

WENN DAS GEBÄUDE ALS KOLLEKTOR FÜR WÄRME DIENT

Werden Erdwärmesonden dicht verlegt, kühlt das Erdreich über die Jahre nach und nach ab. Der Auskühlung lässt sich entgegenwirken, indem man das Erdreich in den Sommermonaten mit der Wärme regeneriert, die bei der aktiven Kühlung der zugehörigen Gebäude anfällt. Eine Studie der Ostschweizer und der Luzerner Fachhochschule zeigt Potenzial und Grenzen dieses Ansatzes auf.

Für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser sind Wärmepumpen heute eine bevorzugte Technologie. Die wachsende Dichte von Sole/Wasser-Wärmepumpen zieht nun aber ein neues Problem nach sich: Werden in einem Gebiet sehr viele Erdwärmesonden verlegt, kühlt das Erdreich über die Jahre nach und nach ab. Damit droht die Bodentemperatur auf unter -1.5 °C im Jahresdurchschnitt abzusinken. Diesen Wert hat der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) festgelegt, um ein Gefrieren des Erdreichs und Frostschäden auszuschliessen. Problematisch ist ferner, dass Wärmepumpen bei tieferen Bodentemperaturen weniger effizient arbeiten.

Abwärme aus aktiver Kühlung

«Aktuell ist die Auskühlung des Bodens noch kein akutes Problem, aber schon heute sind die Erdsonden in gewissen Gebieten so dicht verlegt, dass während der 50-jährigen Lebensdauer dieser Heizungssysteme mit einer deutlichen Auskühlung zu rechnen ist», sagt Florian Ruesch, Wissenschaftler am SPF Institut für Solartechnik an der Ostschweizer Fach-



Erdwärmesonden werden 50 bis 300 m tief verlegt. Sie bestehen aus parallel verlaufenden Kunststoffrohren, in denen ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel (Sole) zirkuliert. Foto: LSS Bohr AG

hochschule (OST). Diese Entwicklung lässt sich verhindern, wenn das Erdreich um die Erdwärmesonden in den Sommermonaten durch Zuführung von Wärme regeneriert wird. Dafür stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, beispielsweise Wärme aus Sonnenkollektoren oder Abwärme aus industriellen Prozessen.

Eine weitere Technologie ist das Geocooling (auch «Freecooling»): Die Wärme stammt in diesem Fall aus Gebäuden, die durch die sommerliche Hitze erwärmt wurden. Die Wärme der Innenräume wird durch das Wasser aufgenommen, das durch die Rohre der Bodenheizung zirkuliert. Dadurch werden die Räume gekühlt. Die Wärme gelangt über einen Wärmetauscher in die Erdwärmesonden und erwärmt rund um die Sonden das ausgekühlte Erdreich. Mit dem Verfahren wird ein Regenerationsgrad von 10 – 20 % erreicht; den Erdsonden wird also bis zu einem Fünftel der Wärme wieder zugeführt, die dem Boden in den Wintermonaten entzogen wurde. Da dieses Verfahren nur einen Wärmetauscher benötigt, aber keine Kältemaschine, spricht man von «passiver Kühlung».

Mit dem Klimawandel dürften die Hitzetage in den Sommermonaten künftig zunehmen. Damit entsteht ein Wärmeüberschuss, der sich für die Regeneration der Erdwärmesonden nutzen liesse. Um dies zu tun, reicht die «passive Kühlung» nicht aus. Benötigt wird eine «aktive» Kühlung, die dem Gebäude mehr Energie entziehen kann. Die technische Umsetzung gelingt zum Beispiel mit einer Wärmepumpe, die «um-



Zürich-Binz ist eines von vier städtischen Quartieren, die die Forschenden der Fachhochschulen OST und HSLU ihren Simulationen zur Regeneration von Erdwärmesonden zugrunde gelegt haben. Foto: B. Vogel

REGENERATION WIRD WICHTIGER

Der Einsatz von Sole/Wasser-Wärmepumpen zur Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser wird immer wichtiger. Die Stadt Zürich rechnet damit, dass solche Wärmepumpen künftig über 20 % der Wärme bereitstellen werden. Wird die Erdwärme intensiv genutzt, hat das Entzugsdichten von ca. 20-100 kWh/m² zur Folge. Die neue SIA-Norm 384/6 (2021) fordert bereits ab einer grundstücksflächenbezogenen Entzugsdichte von 8kWh/m², dass Erdwärmesonden entweder regeneriert oder länger ausgelegt werden müssen. Ab einer Entzugsdichte von ca. 33 kWh/m² ist eine Regeneration vorgeschrieben. Der weitere Ausbau von Heizsystemen mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden wird somit dazu führen, dass Erdwärmesonden zumal in städtischen Gebieten grossflächig regeneriert werden müssen.

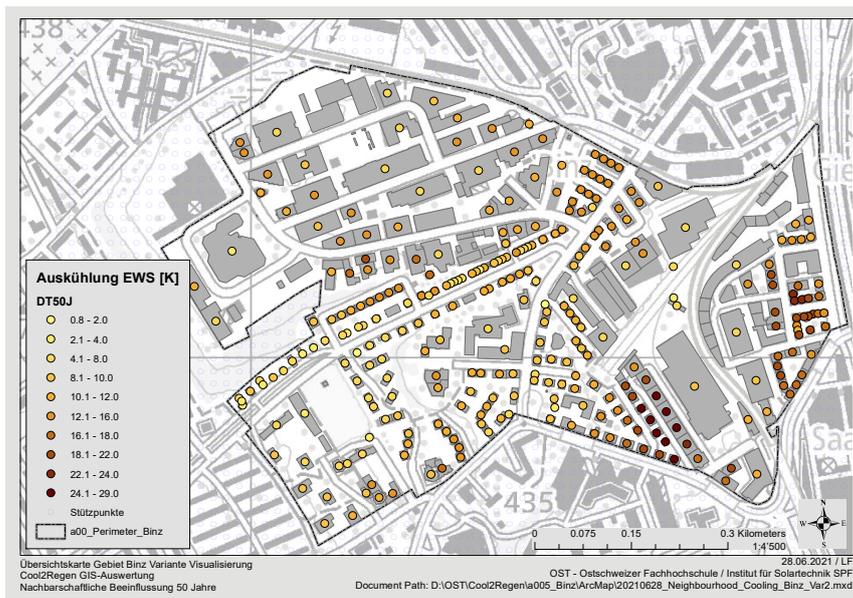
gekehrt» (reversibel) betrieben werden kann: Die Wärmepumpe liefert im reversiblen Betriebsmodus nicht Heizwärme für das Gebäude, sondern Regenerationswärme für das Erdreich.

Wachsender Kühlbedarf

Dieses Konzept hat Florian Ruesch mit einem Team der OST und der Hochschule Luzern (HSLU) untersucht. Da die im Handel erhältlichen Wärmepumpen zunehmend reversibel betrieben werden können, liegt der Einsatz zur Gebäudekühlung quasi auf der Hand. Zum Betrieb der Wärmepumpen bietet sich der überschüssige Photovoltaik (PV)-Strom an, der im Sommer bei einem fortschreitenden PV-Ausbau zu erwarten ist. «In den betrachteten Zukunftsszenarien kann erwartet werden, dass auf Quartierebene in den Sommermonaten die Menge an lokal produziertem PV-Strom den Strombedarf für die aktive Gebäudekühlung deutlich übertrifft und dass eine sehr gute zeitliche Korrelation zwischen diesen Grössen besteht», konstatieren die Autoren des Projektschlussberichts.

Die Forschenden von OST und HSLU haben die Versorgung mit PV-Strom für vier Quartiere in der Stadt Zürich und Rapperswil-Jona beispielhaft durchgerechnet. «In den betrachteten Quartieren könnte je nach Szenario 60-80% des elektrischen Bedarfs direkt durch PV-Strom gedeckt werden», halten sie fest. Diese Deckungsgrade könnten durch Einsatz von intelligenter Anlagesteuerung und/oder Kältespeiche-

Würden im Quartier Zürich-Binz alle Gebäude über Erdwärmesonden beheizt, würde der Boden innerhalb der nächsten 50 Jahre deutlich abgekühlt, wie die Grafik zeigt. Dargestellt ist dabei allein die Auskühlung aufgrund der benachbarten Sonden; zieht man die Auskühlung durch die eigene Sonde mit ein, ist die Abkühlung noch ausgeprägter. Die Abkühlung des Erdreichs kann durch Regeneration der Erdwärmesonden verhindert werden. Grafik: Schlussbericht Cool2Regen



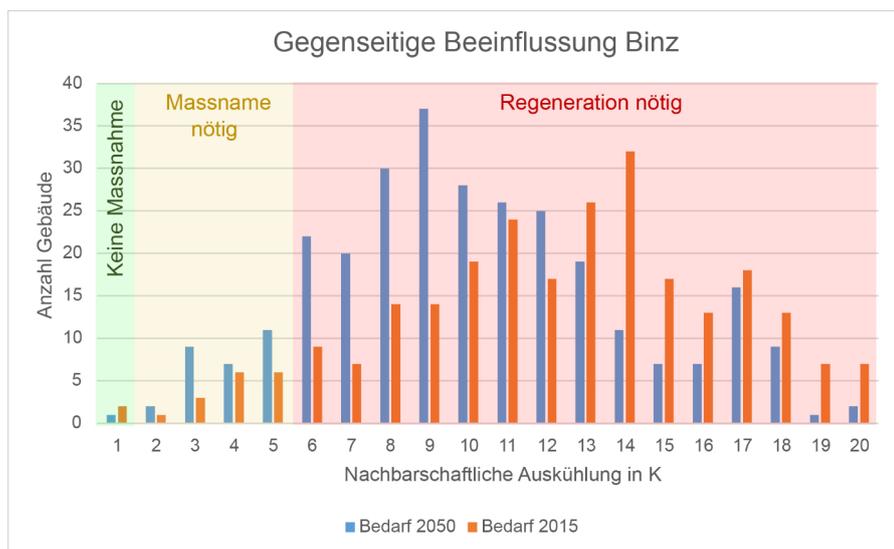
nung (z.B. mittels kalter Wasserspeicher) noch optimiert werden, vermuten die Forschenden.

Geeignet für Neubauten

Damit genug Wärme zur Regeneration der Erdwärmesonden zur Verfügung steht, braucht es Gebäude mit einem tiefen Wärmeverbrauch (gute Wärmedämmung) und mit einem hohen Wärmeeintrag (grosse Fenster). Zudem dürfen die solaren Gewinne nicht durch sommerliche Wärmeschutzmassnahmen wie Storen unterbunden werden. Um dies zu gewährleisten, müsste der heute übliche oder gar vorgeschriebene Sonnenschutz weggelassen werden. In Neubauten mit diesen Merkmalen rechnen die Studienautoren für das Jahr 2050 unter den Vorzeichen des Klimawandels damit,

dass einem Gebäude Energie von bis zu 20 kWh/m² entzogen werden könnte. Damit steht genug Wärme für eine weitgehende Regeneration der Erdsonden bereit. Fazit der Studienautoren: «Bei Neubauquartieren kann die Regeneration durch aktive Kühlung der Langzeitauskühlung des Untergrundes entscheidend entgegenwirken, wenn auf den Sonnenschutz verzichtet wird.»

Das bedeutet im Umkehrschluss: Greifen die Bewohnerinnen und Bewohner zum Sonnenschutz, lassen sich bereits keine relevanten Regenerationsgrade mehr erreichen. Unpraktikabel ist das Konzept bei Bestandsbauten: Diese sind in aller Regel nicht mit einer Bodenheizung ausgerüstet, über die sich die Raumwärme «einsammeln» lässt. Zudem dringt we-



Auskühlung des Bodens im Zürcher Binz-Quartier aufgrund benachbarter Erdsonden nach 50 Betriebsjahren. In diesem Maximal-szenario wird angenommen, dass der Wärmebedarf sämtlicher Gebäude mit Erdwärme gedeckt wird; das führt zu der theoretisch möglichen Abdeckung mit Erdwärmesonden. Die Darstellung zeigt, dass für praktische alle Heizsysteme eine Regeneration nötig wäre. Diese Aussage gilt auch dann, wenn man der Berechnung nicht den Wärmebedarf der Gebäude aus dem Jahr 2015 (rot) zugrundelegt, sondern den tieferen Wärmebedarf, der für das Jahr 2050 erwartet wird (blau). Grafik: Schlussbericht Cool2Regen

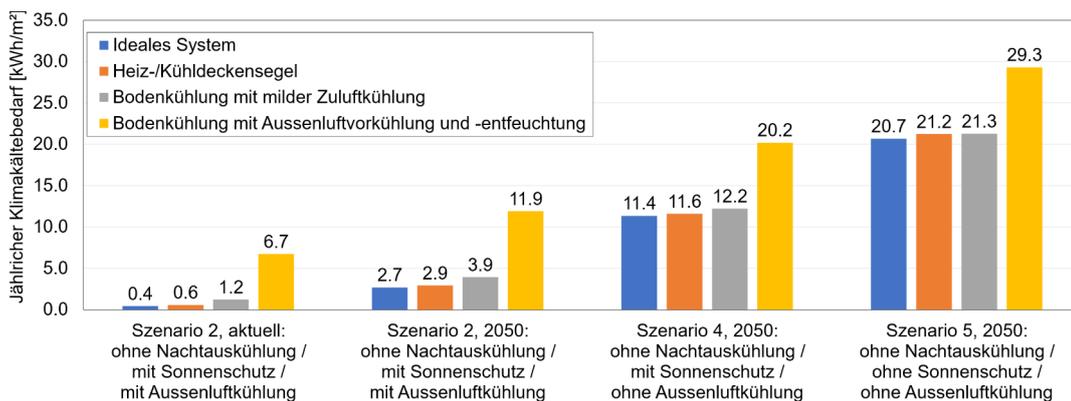
gen der generell kleineren Fenster nicht genug Wärme in die Wohnung bzw. es gibt wegen mangelnder Wärmedämmung einen hohen Wärmeverbrauch. Hier herrscht ein Kühlbedarf, der sich auch bei höheren Durchschnittstemperaturen in aller Regel durch passive Kühlung decken lasse, betonen die Autorinnen und Autoren der Studie.

Kostengünstiger Ansatz

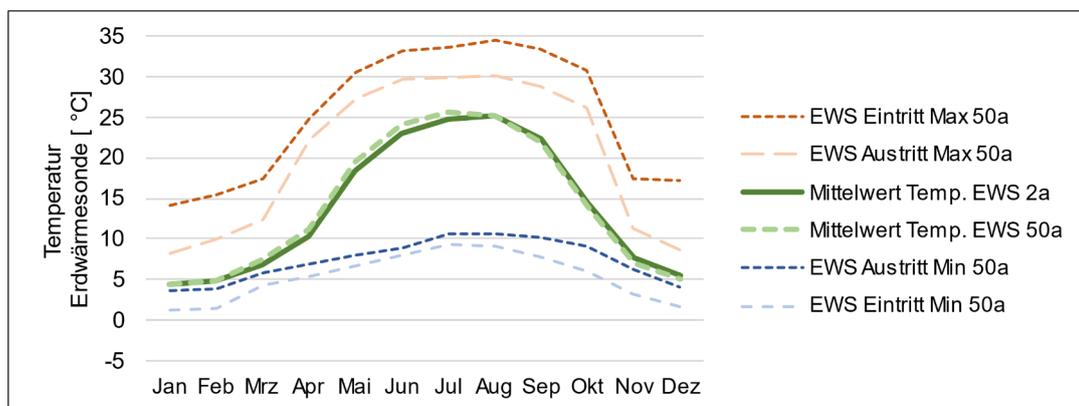
Bei Neubauten ist die Regeneration von Erdwärmesonden über aktive Kühlung der Gebäude unter den dargestellten Bedingungen nicht nur wirksam, sondern auch die kostengünstige Regenerationsmethode, hält das Studienteam vor dem Hintergrund seiner Berechnungen fest. Bei Einzelsonden sei die Wirtschaftlichkeit bei hohen Entzugsdichten im Quartier (40 bis 60 kWh/m²) gegeben, für grössere Anlagen mit mehreren Sonden sogar schon bei tieferen Entzugsdichten. Hierzu ist anzufügen, dass bei Einzelsonden eine Sondenverlängerung oft billiger ist als eine Regeneration durch aktives Kühlen, und dies selbst dann, wenn eine gewisse Lang-

zeitauskühlung durch nachbarschaftliche Beeinflussung berücksichtigt wird. Wird eine Sonde verlängert, kann diese mehr Wärme aus dem Erdreich aufnehmen.

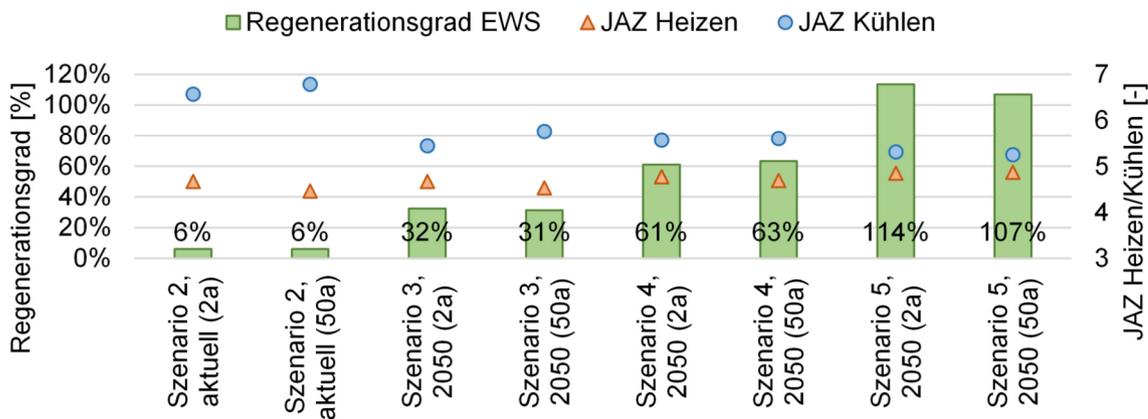
Ein Knackpunkt des OST-Konzeptes liegt beim Wärmeschutz: Die Regeneration der Erdwärmesonden über die Raumkühlung funktioniert nur, wenn Bewohnerinnen und Bewohner auf sommerliche Wärmeschutzmassnahmen wie z.B. Storenschliessen verzichten. Das heisst, das Gebäude wird bewusst aufgeheizt, um ihm die überschüssige Wärme anschliessend unter Einsatz von Strom zu entziehen. Um diesen Zusatzaufwand an Energie zu vermeiden, wird auf die aktive Kühlung von Wohngebäuden bisher weitgehend verzichtet. Aus Sicht der OST-Forschenden ist diese Zurückhaltung überholt, wie sie im Schlussbericht ihres Projektes schreiben: «Diese Regeln sind historisch gewachsen und berücksichtigen den steigenden Kühlbedarf durch den Klimawandel und die prognostizierte Überproduktion von Solarstrom im Sommer nicht.» Florian Ruesch ergänzt: «Wenn man Hausbesitzer dazu



Die vier Säulen ganz rechts zeigen die Situation, in der man ein Gebäude bewusst als «Wärmesammler» nutzt, um möglichst viel solare Wärme für die Regeneration der Erdsonden zu gewinnen. Durch Einbindung eines Lüftungssystems mit Aussenluftkühlung und Entfeuchtung kann zusätzlich Energie zur Regeneration aus dem Gebäude entzogen werden. Grafik: Schlussbericht Cool2Regen



Temperatur der Erdsonde eines Neubaus, der wegen bewusster Nutzung der Sonnenwärme einen hohen Kühlbedarf hat und somit viel Wärme zur Regeneration der Erdsonden bereitstellt: Die Erdsonde hat nach zwei Betriebsjahren (ausgezogene grüne Linie) praktisch die gleiche Temperatur wie nach 50 Betriebsjahren (gestrichelte grüne Linie). Anders ausgedrückt: Dank der hohen Regenerationswärme aus dem Neubau kann die Erdwärmesonde auch langfristig vollständig regeneriert werden. Grafik: Schlussbericht Cool2Regen



Ein aktiv gekühlter Neubau, in dem keine sommerlichen Wärmeschutzmassnahmen eingesetzt werden, erlaubt je nach Szenario einen Regenerationsgrad der Erdsonden von 114 %. Das heisst: Im Jahresverlauf wird der Erdsonde mehr Wärme (über Regeneration) zugeführt als ihr (für Heizzwecke) entzogen wird. Grafik: Schlussbericht Cool2Regen

bringt, mehr oder grössere Solaranlagen zu installieren, indem man das aktive Kühlen mit eigenem Solarstrom erlaubt, ist das sinnvoll. Denn eine grössere Solaranlage produziert auch im Winter, wenn kein Kühlbedarf besteht, mehr Strom, der dann für andere Anwendungen zur Verfügung steht.»

Passive Kühlung konsequent nutzen

Ob diese Position mehrheitsfähig wird, bleibt abzuwarten. Die SIA-Norm 180 schreibt vor, Gebäude müssten so geplant werden, dass angenehme Temperaturen allein durch passive Kühlung erreicht werden. «Solange wir die Überhitzung von Innenräumen mit Sonnenschutzmassnahmen verhindern können, sollten wir diese Massnahmen konsequent nutzen, statt zusätzlich Strom für die Kühlung von Wohngebäuden einzusetzen», sagt Nadège Vetterli, externe Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Gebäude und Städte. Sie verweist auf die Abwärme von Gewerbebauten und auf PVT-Kollektoren, die neben Strom auch Wärme produzieren und im Sommer überschüssige Wärme bereithalten: «Bevor wir diese Wärmequellen nicht konsequent für die Regeneration von Erdwärmesonden genutzt haben, sollten wir keinen Strom für die aktive Kühlung von Wohngebäuden einsetzen.»

➔ Der **Schlussbericht** zum Projekt «Cool2Regen – Aktives Kühlen von Gebäuden mit Wärmepumpen und Erdsonden für hohe Regenerationsgrade» ist abrufbar unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47563>

➔ **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Nadège Vetterli (nadege.vetterli@lanex.ch), externe Leiterin des BFE-Forschungsprogramms Gebäude und Städte.

➔ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Gebäude und Städte finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-gebaeude.