

ZWEI UNGEWÖHNLICHE THERMISCHE UNTERGRUNDSPEICHER IN DEN NIEDERLANDEN UND DER SCHWEIZ

Burkhard Sanner*

Two still uncommon underground thermal energy storage (UTES) concepts are described, using examples from the Netherlands and Switzerland. For the new campus of the University of Utrecht, „De Uithof“, electricity is generated by heat/power-cogeneration. The engines have to work in summer too, and the resulting heat is stored in an aquifer more than 210 m (680 ft) deep to assist heating in winter. Loading temperature of the store is up to 90 °C (194 °F). The plant is operational since 1991, and chemical treatment of groundwater (using ion-exchange) did prove vital. High temperature UTES can have a good potential for storing waste heat or as heat stores in district heating. In Switzerland, a road bridge on the shores of Lake Thun is heated in winter to prevent building up of ice. The heat for heating pipes in the road surface is supplied by a borehole store consisting of 91 borehole heat exchangers, each 65 m (210 ft) deep. Heat source for the store is the road itself: in summer solar radiation heats the surface to more than 60 °C (140 °F), which allows storage loading temperatures of 35 °C (95 °F). The system was set into operation in summer 1994, and had its first full loading/heating cycle summer 1995 and winter 1995/96. A similar system now is under construction in USA, to heat a highway bridge in Amarillo, Texas.

Wiederholt wurde in der GtE über thermische Energiespeicherung im Untergrund berichtet, so aus Deutschland (Sanner, 1994; Bußmann, 1995), den Niederlanden (Bakema & Sanner, 1995), Schweden (Sanner, 1994), der Schweiz (Kapp, 1996) und den USA (Sanner & Stiles, 1995). Bei den genannten Anlagen handelte es sich um solche mit relativ niedrigen Speichertemperaturen, die über Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen verwendet werden, oder um reine Kältespeicher wie die niederländischen Anlagen. Bei Bußmann (1995) wird jedoch bereits auf einen Hochtemperaturspeicher hingewiesen

Hochtemperatur-Aquiferspeicher der Universität Utrecht, Niederlande

Auf dem Campus „De Uithof“, der hauptsächlich die Naturwissenschaften und das Klinikum beherbergt, hat die Universität etwa 360.000 m² Nutzfläche in 31 Gebäuden. Aus der Gasheizung werden jährlich 351.220 GJ Wärme benötigt. Wegen des hohen Strombedarfs (mehr als 49 GWh) wurden 1990 zwei BHKW's mit zusammen 7,55 MW elektrischer Leistung installiert (Abb. 1). 1995 erzeugten dies BHKW's etwa 49 GWh Strom und konnten so fast den gesamten Strombedarf des Campus decken (wegen zeitweiliger Spitzen muß jedoch auch Strom aus dem Netz gekauft bzw. dorthin abgegeben werden). Der Wirkungsgrad betrug 1995 für Strom 34,2 % und für Nutzwärme 48,1 %, was bei gleichzeitiger weitgehender Strombedarfsdeckung auch im Sommer nur durch den Speicher zu erreichen war.

Die BHKW's werden automatisiert betrieben (wie ein Kessel) und arbeiten wärmegeführt. Wird dabei im Winter mehr Strom produziert als im Campus benötigt, wird er an das Netz verkauft. Der Speicher erfüllt zwei Funktionen: Im Sommer Langzeit-Wärmespeicher, im Winter Kurzzeitspeicher zur Pufferung ungleichen Wärme-/Strombedarfs. Der Speicher besteht aus zwei ca. 30 m voneinander entfernten Brunnen (Abb. 2), die einen Aquifer zwischen 210 und 270 m Tiefe erschließen. Es handelt sich dabei um das dritte, bereits leicht brackische Grundwasserstockwerk, wel-



Abb. 1: Eines der beiden BHKW-Gebäude; die Maschinen und Kessel sind radial um den zentralen Abgasturm angeordnet. (Foto: Sanner)

ches für die Trinkwassergewinnung ungeeignet ist. Das Wasser wird mit bis zu 90 °C eingeleitet und mit 83-51 °C zurückgewonnen.



Abb. 2: Brunnenhäuschen eines der beiden Speicherbrunnen auf einem Parkplatz, im Hintergrund Institutsgebäude der Universität (Foto: Sanner)

Die Anlage ist bereits 1991 in Betrieb gegangen, und der Autor konnte fünf Jahre nach einem ersten Besuch 1991 die Anlage im Frühjahr 1996 erneut besuchen und sich über die Betriebserfahrungen informieren.

Bei derart hohen Temperaturen ist der Grundwasserchemismus besonders zu beachten. Ein Ca/Na-Ionentauscher vor den Wärmeübertragern wurde eingebaut. Entsprechende Dosierungen können Kalkausfällungen sicher verhindern. Allerdings haben die Na-Ionen ungünstige Auswirkungen im Aquifer: Manche Tonminerale haben bei der Belegung mit verschiedenen Anionen unterschiedliche Basisabstände. So schwellen sie bei einem Austausch von Ca- gegen Na-Ionen i.d.R. an. Dies geschah auch in Utrecht, nachdem Na-reicherer Wasser nach dem Ionenaustausch in den Speicher eingeleitet wurde. Der Aquifer wurde langsam undurchlässiger, der Injektionsdruck stieg. In Utrecht wurde dies rechtzeitig bemerkt und fatale Folgen verhindert.

Während der gesamte übrige Betrieb weitgehend automatisiert werden konnte, benötigt der Ionentauscher noch manuelle Kontrolle. Regelmäßig muß das behandelte Wasser analysiert und der Ionentauscher entsprechend dosiert werden, um einerseits ausreichende Beseitigung von Ca-Ionen, andererseits aber kein Übermaß an Na-Ionen zu gewährleisten.

Der Speicher kostete 4,4 Mio. Hfl, von denen die Universität 1,95 Mio., die EU 1,65 Mio. und die Niederländische Energie- und Umweltorganisation NOVEM 1,8 Mio. beitrugen. Die Einsparung an Primärenergie zur Heizung reicht bei den sehr niedrigen Erdgaspreisen in den Niederlanden nicht aus, um den Speicher ohne Förderung wirtschaftlich zu machen. Nach Auskunft der Betreiber erweist sich der Speicher außerdem als zu klein, um die angebotene Wärmemenge auch über längere Zeiten aufnehmen zu können; eine Vergrößerung des Brunnenabstandes und eine größere Anzahl Brunnen wären für eine Optimierung erforderlich.

Dennoch zeigt der Hochtemperatur-Aquiferspeicher der Universität Utrecht, daß eine solche Anlage auch längerfristig zuverlässig und ökonomisch betrieben werden kann. In der Speicherung von Abwärme (auch aus Kraft-Wärme-Kopplung wie in Utrecht) oder als Speicher in Fernwärmenetzen kann dem Konzept ein gutes Potential bescheinigt werden, ist doch die Wärme bei der hohen Rückgewinnungstemperatur auch ohne Wärmepumpen vielseitig verwendbar. Auch mit Erdwärmesonden ist Wärmespeicherung bei höheren Temperaturen (80-90 °C) möglich, wie die Anlage der TU Luleå in Nordschweden mit 120 Bohrungen in Granit über fast 10 Jahre gezeigt hat (Nordell, 1990). In einigen neuen Projekten sind thermische Untergrundspeicher höherer Temperatur vorgesehen (s.a. Bußmann, 1995), und es kann erwartet werden, daß in den kommenden Jahren der praktische Erfahrungsschatz wachsen wird.

Speicher zur Straßenheizung „SERSO“ bei Därligen, Schweiz

Südlich von Därligen am Thunersee in der Schweiz verläuft die Nationalstraße N8 Richtung Thun aus einem Einschnitt heraus auf einen Hangviadukt mit leichter Linkskurve (Abb. 3). Im Winter liegt die Brücke weitgehend im Schatten, und durch die freie Exposition kann Wind die Straße so weit abkühlen, daß sich auf der Brückenfahrbahn im Winter häufig sehr schnell Glatteis bildete, während die anschließenden Strecken noch frei davon waren. Die Folge waren häufige, schwere Unfälle, die auch durch starken Einsatz von Salz und durch Installation eines Frühwarngerätes nicht verhindert werden konnten.



Abb. 3: Brücke (Hangviadukt) der N8 bei Därligen.
(Foto: Sanner)

Da die Straße durch die im Sommer höherstehende Sonne lange beschienen wird und sich dabei der Straßenbelag bis auf über 60 °C aufheizen kann, wurde der Gedanke eines saisonalen Speichers mit Nutzung der Straßenoberfläche als Sonnenkollektor, Wärmespeicherung in Erdwärmesonden, und Beheizung der Straßenoberfläche bei Glatteisgefahr in Betracht gezogen, und als „Sonnenenergie rückgewinnung aus Strassenoberflächen

(SERSO)“ realisiert (Anonymus, o.J.). Im Sommer 1994 war die Anlage betriebsfertig, noch im gleichen Sommer wurden Versuchsphasen mit Wärmeeinspeicherung gefahren. Bereits im Winter 1994/95 wurde die Straßenheizung betrieben, das erste komplette Jahr mit Ladephase (Sommer 1995) und Heizphase (Winter 1995/96) ging inzwischen erfolgreich zu Ende.

Die Anlage (Hopkirk et al., 1994) besteht aus den Rohrregistern in der Straßendecke, dem Erdwärmesondenspeicher (Abb. 4) und einem in den Hang gebauten Betriebsgebäude unter der Brücke (Abb. 5), in dem sich Verteiler, Pumpen, Steuerung und die Meßeinrichtungen für die Versuchsphase befinden. Die Kollektor- und Heizrohre aus Chromnickelstahl sind in einen Vermörtelungsbelag eingebettet, die noch von ca. 5 cm Asphaltbeton überdeckt wird. Kunststoffrohre kommen wegen der hohen Gewichtsbelastung so nahe unter der Straßenoberfläche nicht in Frage. Die Register sind in getrennte Kreisläufe für die berg- und talseitige Fahrbahn aufgeteilt und mit einem Wasser-/Glykolgemisch gefüllt.

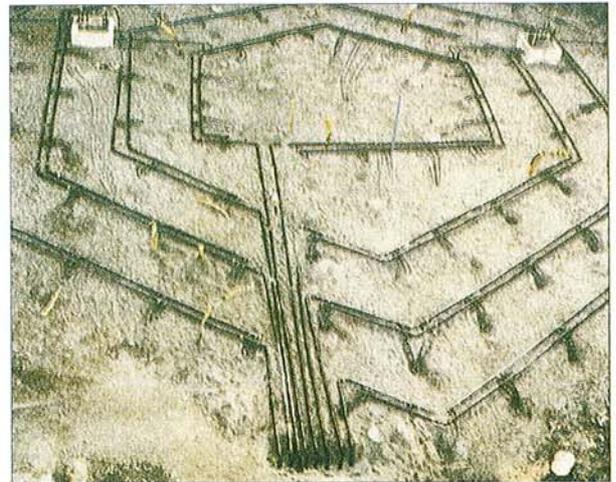


Abb. 4: Speicher SERSO im Bau. (Photo: Polydynamics)

Der Speicher besteht aus 91 Erdwärmesonden von je 65 m Länge, die in mehreren Kreisen im Abstand von je 3 m installiert sind (Abb. 4). Er befindet sich auf einer jetzt wieder mit einer Wiese bedeckten Terrasse im Hang neben der Brücke (rechts in Abb. 3). Der Speicher wurde mit Hilfe von Modellrechnungen ausgelegt. Bei der Verfüllung der Bohrungen wurde auf eine sehr kräftige Injektion geachtet, um auch Klüfte im Gestein zu schließen. Anders als bei erdgekoppelten Wärmepumpen ist Wärmetransport durch das Grundwasser hier nicht erwünscht, und nach Hopkirk et al. (1994) konnte durch die Verpressung eine 50-fache Minderung der Wasserdurchlässigkeit im Speicherbereich erreicht werden.

Messungen im Sommer 1994 zeigten, daß die Belagstemperatur Werte deutlich über 60 °C erreichte; wurde jedoch der Speicher betrieben, so konnte die Temperatur der Straßendecke auf etwa 45 °C gehalten und eine Rücklaufemperatur zum Speicher (Ladetemperatur) von fast 35 °C erreicht werden (Hopkirk et al., 1994). Die Abkühlung des Straßenbelags ist ein erwünschter Nebeneffekt, der die Aufweichung des Asphalts und damit die Bildung von Spurrillen vermindert. Während des Versuchsbetriebs im Sommer 1994 erbrachte die Straße als Sonnenkollektor bis zu 350 kW Spitzenleistung, bei nahezu durchgehendem Betrieb. In einer Betriebszeit von insgesamt 1650 Stunden wurden fast 180 MWh Wärme gespeichert.

Die Heizung wird nur bei Temperaturen um den Gefrierpunkt betrieben. Bereits bei Lufttemperaturen knapp über 0 °C kann es bekanntermaßen durch die Wärmeabstrahlung der Straßen-

oberfläche zu Glatteisbildung kommen. Unter etwa $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist die Luft dann jedoch so trocken, daß sich Glatteis nicht mehr bilden kann.



Abb. 5: Betriebsgebäude

Im Winter 1995/96 hat die Anlage zur vollen Zufriedenheit funktioniert. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ist schwierig aufzustellen, denn den Kosten für Bau und Betrieb der Anlage stehen eine ganze Reihe schwer quantifizierbarer Faktoren gegenüber:

- Reduktion von Unfällen mit Sachschaden, Verletzten und Toten
- Verminderung des Salzeinsatzes
- Geringere Umwelt- und Brückenschäden durch weniger Salz
- Längere Haltbarkeit der Straßendecke wegen Sommerkühlung

Eine erste Nachahmung hat die Anlage inzwischen in den USA gefunden. In Amarillo in der nördlichsten, hochgelegenen Ecke von Texas wird an einem Speicher für eine Highway-Brücke gebaut (Young Kim, 1996). 100 Erdwärmesonden von je 72 m Länge (235 ft) und zusätzlich noch vier horizontale Erdkolektorkreise dienen als Speicher. Insgesamt befinden sich etwa 75 m³ einer Wasser-/Glykol-Mischung 1:1 im System! Für Spitzenbedarf ist eine 210-kW-Wärmepumpe zwar vorgesehen, doch hofft man, ohne diese auszukommen. Auch andere US-Staaten zeigen Interesse, so sagte z.B. ein Sprecher der Oklahoma Turnpike Authority: „I think that eventually, it will be used everywhere once the cost goes down“ (Young Kim, 1996); zu deutsch: Ich glaube, daß es schließlich überall angewendet werden wird, wenn erst einmal die Kosten sinken.

In Europa gibt es auch außerhalb der Alpenregion Standorte, an denen eine energetisch günstige Straßenheizung nach dem Prinzip von SERSO Probleme lösen kann. In Deutschland existieren in den Mittelgebirgen Autobahnstrecken, die in kalte und schnee-reiche Höhenlagen vorstoßen und mit vielen Kunstbauten ausgestattet sind. Immer wieder kommt es zu folgenschweren Glatteisunfällen, wobei besonders die A 45 („Sauerlandlinie“) zwischen Gießen und Hagen traurige Berühmtheit erlangt hat. Hier durch einen Wärmespeicher die Verkehrssicherheit entscheidend zu erhöhen und auch den ökologisch unerwünscht hohen Streusalzeinsatz zu reduzieren, sollte eine Überlegung wert sein.

Der Autor dankt K. van der Heide für die Angaben zu den Betriebserfahrungen in Utrecht, Karl Hess für interessante Gespräche und die Führung bei SERSO, und Dr. Lynn Stiles für die Informationen zur Brückenheizung in Texas.

Schrifttum:

ANONYMUS (o.J.): SERSO. - Faltblatt des Bundesamtes für Strassenbau, Bern, und des Tiefbauamtes des Kantons Bern

BAKEMA, G. & SANNER, B. (1995): Unterirdische saisonale Kältespeicherung in den Niederlanden. - GtE 10/95, S. 10-11, Neubrandenburg

BUSSMANN, W. (1995): Notiz Berlin in Lokal-Regional-Global. - GtE 12/95, S. 28-29, Neubrandenburg

HOPKIRK, R.J., HESS, K. & EUGSTER, W.J. (1994): Erdwärmesonden-Speicher zur Straßenheizung bei Därligen, Schweiz. - IZW-Bericht 1/94, S. 297-307, Karlsruhe

KAPP, C. (1996): Wollerau: Erdreich als saisonaler Speicher. - GtE 13/96, S. 8-9, Neubrandenburg

NORDELL, B. (1990): A borehole heat store in rock at the University of Luleå. - 56 S., SCBR D12:1990, Stockholm

SANNER, B. (1994): Reichstag Berlin, Projekt für einen unterirdischen Wärme-/Kältespeicher. - GtE 9/94, S. 1-3, Neubrandenburg

SANNER, B. (1994): Schweden: Unterirdische Thermische Energiespeicherung. - GtE 9/94, S. 12-15, Neubrandenburg

SANNER, B. & STILES, L. (1995): Die größte erdgekoppelte Wärmepumpenanlage der Welt - Richard Stockton College, New Jersey. - GtE 12/95, S. 9-11, Neubrandenburg

SNIJEDERS, A.L. (1994): Aquiferwärmespeicherung, ein Projekt der Internationalen Energie-Agentur (IEA) am Beispiel der Wärmespeicheranlage in Utrecht. - Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 124, S. 23-34, München

VAN LOON, L.J.M. & PAUL, A. (1991): Aquifer thermal energy storage at the state university of Utrecht, The Netherlands. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage THERMASTOCK 91, S. 1.3.1-1.3.7, NOVEM, Utrecht

WILLEMSSEN, A. & VAN DER WEIDEN, M.J.J. (1991): Heat losses and groundwater chemistry of the Utrecht University ATES. - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage THERMASTOCK 91, S. 4.12.1-4.12.7, NOVEM, Utrecht

YOUNG KIM, H. (1996): Geothermal System for Bridge De-Icing under Construction in Amarillo, TX. - The Source 9/5, S. 1+6-7, Stillwater OK

**Dr. Burkhard Sanner, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Justus-Liebig-Universität Gießen*