

DIE KÜHLENERGIE, DIE AUS DEM BODEN KOMMT

Die Schweiz ist führend beim Gebrauch von Erdwärme für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser. Für eine nachhaltige Nutzung von Erdwärmesonden-Systemen ist es sinnvoll, diese auch für die Kühlung einzusetzen. Die Fachhochschule der Südschweiz (SUPSI) hat das Potenzial dieses sogenannten Geocoolings an einer Liegenschaft in Lugano beispielhaft untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass sich auf diese Weise in den Sommermonaten das Erdreich nach dem Wärmeentzug im Winter wirkungsvoll regenerieren lässt; zugleich können Gebäude mit einem vergleichsweise geringen Einsatz von elektrischer Energie auf ein behagliches Niveau gekühlt werden. Probleme bereitete in den ersten beiden Betriebsjahren die hohe Luftfeuchtigkeit. Durch eine Optimierung der Anlage konnte der Wohnkomfort für Bewohnerinnen und Bewohner schliesslich verbessert werden.



Das Geocooling-Projekt in Lugano stösst in Fachkreisen auf grosses Interesse. Marco Belliardi erklärt den Besuchern die Anlage. Foto: SUPSI

Die Nutzung von Erdwärme mittels Erdwärmesonden ist in der Schweiz weit verbreitet. Rund 106'000 Wärmepumpen landesweit nutzen Erdwärme zur Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser, indem sie die dem Boden entzogene Wärme mittels elektrischem Strom auf das gewünschte Temperaturniveau bringen. Seit einigen Jahren werden solche Erdwärmesonden nicht nur für die Bereitstellung von Wärme, sondern zusätzlich auch zur Kühlung von Wohn- und Geschäftsräumen herangezogen. Insbesondere neue Anlagen mit Erdwärmesonden werden heute zunehmend mit Geocooling realisiert. Gemäss einer groben Schätzung nutzen in der Schweiz mehrere Hundert Liegenschaften Kühlenergie aus dieser Quelle.

Im Tessin sind rund zehn Anlagen im Einsatz. Eine steht in Lugano (Stadtteil Besso) und versorgt ein Minergie-Wohngebäude mit 46 Apartments mit Wärme und Kühlenergie. Zunächst waren für die Liegenschaft mit 5'700 m² Energiebezugsfläche 17 Erdwärmesonden einzig für die Wärmeversorgung vorgesehen. Dann entschied sich der Bauherr, die Sonden in den Sommermonaten zusätzlich zur Gebäudekühlung einzusetzen. Diese nutzt den natürlichen Temperaturunterschied zwischen (hoher) Innentemperatur und (tiefer)

Untergrundtemperatur aus. So konnte auf den Einbau einer reversiblen Wärmepumpe (ist in gewissen Kantonen wie dem Tessin – unter ganz bestimmten Bedingungen – erlaubt) verzichtet werden. «Zudem kann die Wärme, die den Räumen in den Sommermonaten entzogen wird, in den Untergrund zurückgespeist werden und somit das Erdsondenfeld regenerieren», sagt SUPSI-Forscher Marco Belliardi, der die Geocooling-Anlage in einem wissenschaftlichen Begleitprojekt evaluiert. «Dank Rückspeisung von Wärme in den Sommermonaten konnte die Zahl der Bohrlöcher von 17 auf 15 reduziert werden, und nachdem geologische Untersuchungen auf eine günstige Bodenbeschaffenheit hindeuteten, kam man schliesslich mit 13 Bohrlöchern aus. Die Reduktion von 17 auf 13 Bohrlöcher hat Baukosten im Umfang von 70'000 bis 80'000 Franken eingespart.»

Geocooling erreicht Arbeitszahl 30

Das neue Wohngebäude in Herzen von Lugano wurde 2014 bezogen. Seit 2016 und noch bis Ende 2019 führt SUPSI-Forscher Belliardi ein Monitoringprogramm der Heiz- und Kühlanlage durch, das vom Bundesamt für Energie als Demonstrationsprojekt unterstützt wird. Die wissenschaftliche Auswertung lässt sich in zwei Zeitabschnitte unterteilen:



Die Liegenschaft «City Residence» in Lugano mit 46 Apartments. Für Heizung (Winter) und Kühlung (Sommer) des Gebäudes wurden unterhalb des Baus 13 Erdwärmesonden bis auf 200 Meter tief abgesenkt, wo die Erdtemperatur rund 14,5 °C beträgt. Jede Erdwärmesonde besteht aus einem doppelt geführten Rohr, das in das Bohrloch eingeführt wird. Zuletzt wird das Bohrloch mit einer Art Zement (Bentonit) verfüllt. Illustration: SUPSI

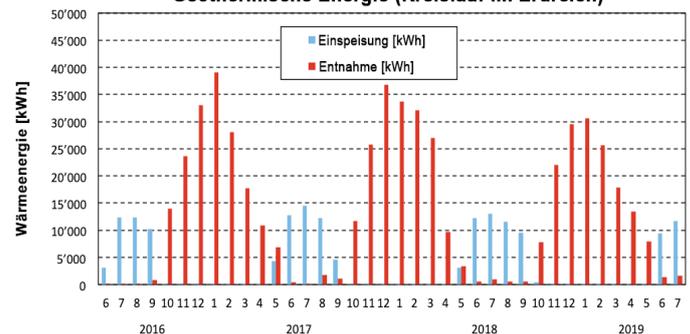
Der erste umfasst den Zeitraum Juni 2016 bis Juli 2018, die zweite August 2018 bis Oktober 2019. Die zwei Monitoringzeiträume ergeben sich daraus, dass im Sommer 2018 Optimierungen an der Anlage vorgenommen wurden, deren Wirksamkeit seither evaluiert wird.

Ein erster wichtiger Befund des Projekts: Geocooling erlaubt die Kühlung des Wohngebäudes in Lugano mit einem relativ geringen Einsatz von elektrischer Energie. Zur Veranschaulichung dieser Aussage lässt sich der Sommer 2017 heranziehen: In der warmen Jahreszeit wurde dem Gebäude mittels Geocooling Wärme im Umfang von 47 MWh entzogen, während der Betrieb der Umwälzpumpen rund 3 MWh Strom benötigte. Daraus resultiert eine Arbeitszahl im Kühlbetrieb (seasonal energy efficiency ratio/SEER) von 15, oder einfach ausgedrückt: Die Kühlleistung ist 15 mal höher als die eingesetzte elektrische Energie. Nach der Optimierung der Anlage im Sommer 2018 (bessere Regulierung der Umwälzpumpen), konnte dieser Wert für August 2018 sogar auf 30 gesteigert werden. Messungen im Sommer 2019 haben diesen Wert tendenziell bestätigt. «Die Energieeffizienz des Geocoolings ist somit zehn Mal besser als die eines mechanischen Kühlaggregats, das in der Regel über einen SEER von 3 bis 4 verfügt», sagt Marco Belliardi. «Wenn wir alle Pumpen wie gewünscht regulieren könnten, wäre im untersuchten Gebäude sogar ein SEER von 40 erreichbar.» Hierbei ist auch zu bedenken, dass der Einsatz mechanischer Kühlaggregate für Wohngebäude in vielen Kantonen erst gar nicht erlaubt ist.

Zu tiefe Temperatur und Kondenswasser

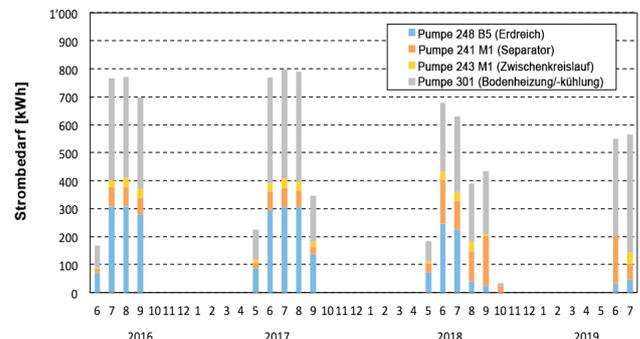
Ein zweiter Befund der Tessiner Forscher: Über Geocooling lassen sich die Vorgaben des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) bezüglich Raumtemperatur (SIA-Norm 382/1) verlässlich einhalten (siehe Grafik S. 5). Nachdem in den beiden Sommerperioden 2016 und 2017 die SIA-Vorgaben zeitweise fast unterschritten wurden, wurde die Kühlleistung der Anlage im Zuge der Optimierung im Sommer 2018 gedrosselt und die Vorlauftemperatur im Kreislauf der Bodenheizung von rund 18 auf ca. 20 °C erhöht. Auf dem Weg konnte die Raumtemperatur durchschnittlich um rund 2 Grad angehoben werden. Die Temperaturerhöhung hatte einen willkommenen Nebennutzen: Da über Geocooling keine Entfeuchtung der Luft erfolgt, herrschte in den Wohnungen in den ersten beiden Sommern bisweilen eine hohe relative Luftfeuchtigkeit (bis zu 90 % bei 22 °C Raumtemperatur), was den Wohnkomfort beeinträchtigt hat und in Bodennähe zur Absetzung von Kondenswasser führte. Mit der Erhöhung der Raumtemperatur konnte die relative

Geothermische Energie (Kreislauf im Erdreich)



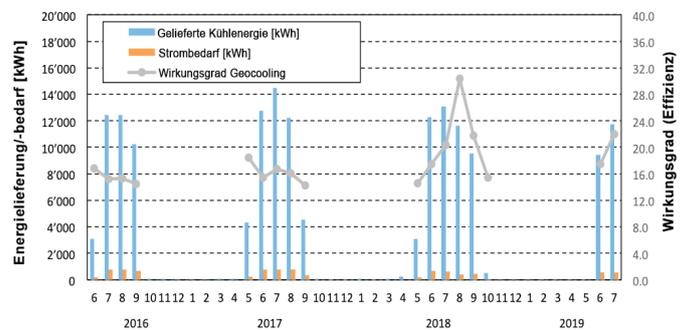
Rot: Die Energiemenge, die im Winterhalbjahr mittels Erdwärmesonden aus dem Boden entnommen wurde. In der warmen Jahreszeit werden die Wohnungen mittels Geocooling gekühlt und die dabei gewonnene Energie zur Regeneration des Untergrunds verwendet (blau). Grafik: SUPSI

Energie für Geocooling-Pumpen



Das Luganeser Geocooling-Projekt benötigt für die Kühlung der Wohnungen die Wärmepumpe nicht, aber elektrischen Strom für den Betrieb von Umwälzpumpen des Sole- und des Wasserkreislaufs. Pumpe 301 (grau) ist verantwortlich für die Umwälzung des Wassers im Fussboden der untersuchten Wohnung. Diese Pumpe lässt sich – aus technischen Gründen – nicht wie gewünscht regulieren und hat daher einen relativ hohen Verbrauch. Grafik: SUPSI

Kühlenergie und Wirkungsgrad



Die Grafik setzt die Kühlleistung (blau) in ein Verhältnis zum eingesetzten Strom für die Umwälzpumpen (orange), welches die Effizienz bestimmt. Bei der Effizienz (grau) hat das Geocooling im August 2018 mit einem Wert von 30 den bisherigen Spitzenwert erzielt, dank Optimierungsmaßnahmen. Im Juni und Juli 2019 war die Effizienz zunächst nicht so hoch wie möglich, weil in dieser Zeit weitere technische Eingriffe zur Wartung der Umwälzpumpen vorgenommen wurden. Grafik: SUPSI

Luftfeuchtigkeit nun gesenkt und der Komfort der Bewohner entsprechend erhöht werden.

Darüber hinaus haben die Wissenschaftler der Tessiner Fachhochschule mit ihrer Untersuchung weitere Erkenntnisse gewonnen, die Planern künftig Anhaltspunkte für die richtige Dimensionierung von Geocooling-Anlagen liefern werden. Für die in Lugano mit einem Feld aus 13 Erdwärmesonden realisierten Anlage errechneten sie eine aktive Regeneration

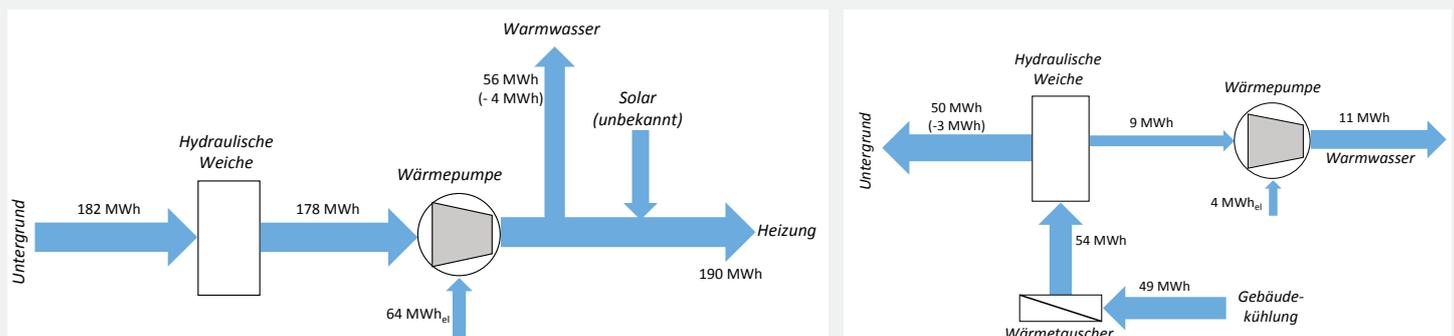
von rund 25%. Das heisst: Rund ein Viertel der Energie, die über den Winter zu Heizzwecken aus dem Untergrund entnommen wird, wird über den Sommer im Zuge des Geocoolings in den Boden zurückgegeben (vgl. dazu auch Grafik S. 3 oben). Dies ist auch deshalb wichtig, weil gegenwärtig die SIA-Norm 384/6 überarbeitet wird, welche eine hinreichende Regenerierung von Erdsondenfeldern unter anderem in urbanen und verdichteten Wohngebieten sicherstellen soll. Die Regenerierung ist wichtig, damit die Durchschnittstem-

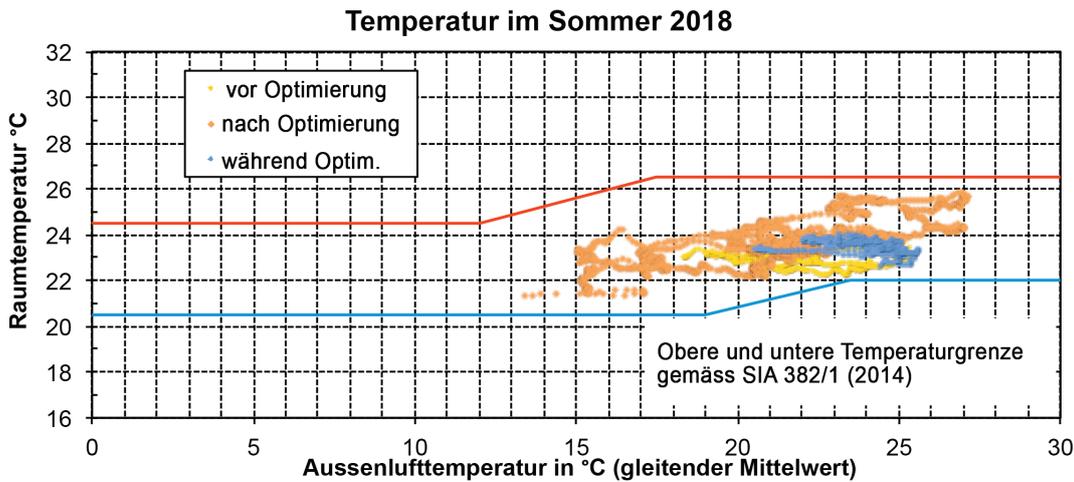
HEIZEN IM WINTER, KÜHLEN IM SOMMER

Die 13 Erdsonden unter dem Wohngebäude in Lugano reichen bis in eine Tiefe von 200 Metern. Die Erdsonden bestehen aus einem doppelt geführten, rund 40 mm starken Rohr aus Polyethylen, mit dem ein Wasser-Glykol-Gemisch (Sole) in den Boden gepumpt wird und dann nach dem Durchströmen des Untergrunds mit einer Temperatur von ca. 15 °C wieder an die Oberfläche gelangt. Diese Sole kann im Winter zu Heiz- und im Sommer zu Kühlzwecken verwendet werden. Dazu wird im Winter durch eine Sole/Wasser-Wärmepumpe die Wärme aus der Sole entzogen und damit das Wasser im Heizkreislauf auf 35 bis 40 °C gebracht, während im Sommer, wenn die Wärme vom Heizkreislauf an die Sole abgegeben wird, keine Wärmepumpe nötig ist (passive Kühlung). Das Wasser des Heizkreislaufs durchströmt dann mit der entsprechenden Temperatur die Rohre, die im Fussboden der Wohnungen verlegt sind und heizt (Winter) bzw. kühlt (Sommer) die Wohnungen.

Die beiden Grafiken zeigen die Energieflüsse für die Heizsaison 2017/18 (vgl. Grafik unten links) bzw. für Sommer 2018 (vgl. Grafik unten rechts). Alle aufgeführten Werte sind gemessen (Bemerkung: Momentaufnahmen der Messungen und Messtechnik führen zu scheinbaren Ungleichheiten in der momentanen Energie-Bilanz). Die mit Minuszeichen markierten Energieflüsse bezeichnen Rückflüsse. Wegen fehlender Messeinrichtung nicht quantifiziert ist der energetische Beitrag der Solarkollektoren, die auf dem Dach des Gebäudes platziert sind. Schätzungen zufolge decken diese in der warmen Jahreszeit rund die Hälfte des Warmwasserbedarfs. Im Winter ist ihr Energiebeitrag unbedeutend, daher ist er in der entsprechenden Grafik nicht aufgeführt. Die Wärme der Sonnenkollektoren (40 bis 60 °C) kann nicht für die Regenerierung des Erdsondenfelds verwendet werden, weil sonst das Wasser aus dem Untergrund zu warm wäre, um für die Raumkühlung genutzt zu werden.

Für Geocooling kommen im Prinzip alle Sole/Wasser-Wärmepumpen in Frage, von denen in der Schweiz rund 100'000 im Einsatz sind. Geeignet für Geocooling sind theoretisch auch die rund 6'000 in der Schweiz installierten Grundwasseranlagen. Je nach Bewilligungspraxis der verschiedenen Kantone ist es jedoch gar nicht oder nur in sehr begrenztem Masse zulässig, erwärmtes Wasser ins Grundwasser zurückzuleiten. BV





Die Grafik veranschaulicht die Wirkung der im Sommer 2018 vorgenommenen Optimierung der Geocooling-Anlage in Lugano: die Temperatur im Innern des Gebäudes konnte angehoben werden, insbesondere auch dann, wenn die Aussentemperatur recht hoch ist und damit die Bewohner sich auch auf eine höhere Innentemperatur einstellen. Die höhere Temperatur wurde von den Bewohnern als Verbesserung des Komforts wahrgenommen. Die in der Grafik dargestellten Daten beziehen sich auf Temperaturmessungen, die in einem der 46 Appartements vorgenommen wurden. Grafik: SUPSI

peratur im Bereich des Erdsondenfelds über die Jahre nicht abnimmt, was die Wärmeentnahme im Winter langfristig gefährden würde.

Geringe Investitions- und Betriebskosten

Heute führt die Minergie-P-Bauweise gerade bei Bürogebäuden mitunter dazu, dass unter anderem der sommerliche Wärmeeintrag über grosse Fensterflächen kaum mehr aus den Gebäuden abgeführt werden kann – eine Entwicklung, die von Fachleuten mit Sorge betrachtet wird. «Wir brauchen Gebäude, die über das ganze Jahr energieeffizient sind, und da kann der Boden als Energiespeicher eine wichtige Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund ist Geocooling eine interessante Option, den Boden zu regenerieren und den Bewohnern eines Gebäudes gleichzeitig einen interessanten Nutzen zu bringen», sagt Dr. Céline Weber, Leiterin des Forschungsprogramms Geoenergie beim Bundesamt für Energie.

Das Tessiner Projekt liefert mancherlei Anregungen auch für die Deutsch- und die Westschweiz, auch wenn die Erkenntnisse zur Dimensionierung von Anlagen nicht ohne weiteres übertragbar sind. Die Forscher aus Lugano haben im Zuge ihres Projekts auch eine Erfahrung gemacht, die bei künftigen Projekten Beachtung finden sollte: Im untersuchten Gebäude in Lugano hatten die Forscher als Ansprechperson einen Verwalter, der für wichtige Änderungen an der Heiz- und Kühlanlage mit den 46 Eigentümern der Liegenschaft Rücksprache halten musste, was nur an der einmal jährlich stattfindenden Eigentümerversammlung möglich war. «Es

ist deshalb wichtig, solche Anlagen von Beginn weg optimal zu planen, weil nachträgliche Optimierungen während des Betriebs bisweilen nur sehr mühsam umsetzbar sind», sagt Marco Belliardi.

- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Dr. Céline Weber (cweber[at]focus-e.ch). Sie leitet im Auftrag des BFE das BFE-Forschungsprogramm Geoenergie.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Geoenergie finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-geothermie.

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURMPROJEKTE DES BFE

Die Begleitforschung der Fachhochschule der Südschweiz (SUPSI) zum Luganeser Geocooling-Projekt gehört zu den Pilot- und Demonstrationsprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der nicht amortisierbaren, anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

- www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration