

ZWEI WÄRMEQUELLEN FÜR GROSSE GEBÄUDE

Wärmepumpen nutzen in der Regel Umweltwärme aus einer einzigen Quelle. Ein Forschungsprojekt der Ostschweizer Fachhochschule zeigt nun: Gerade bei der Versorgung grösserer Bestandsbauten kann es sinnvoll oder sogar notwendig sein, die Wärme von zwei Quellen heranzuziehen. Das kann zwar zu komplexeren Anlagen führen, bringt in vielen Fällen aber energetische und auch finanzielle Vorteile mit sich.

Für Heizung und Bereitstellung von Warmwasser werden in Neubauten heute überwiegend Wärmepumpen eingesetzt. Auch in Bestandsbauten finden diese Systeme zunehmend Verbreitung und lösen dabei fossile Heizsysteme ab. Dabei ist das Funktionsprinzip immer dasselbe: Wärmepumpen nutzen die in der Aussenluft, im Erdreich oder Grundwasser und Seen enthaltene Umweltwärme und «pumpen» diese auf die gewünschte Nutztemperatur. So lässt sich drei- bis viermal so viel Wärme erzeugen, wie die Wärmepumpe an Strom für den Betrieb braucht.

Wärmepumpen nutzen in der Regel eine einzige Wärmequelle. Heute ist das in drei von vier Fällen die Umgebungsluft. Bei grösseren Bauten wird nach Möglichkeit Erdwärme genutzt. Es kann jedoch Fälle geben, wo eine einzige Wärmequelle nicht ausreicht, wie Prof. Carsten Wemhöner von der Ostschweizer Fachhochschule (OST) sagt: «Das kann insbesondere bei grösseren Bestandsbauten mit hohem Wärmebedarf



Einer von zwei Wohnblocks der Überbauung 'Im Kehl' in Baden. Hier wird ein Wärmepumpen-Heizsystem mit zwei Wärmequellen in den nächsten Jahren praxisnah erprobt. Foto: Lägern Wohnen

und einer Heizleistung über 50 kW der Fall sein, wenn nicht genügend Platz vorhanden ist, um die nötige Zahl von Erdwärmesonden zu bohren, oder wenn die Bohrtiefe begrenzt ist. Die gleiche Ausgangslage ergibt sich, wenn der Einbau einer hinreichend gross dimensionierten Aussenluft-Wärmepumpe zu viel Lärm verursacht.» In solchen Fällen kann der Beizug einer zweiten Wärmequelle Abhilfe schaffen: Die zusätzliche Wärmequelle kompensiert die zu geringe Grösse des Sondenfelds, oder sie erlaubt es, die Aussenluft-Wärmepumpe kleiner (und damit leiser) zu bauen.

Sondenfeld schrumpft überproportional

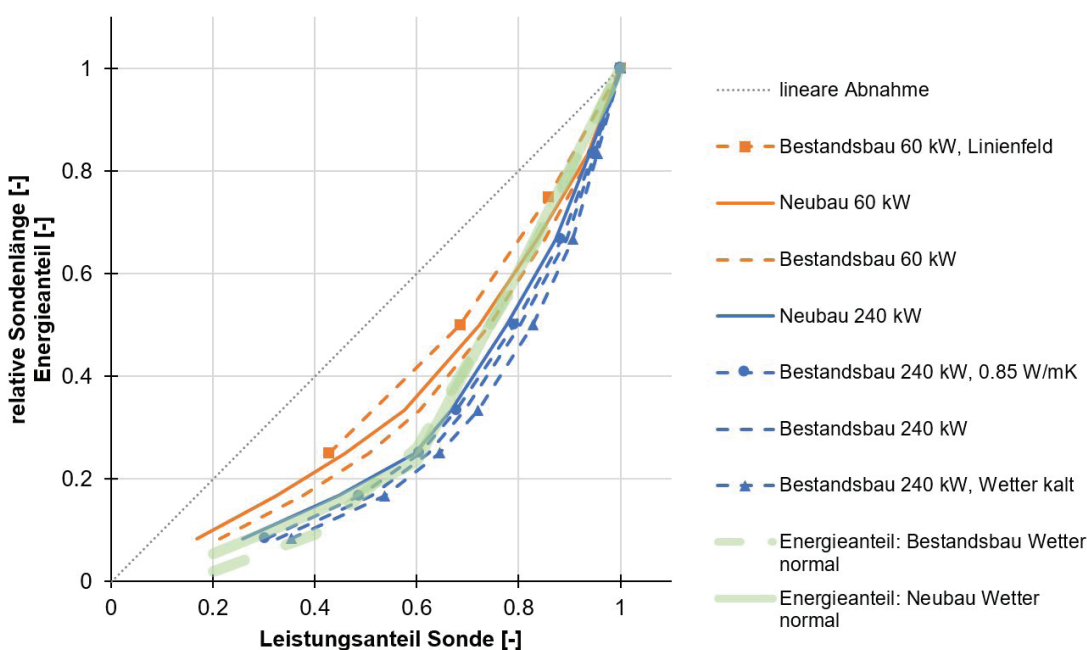
Wie aber sieht das Zusammenspiel zwischen zwei Wärmequellen bei der Versorgung eines Mehrfamilienhauses konkret aus? Und: Ist der Beizug einer zweiten Quelle finanzierbar? Diese Fragen haben Carsten Wemhöner und ein OST-Forschungsteam mit Gebäude- und Anlagensimulationen untersucht. Mit den Simulationen wurden Wohngebäude mit einer Heizlast zwischen 60 und 240 kW (entspricht einigen bis mehreren Dutzend Wohnungen) nachgebildet. Das dreijährige Projekt mit Unterstützung des BFE wurde im Herbst 2023 abgeschlossen.

Ausgangspunkt der Berechnungen war ein mittleres Mehrfamilienhaus, das bisher mit einer Gasheizung versorgt wurde und neu mit Umweltwärme beheizt wird. Um den Wärmebedarf dieses Hauses zu decken, wäre eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von rund 120 kW erforderlich. Um diese

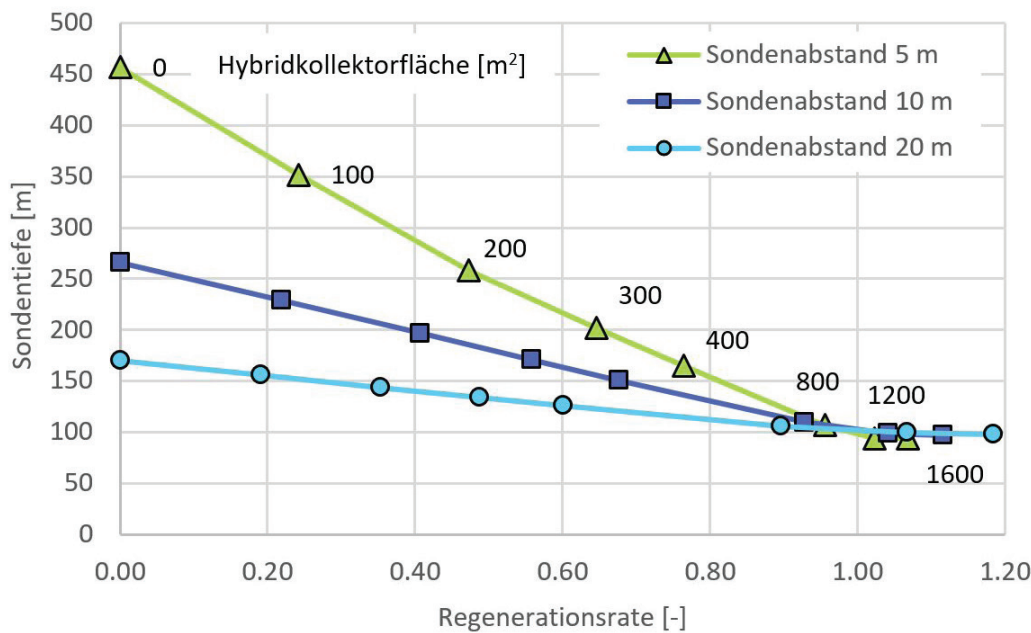
GROSSE WÄRMEPUMPEN HABEN NOCH POTENZIAL

Wärmepumpen kommen bei Einfamilienhäusern sehr häufig zum Einsatz, sind in Mehrfamilienhäusern – zumal in Bestandsbauten – aber noch weniger verbreitet. Diesen Schluss kann man aus den Verkaufszahlen ziehen, die die Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) jährlich veröffentlicht. Von den gut 41'000 Wärmepumpen, die im Jahr 2022 abgesetzt wurden, hatten 85 % eine Leistung zwischen 5 und 20 kW, wie sie typischerweise für die Beheizung eines Einfamilienhauses benötigt wird. Grosse Wärmepumpen im Leistungsbereich zwischen 50 und 350 kW, wie sie in der Regel für Mehrfamilienhäuser benötigt werden, machten hingegen nur 2,3 % des Absatzes aus. Auch wenn der Markt dadurch allfällig nicht ganz vollständig abgebildet ist, zeigt sich doch die Tendenz deutlich.

Leistung mit einer Erdsonden-Wärmepumpe zu erreichen, wären 12 Erdsonden mit 280 m Tiefe im Abstand von jeweils 10 Metern erforderlich. So viel Fläche für das Sondenfeld ist in städtischen Gebieten aber oft nicht vorhanden. In diesem Fall – so schlagen die OST-Forschenden vor – könnte die Heizleistung auf eine Erdsonden-Wärmepumpe und eine Aussenluft-Wärmepumpe mit jeweils 60 kW Heizleistung verteilt werden. Hierbei würde die Aussenluft-Wärmepumpe



Die Grafik stellt für verschiedene Gebäudetypen dar, wie viel Erdsonden benötigt werden, wenn nicht der ganze Wärmebedarf eines Gebäudes durch Erdwärme gedeckt wird (Leistungsanteil Sonde = 1), sondern nur ein Teil, also zum Beispiel 80 % (Leistungsanteil Sonde = 0.8) oder nur 50 % (Leistungsanteil Sonde = 0.5). Die Berechnungen der OST-Forschenden zeigen: Werden nur 80 % des Wärmebedarfs durch Erdsonden gedeckt, sind dafür nicht 80 % der ursprünglichen Sondenlänge nötig, sondern deutlich weniger. Werden nur 50 % des Wärmebedarfs durch Erdsonden gedeckt, braucht es nur 20 bis 40 % der ursprünglichen Sondenlänge. Grafik: OST



Die Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen Bohrtiefe und Regenerationsrate, wenn die Erdsonden einen Abstand von 5, 10 oder 20 Metern haben. Für die Regeneration der Erdwärmesonden wird die Wärme von unterschiedlich grossen PVT-Kollektor-Feldern verwendet, die gleichzeitig Strom und Wärme bereitstellen. Man erkennt, dass Einschränkungen in der Bohrtiefe und dem Platz für die Sonden über höherer Regenerationsraten entschärft bzw. beseitigt werden können, so dass eine Wärmepumpeninstallation ermöglicht wird. Grafik: OST

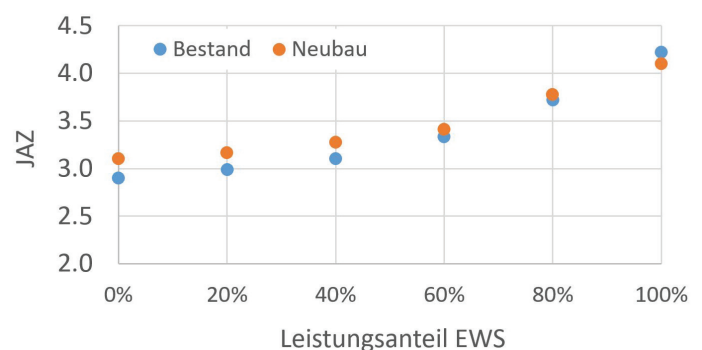
den Grundbedarf decken, die Erdsonden-Wärmepumpe hingegen nur für Bedarfsspitzen an kalten Tagen eingesetzt.

Mit dieser Doppellösung halbiert sich die benötigte Leistung der Erdsonden-Wärmepumpe. Das Interessante dabei: Das zugehörige Sondenfeld kann nicht nur um 50 %, sondern sogar um 75 % verkleinert werden, wie Berechnungen zeigen (vgl. Abbildung S. 2). Tatsächlich braucht es für den Betrieb der 60 kW-Erdsonden-Wärmepumpe nur drei Erdsonden. Warum das so ist, begründet Wemhöner so: «Die Leistung aus den Erdsonden wird selten abgerufen und dabei relativ wenig Energie entnommen, zudem kann sich das Erdreich um die Erdwärmesonden besser regenerieren.»

Zweite Wärmequelle regeneriert das Erdreich

In einem zweiten Teilprojekt untersuchten die Forschenden wieder ein gemischtes Heizsystem mit einer Erdsonden-Wärmepumpe und einer zweiten Wärmequelle (Luftwärmetauscher, Solarkollektoren, PVT-Kollektoren). Die zweite Wärmequelle dient primär zur Regeneration der Erdwärmesonden, kann aber bei Wärmeüberschuss auch zur direkten Deckung des Heiz-/ Warmwasserbedarfs eingesetzt werden. Unter Regeneration versteht man die Rückführung eines Teils der Wärme, der in den Wintermonaten der Erde entzogen wurde. Regeneration ist in vielen Fällen nötig, um das langfristige Auskühlen des Erdreichs zu vermeiden. In diesem Fall trägt die Erdsonden-Wärmepumpe die gesamte Heizlast. Sie muss folglich auf die volle Wärmequellenleistung von ca. 90 kW ausgelegt werden.

Das Zwei-Quellen-System hat aber einen anderen Vorteil: Dank Regeneration des Erdsondenfelds können die Sonden dichter gebohrt werden. Im vorliegenden Fall haben die Berechnungen ergeben, dass zum Beispiel durch den Einsatz einer Erdsonden-Wärmepumpe mit zusätzlichem Luft-Wärmetauscher mit 60 kW Leistung die Sondenanzahl von 12 auf 8 reduziert werden kann. Dabei gilt: Je mehr Energie in die Regeneration des Sondenfelds gesteckt wird, desto enger



Die Grafik zeigt, mit welcher Effizienz (Jahresarbeitszahl/JAZ) das Wärmepumpen-System arbeitet – abhängig davon, welchen Anteil die Erdsonden-Wärmepumpe an der gesamten Heizlast übernimmt. Liegt dieser Anteil bei 0%, wird die gesamte Wärme durch eine Aussenluft-Quelle bereitgestellt, die JAZ liegt dann bei ca. 3. Wird die Erdsonden-Wärmepumpe zur Spitzenlastdeckung eingesetzt und deckt z.B. 40 oder 60 % des Heizbedarfs, dann steigt die JAZ an – das Wärmepumpensystem arbeitet also effizienter. Am höchsten ist die JAZ bei einer Lösung, die ausschliesslich auf eine Erdsonden-Wärmepumpe abstellt (was bei Mehrfamilienhäusern aber oft aufgrund von Platzbeschränkungen nicht möglich ist). Grafik: OST

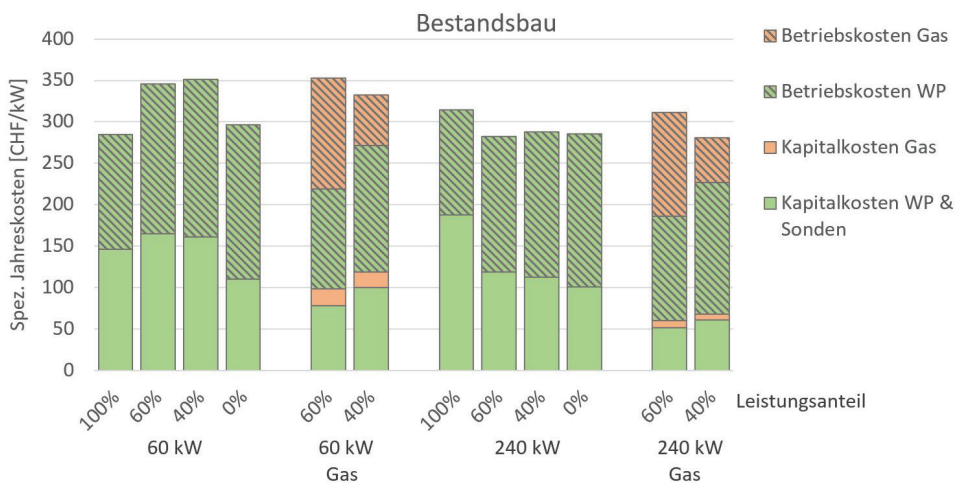


Diese Überbauung der Genossenschaft 'Lägern Wohnen' in Baden aus dem Jahr 1972 besteht aus zwei benachbarten Mehrfamilienhäusern mit je 28 Wohnungen (4180 m² beheizte Fläche). In den 1990er Jahren wurden die Gebäude leicht saniert (Wärmeverbrauch heute rund 600 MWh/a). Jetzt wird der Ölkessel (200 kW Heizleistung) durch zwei Wärmepumpen des Herstellers Bion Bauhaus, die die zwei Wärmequellen Erdsonden und Luft nutzen, ersetzt: Wegen des steilen Geländes steht für die Erdsonden nur die begrenzte Fläche des Parkplatzes für das Bohren von insgesamt 14 Sonden zur Verfügung. Zudem dürfen die Sonden wegen eines Artesers (hoher Wasserdruck) in 130 m Tiefe nur bis 120 m gebohrt werden. Als zweite Wärmequelle dient ein erweiterter Luftwärmetauscher. Das neue Heizkonzept mit zwei Wärmepumpen wird ab Spätherbst 2023 in einem Pilot- und Demonstrationsprojekt wirklichkeitsnah überprüft. Foto: Lägern Wohnen

können die Sonden verlegt bzw. desto stärker kann ihre Zahl reduziert werden. Simulationen zeigen, dass das finanzielle Optimum (tiefste Jahreskosten) bei einem Regenerationsgrad zwischen 60 und 80% erreicht wird.

Zwei Quellen mitunter günstiger als eine

Können Erdsondenfelder kleiner ausgelegt werden, erleichtert das den Einsatz von Wärmepumpen in städtischen Gebieten. Auch in finanzieller Hinsicht gibt es bemerkenswerte



Kosten pro kW Heizleistung für zwei Heizungsgrössen, wobei die Heizleistung entweder durch eine Zwei-Quellen-Wärmepumpe (Aussenluft-Wärmepumpe mit Erdwärme für Spitzenlastdeckung) oder durch eine Aussenluft-Wärmepumpe mit einem Gaskessel für Spitzenlastdeckung bereitgestellt wird. Die Grafik zeigt: Die Kosten der monovalenten Lösung nur mit Wärmepumpe können zu geringeren spezifischen Kosten führen als die Spitzenabdeckung durch Erdgas (abhängig von Marktpreisen, Marktpreise für Grafik von Juni 2022). Bei den Wärmepumpen-Lösungen ergeben sich wirtschaftliche Vorteile der Einzelquellen Erdsonden oder Luft für den kleineren Leistungsbereich von 60 kW. Die Einzelquellen sind jedoch bei Einschränkungen möglicherweise nicht zu realisieren. Zudem sind die Mehrkosten für eine Zweiquellen-Lösung um die 50 CHF/kW moderat und ermöglichen einen monovalenten Wärmepumpen-Betrieb ohne Nachheizung. Bei grösseren Leistungen nehmen die Kostenvorteile der einzelnen Quellen ab bzw. weisen sogar höhere Kosten auf, insbesondere bei der Erdsondenquelle. Grafik: OST

Vorteile, denn das Bohren von Erdsonden ist teuer. Nach Berechnungen der OST-Forschenden sind die Einsparungen so gross, dass dadurch der Zusatzaufwand für die Nutzung der zweiten Wärmequelle in vielen Fällen kompensiert oder sogar überkompensiert wird. Einfach ausgedrückt: Ein Zwei-Quellen-System kann über den Lebenszyklus hinweg günstiger sein als ein System mit einer einzigen Wärmequelle. «Wir ziehen daraus den Schluss, dass eine Wärmepumpen-Lösung mit zwei Quellen auch bei Mehrfamilienhäusern sinnvoll sein könnte, selbst wenn sich diese durch eine einzige Quelle versorgen lassen», sagt Wemhöner.

Ab Spätherbst 2023 sollen die Simulationen der OST-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler in einem Pilot- und Demonstrationsprojekt wirklichkeitsnah überprüft werden. Zu dem Zweck werden in Zusammenarbeit mit dem Planungs- und Gebäudetechnik-Unternehmen Amstein+Walthert, der Genossenschaft Lägern Wohnen als Bauherr und dem Wärmepumpenhersteller Bion Bauhaus zwei Mehrfamilienhäuser mit zusammen 56 Wohnungen mit einem Zwei-Quellen-Wärmepumpensystem ausgestattet. Mit einem Monitoring über drei Heizperioden wird die Performance des Systems analysiert. Von einem günstigen Ergebnis könnte ein wichtiger Impuls für einen breiteren Einsatz von Wärmepumpen in grossen Wohn- und Bürogebäuden aus dem Bestand hervorgehen. Heute werden Wärmepumpen zwar öfter mit Gaskesseln zur Spitzendeckung kombiniert, reine Wärmepumpenlösungen mit zwei Wärmequellen hingegen sind noch eine Rarität.

- Den **Schlussbericht** zum Forschungsprojekt «HP source – Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen» unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47519>
- **Auskünfte** erteilt Stephan Renz, externer Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte: info@renzconsulting.ch
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wärmepumpen und Kälte finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/ec-wp-kaelte