

Geothermie – Sonderanwendungen in der Infrastruktur

Systeme, die auf der Nutzung von Umwelt- und Prozesswärme basieren, können den Energieverbrauch und die CO₂-Produktion um bis zu 70 % reduzieren.

Michael Funke

Mit den Technologiefeldern der Geothermie und der Wärmepumpensysteme in Verbindung mit einer intelligenten Steuerung können Weichen und Freiflächen von den gemäßigten bis hin zu den extremen Klimazonen auf der Welt in den Wintermonaten verfügbar gehalten werden.

Die Triple S-GmbH entwickelt, plant und baut als Systemanbieter geothermische Sonderanwendungen. Dabei ist eine Kernkompetenz des Unternehmens eine Weichenheizung für spurgeführte Verkehrssysteme. Die Weichenheizung kann unter Nutzung der Geothermie über das Erdreich oder das Grundwasser als Wärmequelle betrieben werden. In den innerstädtischen und industriellen Bereichen dient das Abwasser oder die industrielle Restwärme zum Betrieb der Weichenheizung.

Für die Sicherheit der Fahrgäste sowie für einen störungsfreien Fahrbetrieb wurde zudem eine geothermische Flächenheizung für Bahnsteige entwickelt, die sich gut mit der Weichenheizung kombinieren lässt.

Bei der Entwicklung der Systeme wurde vor allem Wert auf die Verfügbarkeit der Weichen gelegt und das unabhängig von extrem niedrigen Temperaturen in Verbindung mit starken Schneefällen. Die triple.s-Systeme haben mit dem Betrieb von Weichenhei-

zungen und Bahnsteigflächenheizungen eine hohe Verfügbarkeit von mehr als 99,5 % der Infrastrukturanlagen. Außerdem kann eine Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Produktion von bis zu 70 % erzielt werden.

Für das Weichenheizungssystem liegt seit dem 1. November 2011 die unbefristete Technische Freigabe für das gesamte Netz der Deutschen Bahn AG vor.

Das System Weichenheizung

Ein Basiselement der Geothermie-Weichenheizung ist eine bereits in den 1960er Jahren eingesetzte Heißwasserumlaufheizung mit wenigen energetischen Effizienzpunkten. So wurde die notwendige Wärme in den 60er Jahren von Heizölbrennern erzeugt, mit einwandigen und nicht isolierten Rohren an die Weiche geführt.

Das System triple.s nutzt als Wärmequelle jede technisch und wirtschaftlich sinnvoll zu erschließende Wärmequelle aus dem Technologiefeld der Geothermie und, sofern vorhanden, dauerhaft verfügbare Rest- und Überschusswärme.

Über einige Dutzend Meter tiefe Bohrungen wird entweder die Grundwasserwärme oder die Wärme der oberflächennahen Erdschichten angezapft. Eine neben dem Gleisbett aufgestellte, elektrisch betriebene Wärmepumpe hebt die in einem geschlossenen Kreislauf geführte Wärmetauscher-

flüssigkeit (Sole) auf Temperaturen von bis zu 50°C, die dann über selbst entwickelte Wärmetauscher an die sensiblen Teile der Weiche übertragen werden (Abb. 1).

Das System triple.s besteht aus drei Hauptkomponenten: Natur-Wärmequelle, Systemeinheit mit Wärmepumpe und Wärmetauscher („Heizkörper“ an der Schiene). Als Wärmequelle wird bei dem System die oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesonden, Energiekörben oder Wärmeentzug des Grundwassers oder der dauerhaft verfügbaren Restwärme genutzt. Die Systemeinheit mit Wärmepumpe wird mit effizienter und eigens entwickelter Regelungs- und Wärmetauschertechnik ausgestattet. Der Wärmetauscher transportiert die Wärme an die Schiene. Er wurde energetisch so optimiert, dass unerwünschte Wärmeverluste auf ein Minimum reduziert werden (Abb. 2).

Die Installation und Deinstallation der Wärmetauscher an der Schiene zu Wartungszwecken hat nur einen geringen Zeitbedarf und fügt sich damit in die bahntechnischen Vorgaben und Regelwerke optimal ein. So können die Wärmetauscher unter laufenden Betrieb der gesamten Anlage, ohne Verluste von Flüssigkeiten, abgebaut und wieder angebaut werden. Die Mitarbeiter der DB Netz AG aus dem Anlagenmanagement können nach einem geringen Schulungsaufwand die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten selbstständig durchführen.

Die Problematik, dass die Eisenbahnbetreiber unterschiedliche Schienenformen in unterschiedlichen Dimensionen verwenden, wurde durch jeweils ein Wärmetauscherprofil für alle Haupt-Schienenformen auf der Welt gelöst. Das System kann bei allen vorhandenen Weichentypen eingesetzt werden, unabhängig von den Radien, den Schienenprofilen und der Art der Stellvorrichtung.

Das System Bahnsteigflächenheizung

Das System nutzt die Bahnsteige als Wärmekollektor im Sommer. Sie sammeln die Strahlungsenergie der Sonne ein, um sie im Untergrund zwischenzulagern. Im Winter wird die gespeicherte Energie wieder abgerufen, um die Bahnsteige und alle dazugehörigen Verkehrsflächen schnee- und eisfrei zu halten.

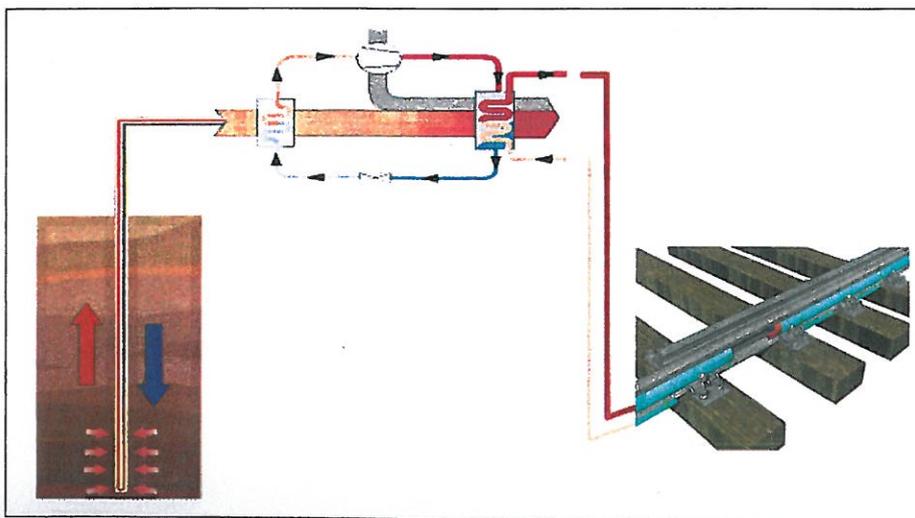


Abb. 1: Systemdarstellung Weichenheizung

Die saisonale Speicherung der solaren Wärmeenergie im Untergrund kann im Wesentlichen durch zwei unterschiedliche Varianten erfolgen, nämlich dem Grundwasserspeicher und dem Erdwärmesondenspeicher. Dieser Speicher wird als saisonaler Wärmespeicher bezeichnet.

Die Variante Grundwasserspeicher nutzt einen natürlich im Untergrund vorhandenen Grundwasserleiter zur Speicherung der aus den Freiflächen gewonnenen Wärme. Der Grundwasserleiter wird über Brunnen erschlossen. Im Sommer wird das geförderte Grundwasser durch ein in die Bahnsteigflächen eingelassenes Rohrsystem erwärmt und in den Untergrund eingespeist. So entsteht ein Wärmepool um den Infiltrationsbrunnen. Im Winter wird der Kreislauf umgedreht und das im Sommer erwärmte Grundwasser gefördert sowie die darin enthaltene Wärme genutzt. Grundwasserkreislauf und Heiz- bzw. Kühlkreis der Bahnsteigflächen sind dabei über einen zwischengeschalteten Wärmetauscher und/oder eine Wärmepumpe voneinander hydraulisch getrennt. Über einen Zeitraum von mehreren Jahren betrachtet bilden sich wärmere und kältere Regionen im Grundwasserleiter aus. Je nach Randbedingung sind jedoch auch andere Systemkonzeptionen mit mehreren Entnahme- und Infiltrationsbrunnen denkbar. Vorteile des Verfahrens sind die im Verhältnis zu Erdwärmesondenspeichern niedrigeren Investitionskosten sowie die Gewinnung großer Wärmeenergiemengen unabhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins im Untergrund. Daher ist der Einsatz der Variante Grundwasserspeicher vor allem bei großen Projekten mit Wärmeleistungen über 100 kW sinnvoll.

Allerdings ist das Verfahren nicht überall einsetzbar, da an den Untergrund bestimmte Mindestanforderungen gestellt werden. So darf die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers nicht zu hoch sein. Des Weiteren stellen lokale Grundwasserchemie und wasserrechtliche Genehmigungsfähigkeit weitere Hürden des Verfahrens dar.

Zur Wärmespeicherung im Untergrund können auch Erdwärmesondenspeicher genutzt werden. Durch ein in die Freiflächen integriertes System von Rohren und Wärmetauschern wird die im Sommer entstehende Wärme aufgenommen und mittels Erdwärmesonden in tiefere Gesteinsschichten abgeleitet. Die direkte Umgebung der Erdwärmesonden erwärmt sich dadurch um mehrere Grad (Abb. 3 links). Die Wärmespeicherung erfolgt dabei in der Regel im Festgestein. Je nach Sonden-anordnung ist es möglich, ein kompaktes, vorher definiertes Gesteinsvolumen zu erwärmen und als Speicher zu nutzen. Im Gegensatz zum Grundwasserspeicher- verfahren handelt es sich dabei um ein

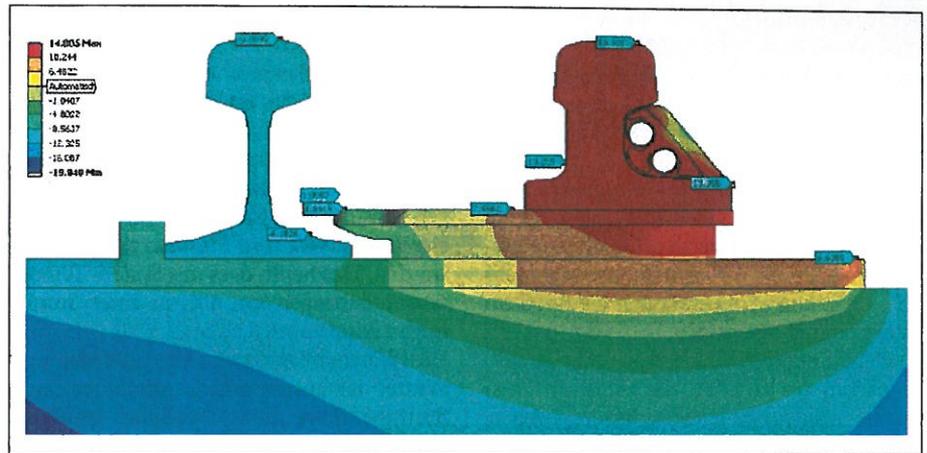


Abb. 2: Anwendung der Finiten-Element-Methode

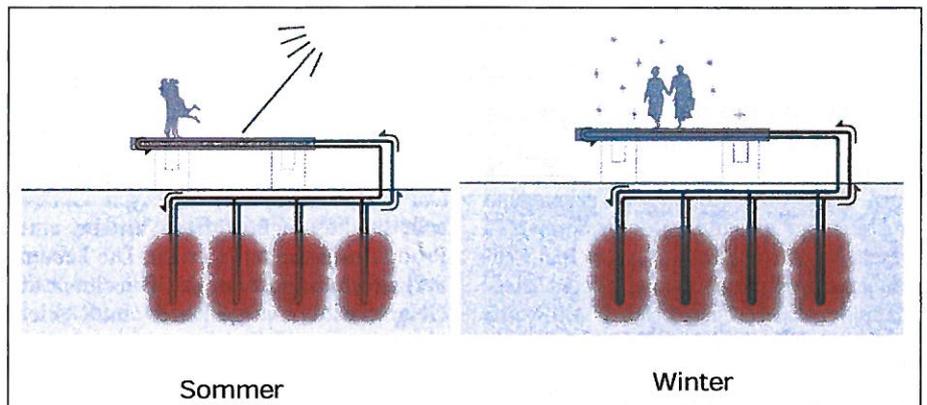


Abb. 3: Bahnsteigflächenheizung – Erdwärmesondenspeicher im Sommer (links) und im Winter (rechts)

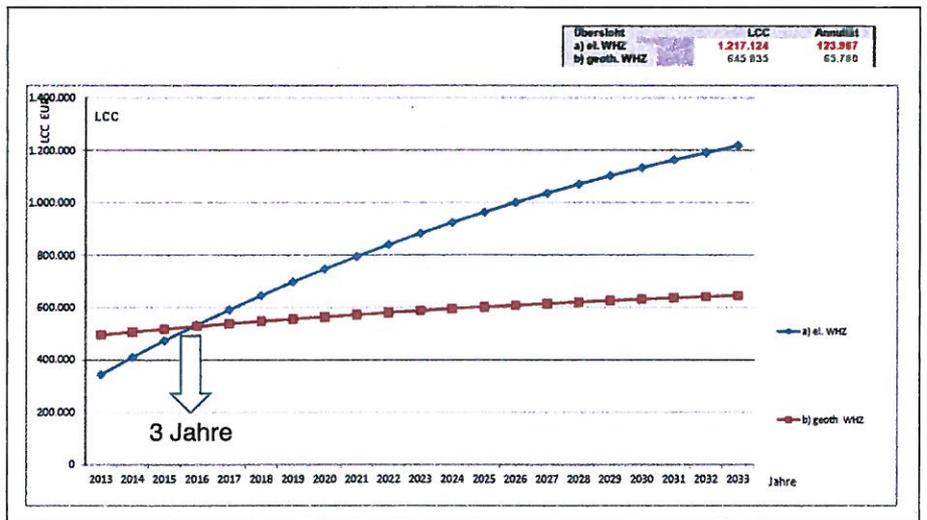


Abb. 4: Grafische Darstellung der Lebenszykluskosten Weichenheizung

geschlossenes Kreislaufsystem ohne Kontakt zum Grundwasser. In den Erdwärmesonden zirkuliert als Wärmeträger ein Gemisch aus Frostschutzmittel auf Glykollbasis und Wasser.

Wie beim Grundwasserspeicher kehrt sich der Prozess im Winter um, allerdings ohne dass die Zirkulationsrichtung des Wassers in den Rohrleitungen geändert werden muss.

Die Sonden entziehen dem Untergrund die gespeicherte Wärme und geben sie über ein Rohrsystem an die zu beheizenden Flächen ab (Abb. 3 rechts).

Limitierende Faktoren können gemäß VDI 4640 die geringe Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, schnell fließendes Grundwasser sowie wasserrechtliche Genehmigungsfähigkeit darstellen.

Referenzanlagen der Weichenheizungen

In Deutschland wurden vier Bahnhöfe und in Russland ein Bahnhof mit dem triple.s-System ausgerüstet. Die älteste Anlage läuft seit sechs Wintern. An allen Anlagen konnte eine uneingeschränkte Verfügbarkeit der Weichen mit Energieeinsparungen bis zu 70 % nachgewiesen werden. Gerade in Russland mussten die Anlagen Temperaturen bis zu -40°C und Schneefallraten bis zu 10 cm in der Stunde bewältigen.

Auch bei intensiven Schneefällen war die Verfügbarkeit der Weichen, die mit den triple.s-Systemen ausgerüstet waren, immer gegeben, während die Weichen mit einer elektrischen Weichenheizung im Vergleich eine weitaus geringere Verfügbarkeit aufwiesen.

Im Jahr 2014 gehen rund 20 neue Weichenheizungen in verschiedenen Regionen Deutschlands in Betrieb.

Referenzanlage der Bahnsteigflächenheizung

Der Haltepunkt Bad Lauterberg/Barbis im Harz wurde im Sommer 2005 gebaut und im Dezember 2005 in Betrieb genommen. In diesem Projekt wurde zum ersten Mal weltweit eine geothermische Bahnsteigflächenheizung realisiert. Dieser Haltepunkt wurde für das Pilotprojekt ausgewählt, weil dort ein völlig neuer Haltepunkt entstand. Er liegt an der Strecke zwischen Göttingen und Nordhausen in einem Gebiet, in dem im Winter mit regelmäßigen Schneefällen zu rechnen ist.

Im Folgenden sind die einzelnen Projektphasen aufgelistet:

- Vorerkundungen inklusive Erkundungsbohrung, Pumpversuch und Variantenstudie zur Ermittlung potenzieller geothermischer Nutzungsmöglichkeiten,
- Systemauslegung und Detailplanung,
- Erdwärmesondenbohrungen (9 x 200 m), Sondereinbau und Fertigung der Bahnsteigplatten,
- Erstellung der Gründungsfundamente des Haltepunktes und Verlegung der Fertigteilplatten,
- Installation der Rohrleitungen und Anbindung der Bahnsteigplatten,
- Installation der technischen Anlagenteile (Umwälzpumpe usw.) im Betriebsgebäude,
- Befüllung des Heizungssystems mit dem Wärmeträger sowie
- Installation der Gebäudeautomations-technik inkl. Anlagensteuerung.

Die wesentlichen Planungs- und Auslegungsgrößen sind:

- spezifische Sondenentzugsleistung: 50 W/m,
- maximale Heizleistung (Wärmestromdichte q): 130 W/m²,
- Bahnsteigfläche: 620 m²,
- Betriebsbeginn: $\leq 3^{\circ}\text{C}$,

- Jahresheizleistung: ca. 155 000 kWh/Jahr sowie
- minimale Einspeicherung im Sommer: ca. 110 000–130 000 kWh/Jahr.

Durch Auswertung bestimmter Schneefall und Abtauereignisse wurde die Reaktionszeit des Systems auf Temperaturänderungen bestimmt. Es kann von einer Zeitkonstante von etwa fünf Stunden ausgegangen werden. Das heißt, dass das System Temperaturänderungen um 1°C in einer Stunde folgen kann.

Die Wärmebilanz zwischen Sommer und Winter ist ausgeglichen. Mit einer langfristigen Erwärmung bei einer größeren Wärmeeinspeicherung in den Untergrund bzw. einer langfristigen Abkühlung bei zu hohem Wärmeentzug im Winter ist nicht zu rechnen.

Die geothermische Bahnsteigheizung konnte während der gesamten Pilotphase nahezu störungsfrei betrieben werden.

Lebenszykluskosten der Weichenheizungen

Mit dem Konzept des Lifecycle Costing soll die kostengünstigste Variante eines Produktes gefunden werden. Die Lebenszyklusrechnung ist auf das Errechnen der Gesamtkosten ausgerichtet und reicht über die gewöhnliche kurzfristige Kostenrechnung hinaus. Dabei werden neben den reinen investiven Kosten auch die Betriebskosten wie die Energiekosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten über einen Zeitraum von 20 Jahren für eine Weichenheizung betrachtet. Neben dem Kapitalwert und der Annuität werden auch die Preissteigerungen in der Beschaffung der Energie mit in die Betrachtungen eingerechnet.

Die Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) geschieht in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem Infrastrukturmonitoring der DB Netz. Dazu wird ein von der DB Netz entwickeltes Berechnungsprogramm verwendet (Abb. 4).

Durch die Nutzung der kostenlosen und CO_2 -neutralen Umweltwärme sind die LCC von triple.s-Systemen extrem niedrig. Der Energieverbrauch der Anlagen liegt um bis zu 70 % unterhalb des Verbrauchs von konventionellen Systemen und das bei höherer Verfügbarkeit der Weichen. Darüber hinaus sind die Instandhaltungsarbeiten durch die Verwendung hochwertiger Bauteile, die Selbstregulierung bei Störungen und die Steuerung per Modem sehr niedrig. Eine Wärmepumpe ist zudem eine Technik, die keiner Wartung bedarf. Dies führt zu Amortisationszeiten von weniger als drei Jahren bei einer Bündelung mehrerer Weichenheizungen auf einer Anlage.

Im Gegensatz zu den Wärmerohren auf Basis von natürlichen Kältemitteln wie z. B.

das CO_2 können die eingesetzten Erdwärmesonden oder Energiekörbe im Sommer durch die Speicherung der solaren Gewinne von der Oberfläche thermisch regeneriert werden. Dadurch verlängert sich die Lebensdauer bei diesen Wärmequellen auf mehr als 50 Jahre.

Lebenszykluskosten der Bahnsteigflächenheizung

Da kein linearer Zusammenhang zwischen den Investitionskosten des geothermisch beheizten Bahnsteigs und seiner Gesamtfläche besteht, ist eine Umrechnung der Kosten auf die Bahnsteigfläche bzw. eine Kostenangabe in EUR pro Quadratmeter Bahnsteig nicht sinnvoll. Es kann davon ausgegangen werden, dass je größer der Bahnsteig ist, desto geringer die zusätzlichen Kosten für die Installation des Heizungssystems werden.

Die Investitionskosten für den Bahnsteig in Barbis in konventioneller Bauweise ohne Heizungssystem liegen bei ca. 0,9 Mio. EUR und die des beheizten Bahnsteigs bei ca. 1,1 Mio. EUR. Zusätzlich fallen bei einem konventionellen Bahnsteig folgende jährliche Betriebskosten an:

- Winterdienst ca. 4 EUR/m² Bahnsteigfläche (lt. Angaben von DB Station und Service AG), bei 620 m² für den Haltepunkt Barbis ca. 2500 EUR/Jahr,
- Bahnsteigreinigung/Zugreinigung durch Verschmutzung mit Streusalz und Splitt wird mit ca. 50 % der Winterdienstkosten abgeschätzt = ca. 1250 EUR/Jahr.

In der Summe ergeben sich Betriebskosten von ca. 3750 EUR/Jahr. Diese direkt bezifferbaren laufenden Kosten können bei einem geothermisch beheizten Bahnsteig eingespart werden.

Demgegenüber stehen die jährlichen Betriebskosten eines Bahnsteigs mit geothermischer Bahnsteigheizung. Nach dem Probetrieb sind mit folgenden jährlichen Betriebskosten zu rechnen:

- Stromkosten der Umwälzpumpen liegen bei rund 800,00 EUR pro Jahr.
- Kosten für Wartung und Instandsetzung ca. 1 % der Materialkosten für die Heizungssysteme von ca. 35 000 EUR = ca. 350 EUR/Jahr.
- Die Gesamtbetriebskosten für einen geothermisch beheizten Bahnsteig betragen damit ca. 1150 EUR pro Jahr.

Die oben angeführten Betriebskosten bezüglich Winterdienst und Bahnsteigreinigung bei einem konventionellen Bahnsteig zählen zu den direkt quantifizierbaren Einsparungen.

Darüber hinaus ergeben sich durch eine Beheizung des Bahnsteigs eine Reihe weiterer Einsparungen und Vorteile:

- Um mindestens 30 % verlängerte Lebensdauer der Bahnsteigplatten, dadurch dass der Beton keinen extremen

Temperaturschwankungen mehr ausgesetzt ist. Das System kühlt die Platten im Sommer und erwärmt sie im Winter. Frost- und Tausalzschäden, wie sie beim herkömmlichen Winterdienst auftreten, entfallen.

- Einsparung von umweltschädlichem Streusalz bzw. sonstigen Enteisungsmitteln, welche in der Regel beim konventionellen Winterdienst eingesetzt werden. Die Belastung der Umwelt durch Streusalz entfällt.
- Die Nutzung von Erdwärme als regenerative Energieform bringt einen Imagegewinn als innovatives und umweltfreundliches Unternehmen.
- Die Sicherheit der Fahrgäste und damit die Kundenzufriedenheit sind erhöht, was zu einer besseren Auslastung der Züge führt.

Nach Richtlinie 217.0103A01 Anlagenklasse 34-10 ergibt sich für konventionelle bzw. Fertigbetonteile-Bahnsteige eine durchschnittliche Lebensdauer von 25 Jahren. Aufgrund der oben genannten temperatursausgleichenden Wirkung des Heizungssystems auf die Betonplatten erhöht sich deren Lebensdauer um mindestens 30 % auf 32,5 Jahre.

In den berechneten Jahreskosten finden die nicht monetären Imagevorteile und die erhöhte Kundenzufriedenheit keine Berücksichtigung. Diese können jedoch langfristig zu einem deutlich größeren Kostenvorteil für die DB führen. Insbesondere dann, wenn auch auf höher frequentierten Bahnstrecken geothermisch beheizte Bahnsteige realisiert werden und wenn auf ganzen Strecken die Vorteile von deutlich geringer werdender Zugreinigung und Verschleiß z. B. von Türschließen durch Streusalz und Split zum Tragen kommen.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil bei der Anwendung geothermischer Energie ist die erhöhte Kostensicherheit für Nutzer und Betreiber aufgrund der Unabhängigkeit von schwankenden Preisen auf dem Energiemarkt.

Ausblick

Durch eine ständige Weiterentwicklung der Wärmetauschertechnologie (Schlüsseltechnologie für die Weichenheizungssysteme) wird eine weitere Reduktion der Vorlauftemperaturen für das Weichenheizungssystem triple.s erzielt.

Mit der Schwihag AG wird eine beheizbare Gleitstuhlplatte entwickelt. Die Beheizung der Gleitstuhlplatte kann sowohl mit Flüssigkeiten als auch mit stromgeführten Systemen erfolgen. Dadurch können Weichen in extremen Klimazonen mit dem System triple.s bestückt werden. Weiterhin wird der Eisabwurf auf allen Strecken der Welt wesentlich effizienter abgeschmolzen.

Die Systeme können bei allen vorhandenen Weichentypen eingesetzt werden, unabhängig von den Radien, den Schienenprofilen und der Art der Stellvorrichtung. Für Weichen mit reduziertem Zungenprofil und für Straßenbahnen ist ein speziell entworfener Gleiswärmetauscher erhältlich. Die Entwicklung und Produktion findet in enger Zusammenarbeit mit der Rheinbahn AG statt.

In der Kombination von Weichenheizungen mit Bahnsteigflächenheizungen liegt ein weiterer großer wirtschaftlicher Mehrerfolg. In Deutschland sind ein Projekt in der Light-Rail-Sparte und ein Projekt mit der Vignolschiene in der Entwurfsplanung. In Polen und Tschechien stehen diese Kombinationen kurz vor der Ausführungsplanung.

Gerade bei der Nutzung des beschriebenen Systems für Straßenbahnen können hervorragende wirtschaftliche Lösungen in Verbindung mit der Nutzung des Abwassers als Wärmequelle im städtischen Bereich projektiert werden. Die Beheizung der Bahnsteige und Gehwege kann als zusätzlicher Gewinn ohne größere zusätzliche Kosten realisiert werden.

Trotz zum Teil extremer Wetterbedingungen (starke Schneefälle in Verbindung mit tiefen Temperaturen und Verwehungen) in den vergangenen Jahren hatten Geothermie-Weichenheizungssysteme keinerlei Systemausfälle, waren unter allen Bedingungen problemlos funktionsfähig und die Weichen waren immer verfügbar.



Michael Funke

Geschäftsführender Gesellschafter
Triple S-GmbH, Eichenau
michael.funke@triplesgmbh.de

Summary

Geothermal energy – special Infrastructure applications

The systems supplied by Triple S-GmbH are based on the use of environmental and process heat for the operation of turnout and surface heatings. A heat source, a heat pump and a heat exchanging system are linked to an intelligent monitoring and control system with a targeted 70 % reduction in energy consumption and CO2 production compared to conventional turnout heating systems while improving turnout availability. Evidence has already been given for the first 15 systems installed in Germany and Russia in regular railway operation. After the first years of operation, a platform surface heating test project has demonstrated that the system works without disruption for a train stop heated by geothermal energy.

DER EISENBAHN INGENIEUR

THEMENSCHWERPUNKTE:

Ausgabe Nr. 11/14

- Mustererkennung bei der Weichendiagnose
- Optimierung der Spannprozesse in der Spannbetonschwellenfertigung
- Risiken in der Abwicklung von LST-Projekten
- 50 Jahre Feste Fahrbahn in der Schweiz
- Überblick über Bettungsreinigungsmaschinen Nahverkehr auf der Schiene
- Planungsprozesse mit PlanPro

Erscheinungstermin: 10.11.14

Anzeigenschluss: 20.10.14

Ausgabe Nr. 12/14



Ausführliche Messenachlese von der 10. InnoTrans

- Elektronisches Interlocking
- BlueEvolution – nachhaltiges Schweißen im Lokomotivbau
- Inspektion und Instandhaltung von Weichen
- Personal und Weiterbildung

Erscheinungstermin: 8.12.14

Anzeigenschluss: 10.11.14

Ausgabe Nr. 1/15

**Jahreseröffnungsausgabe:
Branchenausblick mit Statements aus Politik,
Verbänden und Industrie**

**Offizielle Tagungsausgabe zur VDEI-Eisenbahntechnischen
Fachtagung und Tiefbautagung**

- Mechanische Bodenstabilisierung
- Bahnstrukturreform in Frankreich
- Geogitterbewehrte Stützkonstruktionen
- Früherkennung von Instabilitäten am Gleiskörper

Erscheinungstermin: 8.1.15

Anzeigenschluss: 10.12.14

Haben Sie Fragen?

Kontakt: Silke Härtel

Telefon: +49/40-23714-227

E-Mail: silke.haertel@dvvmedia.com