

Gespeicherte Sonne schmilzt das Eis auf der Strassenbrücke

Wenn die Temperaturen sinken, wächst die Gefahr der Vereisung von Strassen und Brücken. Mit der im Sommerhalbjahr gespeicherten Sonnenenergie kann im Winter der Strassenbelag temperiert werden, so dass sich eine Eisbildung verhindern lässt. Mit einem neu entwickelten Berechnungsprogramm können die örtlichen Verhältnisse simuliert werden.

Vereisende Strassen sind gefährlich. Tiefe Lufttemperaturen und genügend Luftfeuchtigkeit reichen, um die Fahrbahn einer Brücke zum Sicherheitsrisiko zu verwandeln. Mit Bodenheizungen kann dieses zwar vermindert werden, die Frage nach einer nachhaltig nutzbaren Energiequelle muss aber sorgfältig beantwortet werden.

Am Thunersee seit Jahren im Einsatz

Bereits 1994 wurde auf einer Nationalstrassenbrücke bei Därligen am Thunersee ein interessantes Pilotprojekt verwirklicht, das die sommerliche Wärme im Bodenbelag aufnimmt und in einen nahe gelegenen Felspeicher führt. Dieser saisonale Speicher dient im Winter zur gezielten Erwärmung des Strassenbelags und vermeidet damit Vereisungen auf der Brücke. Die Anwendung solcher Systeme wäre an vielen Orten denkbar, für einen breiteren Gebrauch werden aber geeignete Berechnungs- und Simulationswerkzeuge benötigt.

Dieses von der Zürcher Polydynamics Ltd. entwickelte System, Serso (Sonnenenergie-Rückgewinnung aus Strassenoberflä-



Auf einer Nationalstrassenbrücke bei Därligen am Thunersee wurde bereits 1994 das Serso-Pilotprojekt verwirklicht: Sonnenenergie-Rückgewinnung aus der Strassenoberfläche und Energiespeicherung im Felsen. (Bilder: Polydynamics Engineering)

chen) genannt, wurde vom Tiefbauamt des Kantons Bern in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strassenverkehr realisiert. Von 1994 bis 1997 konnte zunächst die Funktionalität des Systems geprüft werden, danach startete man eine Langzeit-

auswertung der Messkampagne. Es hatte sich erfreulicherweise gezeigt, dass der 55 000 Kubikmeter umfassende und thermisch isolierte Felspeicher in den ersten Betriebsjahren nie ganz entladen wurde. Die Berner Fachhochschule in Burgdorf hat später mit Unterstützung des Bundesamts für Energie (BFE) eine weitere Messkampagne durchgeführt.

Es wurde zudem auch deutlich, dass für eine allgemeine Systemauslegung, für die Dimensionierung der Rohrregister zur Wärmeaufnahme im Bodenbelag, für das Speichervolumen in der Erde usw. geeignete Simulationswerkzeuge entwickelt werden sollten.

Berechnungswerkzeug für breitere Anwendung

Im Forschungsbereich Geothermie des BFE wurden gleichzeitig Untersuchungen von Erdwärmesonden und entsprechender Speichercharakteristika durchgeführt. So hat sich Dr. Daniel Pahud von der Tessiner Fachhochschule SUPSI dieser Thematik angenommen: «Auf der Grundlage unserer Kenntnisse von Berechnungswerkzeugen für Erdwärmesondenfelder haben wir die Entwicklung eines Simula-



In der Fahrbahn verlegte Rohrschlaufen dienen im Winter der Oberflächentemperierung.

tionsinstruments für Serso begonnen. Damit verbunden ist die Definition der entscheidenden Parameter für die Auslegung einer solchen Anlage.»

Durch die Nutzung der Sonnenenergie und deren geothermische Speicherung im Untergrund kann die Fahrbahnerwärmung im Winter mit einem Minimum an zusätzlicher Energie bewerkstelligt werden. Einzig für die Mess- und Steuereinrichtung sowie den Antrieb der Umwälzpumpen ist Elektrizität notwendig.

Viele Abhängigkeiten berücksichtigen

Im Rahmen des BFE-Forschungsprogramms Solarspeicherung wurde von Daniel Pahud zunächst eine vereinfachte Version des Berechnungsprogramms BRIDGESIM geschaffen. Mit diesem lassen sich in einem ersten Schritt die Heizkurven für die Brückentemperierung festlegen. Danach können die weiteren Einflussgrößen definiert werden: Sondenabstände, Solargewinn-Steuerung, Länge der Erdwärmesonden und deren Tiefe, Wärmeleitfähigkeit des Felsens, Bohrungsdurchmesser, Isolationsschicht unter der Brücke und der Einbau des Rohrregisters im Brückenbelag. Alle diese Parameter beeinflussen sich gegenseitig, müssen also bei der Auslegung eines Systems berücksichtigt werden und bestimmen dann den erreichbaren Wirkungsgrad.

Ausgehend von den Heizkurven, mit welchen die erforderliche Brückentemperierung in Abhängigkeit von der Lufttemperatur definiert wurde, begannen die Projektarbeiten. Die Brücke wird erwärmt, wenn die Aussenluft $+4\text{ °C}$ unterschreitet. Die Beheizung wird dann linear bis -4 °C fortgesetzt. Von da an bis -8 °C erfolgt eine konstante Wärmezufuhr mit gespeicherter Energie; ab -8 °C stoppt man diese.

Ein Kriterium: die spezifische Sondenlänge

Die Berechnungen haben ergeben, dass ein spezifischer Wert von 4,6 Meter Sondenlänge pro Quadratmeter beheizter Brückenfläche das beste Resultat darstellt ($4,6\text{ m/m}^2$). Damit korrespondiert dieser Wert mit den realen Verhältnissen des Serso-Systems in Därligen. Zur Validierung des mit diesem Forschungsprojekt entwickelten Simulationswerkzeugs konnte man auf die zur Verfügung stehenden Messresultate und das ursprüngliche Dimensionierungswerkzeug zurückgreifen. Pahud: «Wir konnten somit das Berechnungsprogramm so gestalten, dass auch für weitere Standorte mit anderen Rahmenbedingungen gültige Aussagen zur Machbarkeit, Effizienz und zu den erforderlichen Investitionen möglich sind.»



Der 55 000 Kubikmeter umfassende und thermisch isolierte Felsspeicher nimmt die sommerliche Wärme auf und gibt sie im Winter zur Fahrbahntemperierung ab.

Unterschiedliche Parameter entscheiden über die Anwendung

Mit diesem Simulationswerkzeug wurden anschliessend auch andere Standorte untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass die notwendige Sondenlänge nicht nur sehr stark von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds abhängig ist, sondern auch vom Wärmebedarf für die Vereisungsverhinderung auf der Brücke. Untersucht wurden aber ebenso die Einflüsse einer Brückenisolation und die Abstände der verlegten Rohre. Mit stärkerer Isolierung und engerer Anordnung der Rohrschlaufen sind im Erdspeicher kürzere oder weniger Erdwärmesonden notwendig.

Die topografischen und meteorologischen Daten der verschiedenen Standorte dienen zur Berechnung von Varianten der Wärmeleitfähigkeit des genutzten Felsens. Mit einer gewählten Varianz von 1 bis 4 W/mK kann sich die spezifische Sondenlänge halbieren. Die Eigenschaften des Untergrunds spielen für die Dimensionierung von Sonden und Felsspeicher eine zentrale Rolle. Sonneneinstrahlung und Untergrund zusammen entscheiden über eine sinnvolle Anwendung einer Strassentemperierung.

Während die Berechnung von Faido TI dem Därligen-Projekt mit ähnlichen Werten nahe kommt, hat für den Standort Zürich der niedrigere Wärmebedarf deutlich geringere Werte bei der spezifischen Sondenlänge erbracht. Hier wären Brückentemperierungen durchaus im Vorteil. Für Wassen UR sind hingegen weit höhere Werte berechnet worden, so dass die Limiten des Systems überschritten werden. Gleiches gilt für den Standort Stockholm (Schweden), bei welchem über 200 kWh/m^2 und Jahr nötig sind. In diesem Fall wäre eine spezifische Sondenlänge von weniger als 10 m/m^2 nur möglich, wenn die

Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds deutlich mehr als 4 W/mK erreichen würde.

Bei diesem Forschungsprojekt konnte Pahud wertvolle Synergien nutzen: «Durch unsere geothermischen Untersuchungen einzelner Erdwärmesonden und der Wirkungen von Sondenfeldern sowie von Energiepfählen, wie sie beispielsweise beim Dock E auf dem Zürcher Flughafen eingesetzt werden, haben wir Erkenntnisse gewonnen, die nun auch für diese Anwendung eines Felsspeichers nutzbar sind.»

Saisonaler Speicher für die Fahrbahntemperierung

Während die technische Machbarkeit sowohl durch das Pilotprojekt als auch durch die Weiterentwicklung der Planungs- und Simulationsprogramme gegeben ist, wird die Wirtschaftlichkeit noch in Frage gestellt. Eine Machbarkeitsstudie zum Serso-Plus, einem adaptierten System mit geringeren Kosten von Polydynamics Engineering, konnte eine positive Kosten-Nutzen-Analyse liefern. Vereisungsgefahren mit gespeicherter Sonnenenergie zu begegnen, stellt also eine durchaus vernünftige Lösung dar.

Jürg Wellstein

Kontakte: Dr. Daniel Pahud, Projektleitung, SUPSI-DACD, ISAAC, 6952 Canobbio, daniel.pahud@supsi.ch; BFE-Forschungsprogramm Geothermie: Markus Geissmann, Bereichsleiter, markus.geissmann@bfe.admin.ch, www.geothermie.ch; BFE-Forschungsprogramm Solarspeicherung: Jean-Christophe Hadorn, Programmleiter, jhadorn@baseconsultants.com; Informationen zur Energieforschung: Jürg Wellstein, Fachjournalist SFJ, Wollbacherstrasse 48, 4058 Basel, wellstein.basel@bluewin.ch