

WENN GEOSPEICHER WÄRMENETZE VERSORGEN

Wasser ist ein hervorragendes Speichermedium. Mit ihm lässt sich Wärme über Tage, Wochen und Monate aufbewahren und sogar vom heissen Sommern in den kalten Winter bringen. Diese Eigenschaft machen sich sogenannte Aquiferspeicher zu Nutze: Wasserführende Gesteinsschichten – sogenannte Aquifere – dienen dabei in Tiefen von einigen Hundert Metern als saisonale Wärmespeicher. Wissenschaftler der Universität Genf untersuchen aktuell das Potenzial von Aquiferspeichern für die Versorgung des Genfer Fernwärmenetzes.



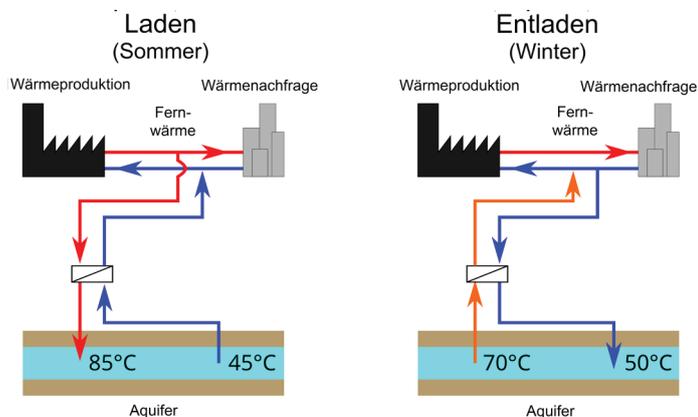
Wie Genf befasst sich auch Bern mit der Idee eines Aquiferspeichers. Im Bild: Bohrloch für den Geospeicher von Energie Wasser Bern. Bei einem Erfolg des Pilotprojekts könnte hier im Sommer künftig 90-gradiges Wasser aus der KVA in Sandsteinschichten gespeichert und im Winter dann von dort ins städtische Wärmenetz eingespeist werden. Foto: Energie Wasser Bern

Die Idee ist nicht neu. Schon in den 1970er Jahren wurde sie diskutiert, als die Ölkrise die Endlichkeit fossiler Energieträger in Erinnerung rief. Der Grundgedanke war damals, Wasser in den Sommermonaten in solarthermischen Anlagen zu erhitzen und dann in tiefen Erdschichten zu speichern, um das heiße Wasser im Winter für Heizung und Warmwasser zu nutzen. Zu dem Zweck wollte man das erhitze Wasser in wasserenthaltende Gesteinsschichten (Aquifere) pumpen und dort über Monate zwischenspeichern. Solche Aquiferspeicher wurden zum Beispiel im Colombier (Kanton Neuenburg) und Lausanne praxisnah erforscht. Wegen fehlender Rentabilität wurden sie in der Schweiz aber nicht in industriellem Massstab realisiert.

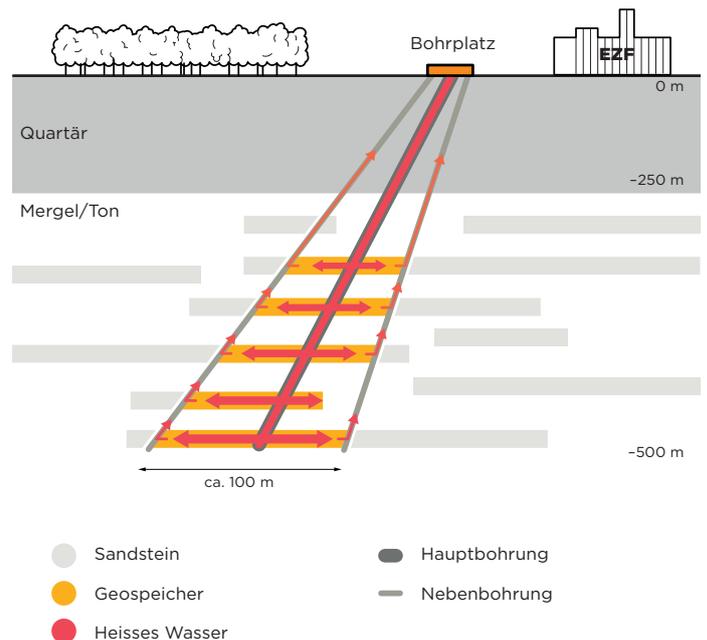
Umweltwärme saisonal speichern

Jetzt erlebt die Idee der Aquiferspeicher hierzulande möglicherweise eine Renaissance, nämlich als Hochtemperatur-Speicherlösung für Fernwärmenetze. Fernwärme hat eine wachsende Bedeutung bei der Versorgung von Haushalten und Gewerbe mit Heizwärme und Warmwasser. Gerade in städtischen Gebieten kann sie einen wichtigen Beitrag zum Umstieg auf eine nicht-fossile Energieversorgung leisten. Bislang stammt der Löwenanteil der Fernwärme aus Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) oder Holz-befeuerten Heizwerken. Um die Fernwärme weiter auszubauen, braucht es neue Wärmequellen.

Hier knüpft das Konzept eines Forscherteams der Universität Genf an: Als Wärmequelle wollen die Wissenschaftler Abwärme oder Umweltwärme aus dem Erdreich, aus Seen oder der Umgebungsluft nutzen. Die Wärme aus diesen Quellen wird durch Wärmepumpen und vorzugsweise mit Solarstrom auf ein höheres Temperaturniveau (ca. 40 bis 85 °C) ge-



Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Aquiferspeichers. Illustration : UNIGE



Schematisch Darstellung des Geospichers, der in Bern neben der Energiezentrale Forsthaus (EZF) entstehen könnte. Illustration: Energie Wasser Bern

bracht. Die Urheber des Konzepts plädieren dafür, die Wärmepumpen in den Sommermonaten für die Produktion von Überschusswärme zu nutzen und diese dann in Aquiferspeichern bis zum Winter zwischenspeichern. Konkret könnte das wie folgt aussehen: Dem 10-grädigen Genfersee wird ganzjährig Umweltwärme entzogen und mit Wärmepumpen auf 85 °C erhitzt. Im Winter wird diese Wärme für Heizung und Warmwasser direkt genutzt. In den Sommermonaten hingegen entstehen Wärmeüberschüsse. Diese werden in einen Aquifer in 1000 m Tiefe, wo eine natürliche Temperatur von 40 bis 45 °C herrscht, gespeichert. Durch die zugeführte Wärme steigt die Temperatur im Aquifer auf 60 bis 70 °C. Die eingespeicherte Wärme kann im nächsten Winter an das Fernwärmenetz übertragen und so für Heizzwecke genutzt werden.

Effiziente Wärmeproduktion

Das Konzept der Genfer Wissenschaftler mag auf den ersten Blick erstaunen. Ist es nicht sinnvoller, Umweltwärme ausschließlich im Winter im Fernwärmenetz zu nutzen, wenn tatsächlich ein Bedarf besteht? Fleury de Oliveira von Universität Genf sieht gute Gründe für die saisonale Wärmespeicherung in einem Aquiferspeicher: «Wird die Wärme im Sommer erzeugt und dann bis zum Winter gespeichert, hat das mehrere Vorteile: Der Strom ist im Sommer günstiger

und verursacht zudem bei seiner Erzeugung deutlich tiefere Treibhausgas-Emissionen als Winterstrom. Ausserdem lassen sich die Investitionen in Wärmepumpen besser amortisieren, wenn diese ganzjährig betrieben werden.»

Fleury de Oliveira ist ausgebildeter Physiker MAS und arbeitet in der Gruppe Energiesysteme der Universität Genf. Gemeinsam mit Kollegen untersucht er seit 2019 die Nutzung von Aquiferspeichern im Zusammenhang mit Fernwärmenetzen. Am Forschungsprojekt mit dem Akronym P2ATES sind die Industriellen Werke Genf (SIG) als Ideen- und Geldgeber beteiligt. Das BFE unterstützt das Projekt im Rahmen seines Forschungsprogramms Solarthermie.

Aquiferspeicher haben tiefere CO₂-Emissionen

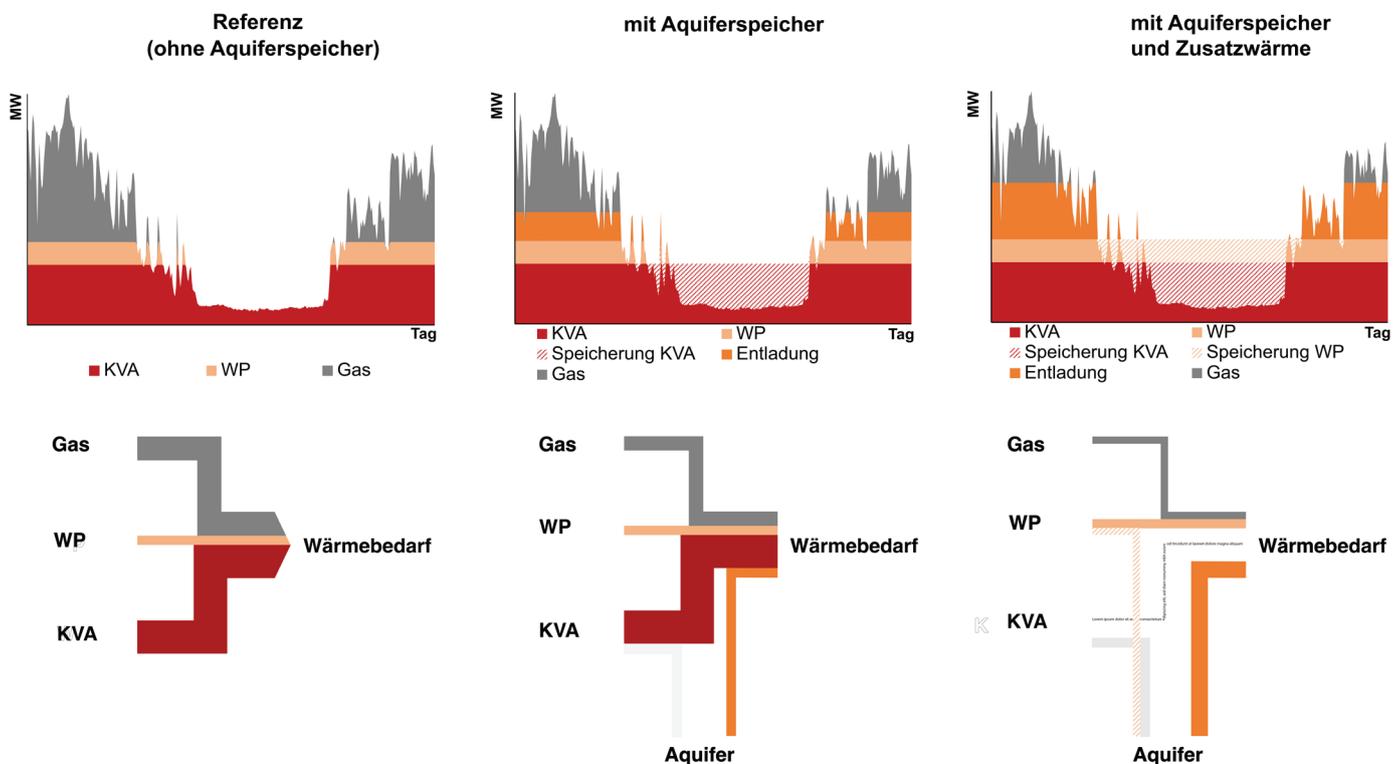
Um die Vorzüge eines Aquiferspeichers zu verstehen, kann man sich als beispielhaft ein Fernwärmenetz mit drei Wärmequellen vorstellen: Eine Kehrlichtverbrennungsanlage (KVA) liefert die Grundlast für den Wärmeverbund (30 % der Spitzenlast). Sie wird ergänzt durch eine Wärmepumpe (Zwischenlast, 20 % der Spitzenlast) und eine Gasheizung (Spitzenlast, 50 % der Spitzenlast). Die Genfer Forscher ha-

ben in ihrer Studie zwei Szenarien berechnet, bei denen der sommerliche Wärmeüberschuss in einen Aquiferspeicher gespeichert wird. Im ersten Szenario wurde nur der Sommerüberschuss aus der KVA im Aquifer gespeichert, im zweiten Szenario der Überschuss von KVA und Wärmepumpe.

Die Berechnungen zeigen: In Szenario 1 (nur KVA) sinken die jährlichen CO₂-Emissionen des Fernwärmenetzes im Vergleich zu einem Betrieb ohne Aquiferspeicher um 10 bis 20 %. Noch deutlich grösser ist die Senkung der CO₂-Emissionen in Szenario 2 (KVA und Wärmepumpe): Hier sinken die CO₂-Emissionen des Fernwärmenetzes um 30 bis 40 % gegenüber einer Wärmeversorgung ohne Speicherung.

Fragen der Dimensionierung

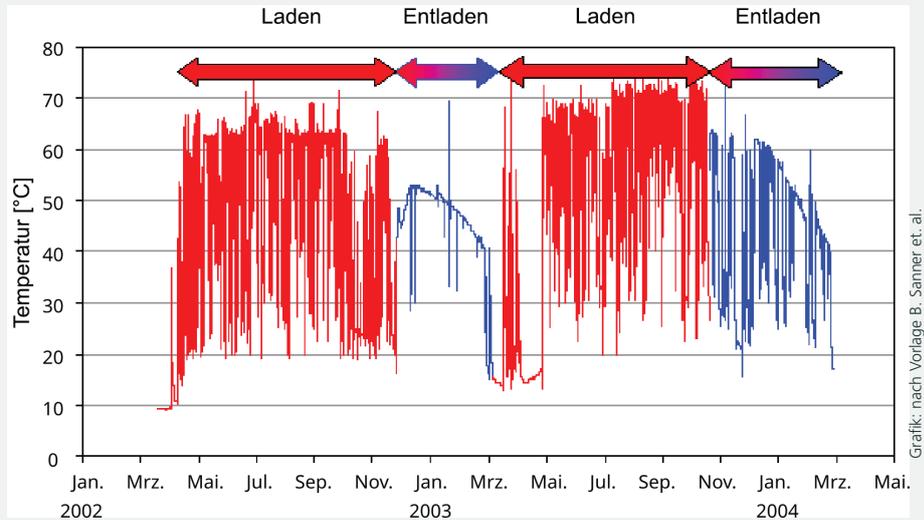
Gemäss den Berechnungen der Genfer Wissenschaftler erlaubt der Sommerbetrieb von Wärmepumpen in Kombination mit einem Aquiferspeicher also einen grossen Schritt hin zu einer CO₂-armen Wärmeversorgung. Dieses Konzept bringt allerdings mehrere Herausforderungen mit sich. Dazu gehört die richtige Dimensionierung der Wärmeerzeugungseinheiten in Bezug auf die thermische Last des Fernwärme-



Schematische Darstellung der Energieflüsse für ein Fernwärmenetz, das von einer KVA, einer Wärmepumpe (WP) und einem Gaskessel mit Wärme versorgt wird. Links: ohne Aquiferspeicher. Mitte: sommerlicher Wärmeüberschuss der KVA wird im Aquiferspeicher zwischengespeichert. Rechts: neben des sommerlichen Wärmeüberschusses aus der KVA produziert im Sommer die Wärmepumpe Wärme, die ebenfalls im Aquiferspeicher eingelagert wird. Illustration: UNIGE

AQUIFERSPEICHER HEIZT DEN DEUTSCHEN BUNDESTAG

Im Erdreich unter den Gebäuden des Deutschen Bundestags in Berlin sind seit 2003 zwei Aquiferspeicher (engl. Aquifer thermal energy storage/ATES) in Betrieb. Ein Aquifer in 320 m Tiefe dient als Wärmespeicher: Er nimmt in den Sommermonaten überschüssige Wärme (bis 70 °C) aus einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage auf. Durch die Wärmezufuhr erwärmt sich der Aquifer von ca. 20 °C auf über 60 °C (Temperatur am Brunnenkopf). Diese Wärme kann in den Wintermonaten für die Beheizung der Gebäude genutzt werden. Dabei sinkt die Temperatur im Aquifer wieder auf die natürliche Temperatur von ca. 20 °C.



Grafik: nach Vorlage B. Sanner et. al.

Ein zweiter Aquifer – er liegt 60 m unter der Erdoberfläche – dient als Kältespeicher: In dieser Tiefe hat die Erde eine natürliche Temperatur von 12 °C: In den Wintermonaten wird diese Wärme über eine Wärmepumpe zur Beheizung der Gebäude genutzt. Dabei kühlt das Erdreich auf 5 °C ab. Diese Kühlenergie kann in den Sommermonaten zur Kühlung der Gebäude genutzt werden.

Gemäss einer Simulationsrechnung für die beiden Aquiferspeicher können auf dem Weg 93 % der eingespeicherten Kälte und 77 % der eingespeicherten Wärme genutzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Aquifere von wärmeisolierenden Gesteinsschichten geschützt sind.

Jedes Aquiferspeicher-System braucht Energie für den Betrieb der Pumpen, die das Wasser beim Laden der Speicher ins Erdreich befördern und beim Entladen der Speicher an die Oberfläche bringen. Die Rohre des Berliner Wärmespeichers sind wegen des Salzgehalts des Wassers aus Glasfaser-verstärkten Harzen gefertigt (bei den Rohren des Kältespeichers war diese Vorkehrung nicht nötig). Alle Rohre stehen dauerhaft unter Druck, um zu vermeiden, dass Sauerstoff ins Grundwasser gelangt.

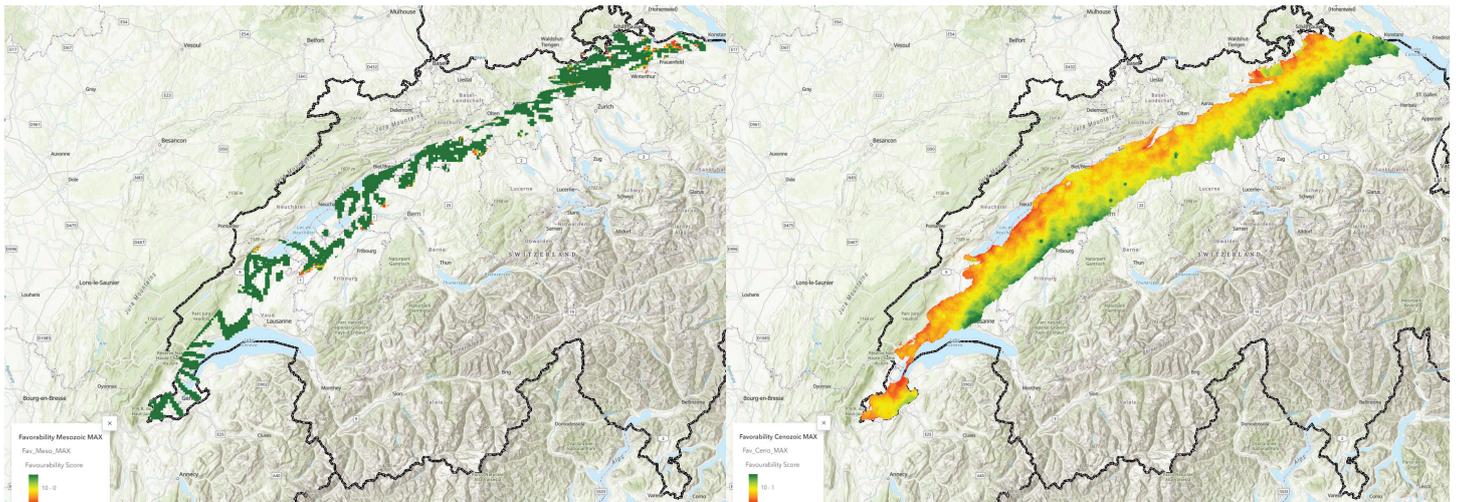
netzes, aber auch die Festlegung der erforderlichen Vor- und Rücklauftemperaturen. Anspruchsvoll ist auch die Auslegung des Aquiferspeichers (insbesondere hinsichtlich Grösse und Durchflussmenge).

Das P2ATES-Team hat zu diesen Fragen theoretische Antworten entwickelt. Sie ermöglichen, diese Parameter auf relativ einfache Weise miteinander zu verknüpfen und Dimensionierungsregeln abzuleiten. Mit ihnen lässt sich im Voraus bestimmen, in welchem Fall ein Aquiferspeicher-System eine optimale Leistung erbringt. Ergänzend simulierten die Forscher mit einem numerischen Modell mehrere Tausend Aquiferspeicher-Systeme für Fernwärmenetze mit 1 MW (230

Haushalte), 10 MW (2'300 Haushalte) und 100 MW (23'000 Haushalte) Leistung und unterschiedliche Parameter wie z.B. Temperatur des Wärmenetzes oder Mächtigkeit, Durchlässigkeit und Wasserdruck des Aquifers. Die Ergebnisse dieser Simulationen werden derzeit mit den theoretisch vorhergesagten Ergebnissen verglichen. Die Ergebnisse werden im Projektbericht enthalten sein, der bis Ende 2023 veröffentlicht werden soll.

Gefahren realistisch einschätzen

Aquiferspeicher können nur in Gebieten gebaut werden, die nicht der Trinkwasserversorgung dienen. Der Bau der neuartigen Wärmespeicher bedarf umfangreicher Abklärungen.



Im Projekt HeatStore wurde eine Abschätzung gemacht, in welchen Schweizer Gebieten ein Aquiferspeicher möglicherweise realisiert werden könnte. In den farblich markierten Gebieten sind mehrere Voraussetzungen für einen Aquiferspeicher gegeben: günstige geologische Bedingungen, Vorhandensein eines Fernwärmenetzes und von sommerlichen Wärmeüberschüssen. Dabei würde der Speicher in einer mesozonischen (links) oder känozoischen Gesteinsschicht (rechts) gebaut. Grafik: HeatStore

So muss sichergestellt werden, dass bei den Bohrungen und später während der Nutzung keine Erdbeben entstehen wie seinerzeit bei den Geothermie-Projekten in Basel (2006/07) und St. Gallen (2013). «Wir schätzen die Erdbebengefahr als deutlich geringer ein, weil wir zum einen weniger tief bohren», sagt Co-Projektleiter Pierre Hollmüller (Universität Genf). «Zudem nutzen wir geologische Formationen, in denen natürlicherweise schon Grundwasser zirkuliert, es geht also nicht darum, heisse Gesteinsschichten durch Einpressen von Hochdruckwasser zu stimulieren wie bei den Bohrungen in Basel und St. Gallen.» Unter dem Namen GEOBEST2020+ wurde jüngst ein neues Regelwerk zur Festlegung der geeigneten Verfahren während Bohrungen und Nutzung implementiert.

Eine weitere Herausforderung: Abhängig von der Temperatur treten im Aquiferspeicher chemische Reaktionen auf, die zu Ablagerungen von Mineralien (z.B. Kalk) im Rohrsystem und in den Wärmetauschern führen können. Solche unerwünschten Effekte müssen durch Gegenmassnahmen (z.B. Spülungen mit geeigneten Säuren) kontrolliert werden.

Bern testet einen Geospeicher

Wie ein Aquiferspeicher für das Genfer Wärmenetz konkret aussehen könnte, ist im Moment noch offen. Bern ist einen Schritt weiter: Dort erprobt der städtische Energieversorger Energie Wasser Bern bei der Energiezentrale Forsthaus einen Geospeicher, der die sommerlichen Wärmeüberschüsse aus

der KVA in wasserführenden Sandsteinschichten in 240 bis 500 m Tiefe in den Winter bringt. Der Sandstein soll dabei als saisonaler Wärmespeicher fungieren. Der Speicher hat gemäss Planung eine Kapazität von 12 bis 15 GWh, was rund fünf Prozent des jährlichen Wärmeabsatzes der Energiezentrale Forsthaus entspricht.

Mit den Bohrungen in Bern konnten viele hundert Meter Kernmaterial gewonnen werden. Ein Team von Fachexperten untersucht das Gestein aktuell auf die Zusammensetzung und die Eignung für den Geospeicher. Parallel zur Auswertung der geologischen Daten bereitet Geo-Energie Suisse die Testphasen des Speichers vor. Sobald ein genaueres Bild von den Gesteinsschichten vorliegt, wird das Pump- und Zirkulationsverhalten des Wassers im Untergrund untersucht – also ab das «Laden» und «Entladen» des Geospeichers, wie vorgesehen funktioniert. Diese Tests werden voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte 2024 abgeschlossen sein.

Es wird interessant sein zu sehen, wie sich Aquiferspeicher in Schweizer Wärmenetzen in den kommenden Jahren entwickeln werden. In Dänemark ist es seit längerem üblich, künstlich angelegte Wasserbecken als Wärmespeicher zu nutzen. Das heisse Wasser stammt dort typischerweise von Solarkollektoren. Jüngere Projekte zielen darauf ab, mit Windstrom angetriebene Wärmepumpen für die Wärmeproduktion zu nutzen. Weitere Vorbilder gibt es in den Niederlanden: Hier sind Aquiferspeicher heute schon für die Bereitstellung von

Gewerbekälte im Einsatz: Die Speicher werden bei tiefen Temperaturen (rund 10 °C) betrieben und nutzen Erdschichten in geringer Tiefe.

- **Auskünfte** zum Projekt erteilt Stephan A. Mathez (stephan.a.mathez@solarcampus.ch), externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Solarthermie und Wärmespeicherung.

- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Solarthermie und Wärmespeicherung finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-solar.