep groundwaters — Examples from China and Switzerland. *Central European Geology* 58, 1-2, 100–113.
- [4] Rybach, L., Wilhelm, J., und Gorhan, H. Geothermal use of tunnel waters – a Swiss speciality. In *International Geothermal Conference, Reykjavik, 2003*, 17–23.
- [5] Moormann, C., Buhmann, P. 2016. *Fachtechnische Vorbereitung von geothermischen Pilotanwendungen bei Grund- und Tunnelbauwerken (unveröffentlicht)*. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.