

# Behagliche Wärme aus 500 m Tiefe

**In städtischen Gebieten mit dichter Bebauung stösst die Gewinnung von Erdwärme für Heizung und Warmwasser mitunter an Grenzen. Denn hier ist der Platz für die Verlegung von Erdwärmesonden knapp. Die Industriellen Werke der Stadt Lausanne beschreiten einen neuen Weg: Sie setzen weniger Sonden ein, verlegen sie aber tiefer.**



*Mit einem ausgeklügelten Messsystem aus Glasfasern kann Projektleiter Francesco Barone die Temperatur entlang der Erdwärmesonden, die an zentraler Lage in Lausanne 500 Meter tief verlegt wurden, exakt ermitteln. Foto: B. Vogel*

Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)

Im Norden von Lausanne entsteht ab 2017 das „Ökoquartier“ Plaines-du-Loup. Auf 30 ha Fläche sind Wohnungen für 10 000 Personen und Geschäfte geplant. Die neuen Gebäude sollen dem Nachhaltigkeitsstandard einer 2000 Watt-Gesellschaft gerecht werden. Dieses ambitionierte Ziel wollen die Planer unter anderem mit der Nutzung von Geothermie erreichen: Erdwärmesonden sammeln die Untergrundwärme ein, anschliessend wird diese über Wärmepumpen zu Heizenergie und Warmwasser aufbereitet.

Erdwärmesonden werden heute üblicherweise in eine Tiefe von 50 bis 300 Metern abgeteuft. Doch nicht überall ist dafür genug Platz. Gerade in städtischen, stark überbauten Gebieten wird der Raum für grosse Sondenfelder schnell knapp. Hier kann Erdwärme nur genutzt werden, wenn die Zahl der Sonden begrenzt bleibt. Damit dem Boden mit wenig Sonden dennoch eine hinreichend grosse Energiemenge entzogen werden kann, müssen die Sonden tiefer verlegt werden. Mit je den 100 Metern, die man tiefer bohrt, steigt die Temperatur des Erdreichs nämlich um 3 ° – entsprechend wächst in der Tiefe die Energieausbeute. Das brachte die Stadt Lausanne

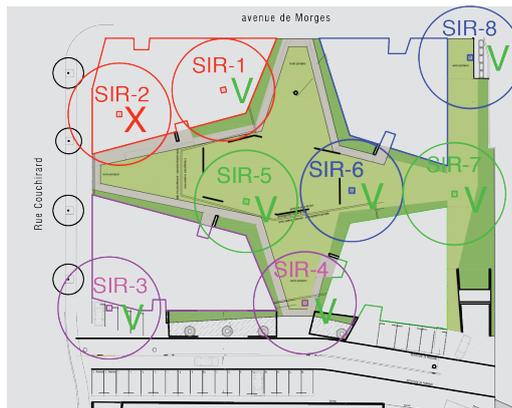
## 2 Behagliche Wärme aus 500 m Tiefe

auf die Idee, die Erdwärmesonden im künftigen Ökoquartier Plaines-du-Loup mindestens 500 Meter tief zu verlegen.

### Pilotprojekt mit 104 Wohnungen

Für den Einsatz von Erdsonden in so grosser Tiefe hat man in der Schweiz noch wenig Erfahrung. Die Stadt Lausanne hat sich entschieden, diese Form der Wärmegewinnung in einem Pilotprojekt zu erkunden, bevor sie in der neuen Grossüberbauung zum Einsatz kommt. Als Testobjekt dient die Überbauung eines kommunalen Grundstücks, die in den letzten drei Jahren an der Avenue de Morges an zentraler Lage errichtet wurde. Die vier Mehrfamilienhäuser im Minergie-ECO-Standard haben 104 Wohnungen mit einem Bedarf an Heizwärme und Warmwasser von ca. 500 MWh<sub>th</sub> pro Jahr. Jedes Gebäude verfügt über ein eigenes Heizsystem mit zwei Erdwärmesonden. Jede dieser beiden Sonden wird mit einer eigenen Bohrung rund 500 Meter tief in den Untergrund verlegt. Die Bohrungen in Lausanne reichen damit tiefer als der Meeresspiegel.

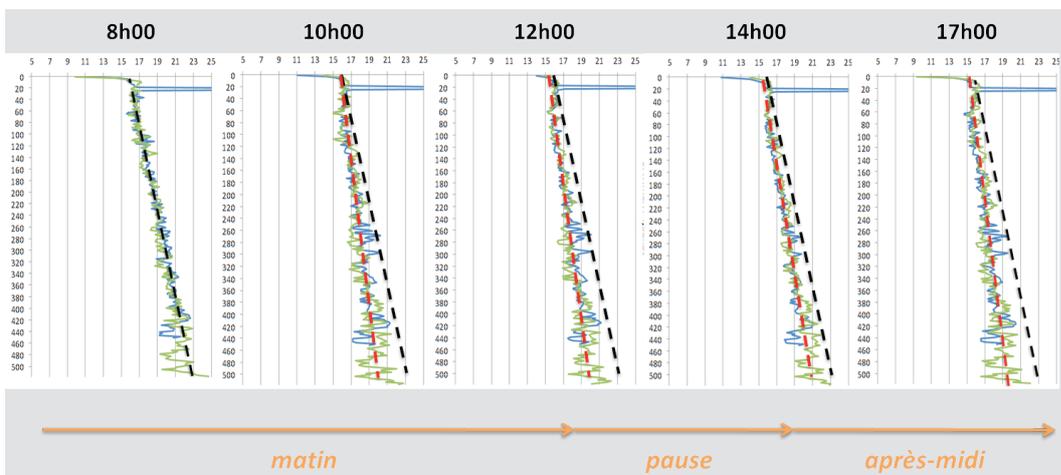
Mit einem Sonden-Paar pro Gebäude stehen 45 bis 50 kW<sub>th</sub> Erdwärme zur Verfügung – die Wärmepumpe generiert daraus eine Heiz- und Warmwasserleistung von 65 kW<sub>th</sub>. Ergänzt wird das Energiesystem der Über-



Bei der Überbauung in der Lausanner Innenstadt sind vier Gebäude um einen begrünten Innenhof angeordnet. Auf dem Areal wurden acht Erdwärmesonden (SIR-1 bis SIR-8) auf 500 Meter abgeteuft. Grafik: SIL

bauung durch Sonnenkollektoren (insgesamt 140 m<sup>2</sup>, verteilt auf die vier Dächer) mit einem jährlichen Energieertrag von 70 MWh. Der Einbau der Kollektoren war erforderlich, weil das Waadtländer Energiegesetz verlangt, dass bei Neubauten 30 % des Warmwassers aus erneuerbaren Energien stammt; Erdwärme zählt nicht zu den erneuerbaren Energien, da die Wärmepumpe mit Netzstrom betrieben wird.

Die Erdsonden sind seit Ende 2014 in Betrieb, haben also bereits einen Winter lang ihre



Temperatur des Erdreichs entlang von zwei Erdwärmesonden (grün und blau) abhängig von der Tiefe: Nachdem die Erdwärmesonden morgens um 8 Uhr in Betrieb genommen werden, kühlt sich das Erdreich im Verlauf des Vormittags um ca. 3 ° ab. Während der Betriebspause am Mittag kann sich das Erdreich wieder leicht regenerieren. Messgrafiken: SIL

### 3 Behagliche Wärme aus 500 m Tiefe

Tauglichkeit bewiesen. Während der Sommermonate kommt die Erdwärme nur zum Einsatz, wenn die Sonnenkollektoren den Bedarf an Warmwasser nicht allein decken.

#### 26,5 °C in 500 Metern Tiefe

Konzipiert und umgesetzt wird das innovative Lausanner Projekt von den Industriellen Werken der Stadt (Services industriels Lausanne/SIL). SIL-Projektleiter Francesco Barone führt den Besucher in einen der vier Heizräume der



*Blick auf die Überbauung an der Avenue de Morges in Lausanne, die mit acht Erdwärmesonden für Heizung und Warmwasser ausgerüstet wurde. Foto: B. Vogel*

Überbauung. Der gelernte Energieingenieur zeigt auf die Rohre, die das erwärmte Wasser von den Erdwärmesonden in die Wärmepumpe leiten, die hier im Heizraum steht. Die Messanzeigen an den Rohren belegen: Auf dem Weg durch die Erdwärmesonden wird das Wasser von 14 °C auf 18 °C erwärmt. Aus der Temperaturdifferenz erzeugt die Wärmepumpe 40grädiges Wasser für Heizung und Warmwasser. Nach den bisherigen Messungen arbeitet die Wärmepumpe mit einer respektablen Leistungszahl (COP) von 5 bis 5.5 (gemessen im Winter bei einer Situation mit geringem Warmwasserbedarf) – aus einem kW elektrischer Leistung erzeugt die Wärmepumpe also 5 bis 5.5 kW Wärmeleistung. Wären die Erdsonden auf 200 Meter verlegt,

läge der COP bei lediglich 3 bis 3,5. „Das Wasser wird in den Erdsonden in 500 Metern Tiefe nicht nur auf 18 °C erwärmt, sondern auf 26,5 °C“, erklärt Barone, „allerdings wird dem Wasser auf dem Rückweg an die Erdoberfläche durch den Boden wieder Wärme entzogen.“ Über die Hälfte des Wärmeertrags geht auf dem Rückweg also wieder verloren? „Das Wasser verliert tatsächlich deutlich an Temperatur“, bestätigt Barone, „aber diese Energie ist keineswegs verloren. Sie erwärmt das Umgebungsgestein und wird dort gespeichert.“ Diese Wärmespeicherung ist ein sehr willkommener Effekt. Der Erdkörper rund um die Sonden wirkt nämlich als mächtiger Speicher, mit dem das System immer wieder 'nachgeladen' wird. Die zwischengelagerte Wärme – das bestätigen die bisherigen Messungen – leistet zudem einen wichtigen Beitrag, den Wärmeertrag des Erdsondenfeldes über das Jahr hinweg ziemlich konstant zu halten.

Dieser Ausgleichseffekt ist gerade auch langfristig von Nutzen. Erdwärmesysteme haben nämlich die Eigenschaft, dass sie umgebende Erde über die Jahre abzukühlen. Das führt zu einer schleichenden Verschlechterung des Wirkungsgrads. Beim Lausanner Erdsondenfeld wird nun – weil es mit 500 Metern vergleichsweise tief liegt – relativ viel Wärme im Gestein eingelagert und so dessen langfristige Abkühlung gebremst. „Unsere Langzeitmessungen über 10 und mehr Jahre werden zeigen, wie sich das Erdreich genau abkühlt. Damit liefert unser Projekt die Grundlage, damit Zahl und Anordnung von Erdwärmesonden bei künftigen Projekten optimiert werden kann“, umreist Barone eine wichtige Fragestellung des Lausanner Pilotprojekts.

#### Exakte Temperaturdaten aus der Sonde

Wer über Temperaturen im Erdreich spricht, ist in der Regel auf Simulationen angewiesen. Bei Sirius – so der Name des Lausanner Geothermie-Pilotprojekts – ist das anders. Hier stehen exakte Messwerte zur Verfügung. Die acht Erdsonden konnten dank Unterstützung des Bundesamts für Energie nämlich mit einer

Messinfrastruktur aus Glasfasern ausgerüstet werden. Dank der Messeinrichtung lässt sich die Temperatur entlang der 500 Meter tief verlegten Erdwärmesonden bestimmen. Messpunkte befinden sich im Meterabstand. Damit wird das gesamte Sondenfeld auf insgesamt 4000 Metern Länge (8 x 500 Meter) im 20-Minuten-Takt detailliert ausgemessen, und das über die gesamte Projektdauer von zehn und mehr Jahren. Dank der Messdaten lässt sich die Erwärmung des Wassers in den Erdsonden während des Umlaufs exakt nachvollziehen, und die Veränderungen lassen sich über Jahre verfolgen. „Das ist meines Wissens das erste Mal, dass man in der Schweiz das Temperaturverhalten in einer Erdsonde so detailliert messen kann“, sagt Francesco Barone.

In den ersten Monaten der Messkampagne wurden schon aussagekräftige Resultate gewonnen. Sie zeigen, wie sich das Erdreich um das Erdsondenfeld in den Stunden nach dem Betriebsstart am Morgen zuerst (um rund 3 °) abkühlt (weil dem Erdreiche Wärme entzogen wird), um sich später während der Betriebspause am Mittag wieder teilweise zu regenerieren (vgl. Grafik S. 2). Diese Regeneration ist auch während der Nacht zu beobachten, wenn die Sonden keine Erdwärme fördern.

### **Noch nicht konkurrenzfähig mit Gasheizungen**

Das Energiesystem mit acht Erdwärmesonden und Sonnenkollektoren (exkl. Messinfrastruktur der Begleitforschung) hat 1,2 Mio. Fr. gekostet. Mit diesen Investitionskosten ist die Erdwärmennutzung heute noch nicht konkurrenzfähig mit Gasheizungen. In Zukunft könnte der Kostenvergleich günstiger ausfallen, hoffen die Promotoren des Lausanner Projekts. Sie sehen ihr Vorhaben als einen Beitrag, um Erdsondenfelder in 500 oder sogar 800 Metern Tiefe marktfähig zu machen (vgl. Textbox S. 5). Die Nagelprobe wird das Energiesystem zu bestehen haben, wenn es voraussichtlich ab 2020 in Plaines-du-Loup für die Versorgung eines ganzen Neubauquartiers eingesetzt wird. Klar ist auch, dass

Erdwärmesonden in grosser Tiefe nur für Grossimmobilien und ganze Überbauungen sinnvoll sind. Für Einfamilienhäuser sind die schlicht zu leistungsstark.

Die Verantwortlichen der Services industriels Lausanne wollen mit ihrem Erdwärmeprojekt auch eine Botschaft an die Schweizer Öffentlichkeit senden. Sie lautet: Die Nutzung der Erdwärme kommt voran, den Rückschlägen der Geothermie-Projekte in Basel und St. Gallen zum Trotz. Die direkte Nutzung von heissem Wasser aus grosser Tiefe für Heizwerke und Stromerzeugung, wie sie in den beiden Städten beabsichtigt war, ist nämlich nur ein relativ kleiner Teil dessen, wie Wärme aus dem Untergrund heute genutzt wird. Vier Fünftel der in der Schweiz erzeugte Erdwärme stammt vielmehr aus Erdwärme, die in Erdsonden gesammelt und mittels Wärmepumpen auf die gewünschte Nutztemperatur gebracht wird. Diese Heizsysteme arbeiten ganz ohne Erdbebenrisiko und mit überschaubarem Finanzrahmen.

- » Eine schon früher erstellte Studie des BFE zu tief verlegten Erdsondenfeldern finden Sie unter dem nachfolgenden Link: <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000011135.pdf&name=000000290895>
- » Weitere Auskünfte zu dem Projekt erteilt Rudolf Minder (rudolf.minder[at]bluewin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Geothermie.
- » Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Geothermie unter: [www.bfe.admin.ch/CT/geothermie](http://www.bfe.admin.ch/CT/geothermie)

### **Möglichst günstig bis auf 500 Meter Tiefe bohren**

Erdwärmesonden in grosser Tiefe bringen einen höheren Energieertrag, im Gegenzug steigen die Bohrkosten. Das Pilotprojekt der Industriellen Werke Lausanne strebte tiefe Kosten an durch den Einsatz von Bohrtechnik, wie sie routinemässig für die Verlegung von Erdwärmesonden bis 300 Meter Tiefe verwendet wird. Das Abteufen der acht Erdwärmesonden in der Lausanner Innenstadt gelang ohne Aufbau eines Bohrturms und ohne Errichtung einer Betonplattform, wie das für tiefengeothermische Bohrungen sonst üblich ist. Eine gesonderte Schlammbehandlung war nicht erforderlich. Dank Erfahrungszuwachs konnte die Bohrzeit für die letzte Sonde gegenüber der ersten Sonde auf zwei Wochen halbiert werden, was auch die Bohrkosten senkte.

Bohrtiefen von 500 Metern und mehr haben einen weiteren Vorteil: Mit dieser Tiefe können die Erdwärmesonden deutlich über 0 °C betrieben werden. Damit muss dem als Trägerflüssigkeit dienenden Wasser kein Gefrierschutz – in der Regel teures Glykol – beigemischt werden. Nach Auskunft der SIL-Verantwortlichen entspricht die damit einhergehende Ersparnis (25 000 bis 30 000 Fr.) rund 8 % der Kosten für die Erdwärmesonden.

Im Zuge ihres Pilotprojekts mussten die Lausanner Erdwärme-Pioniere auch Rückschläge hinnehmen. In 300 Metern Tiefe trafen sie auf eine geologisch schwierige Schicht. Um Einbrüche zu verhindern, mussten die Bohrlöcher bis auf eine Tiefe von 370 Metern mit Rohren stabilisiert werden. Eine der acht Sonden mit ihren zwei Wasserkreisläufen wurde – vermutlich wegen eines Einbruchs – funktionsunfähig; zum Ersatz musste im betroffenen Gebäude eine Gasheizung eingebaut werden. Gleichzeitig zeigt das Projekt, dass sich die Verlegung von Erdwärmesonden auf 500 Metern Tiefe und Drücken von rund 50 bar mitunter sogar mit Standardmaterialien bewältigen lässt: Für die Sonden 1 bis 3 verwendeten die Ingenieure Rohre mit einem Nenndruck von 16 bar (PN16). Um das Risiko von Schäden zu reduzieren, wählten sie für die Sonden 4 bis 8 dann aber doch Rohre mit erhöhter Druckfestigkeit (PN60). BV

### **BFE unterstützt Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturm-Projekte**

Das Projekt Sirius der Services Industriels Lausanne gehört zu den Pilot- und Demonstrationsprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die sparsame und rationelle Energieverwendung fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Darüber hinaus hat das BFE eine Reihe von Leuchtturmprojekten bezeichnet, die sich ebenfalls an den Zielsetzungen der Energiestrategie 2050 orientieren. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

[www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration)  
[www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm](http://www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm)

### **Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Postadresse: CH-3003 Bern  
Telefon +41 (0)58 462 56 11, Fax +41 (0)58 463 25 00  
[cleantech@bfe.admin.ch](mailto:cleantech@bfe.admin.ch), [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)