**Zeitschrift:** Tec21
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
**Band:** 141 (2015)
**Heft:** 34: Thermische Netze

**Artikel:** "Die Trägheit löst hier einige Probleme"
**Autor:** Egger, Nina
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-595528

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 14.07.2025

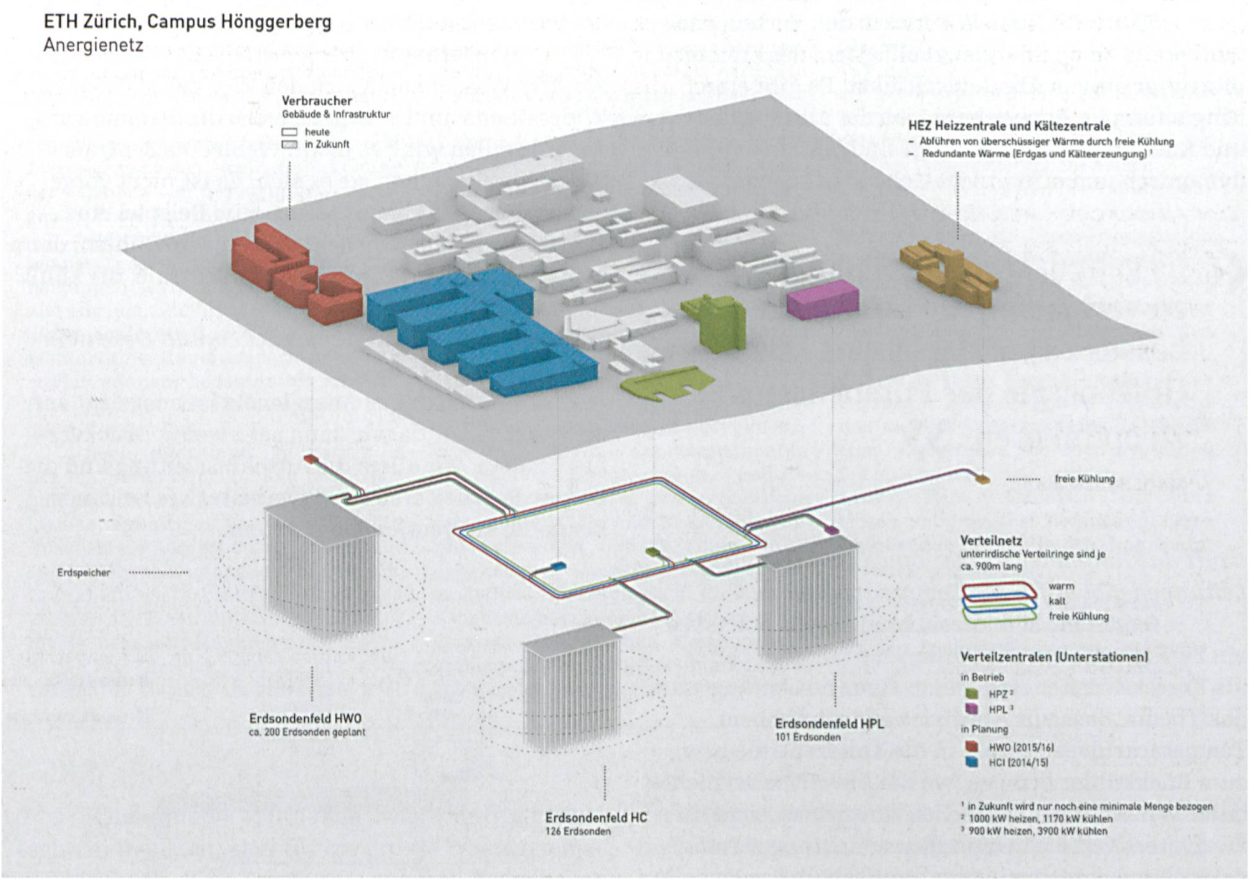
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

ANERGIENETZ WIRD ZUM STAND DER TECHNIK

# «Die Trägheit löst hier einige Probleme»

An der ETH Hönggerberg Zürich benötigen 10 000 Personen jährlich 27 GWh Wärme und 16 GWh Kälte. Zur Deckung wird das Anergienetz seit 2013 laufend ausgebaut. Zwei beteiligte Planer berichten von ihrer Arbeit.

Text: Nina Egger




**Übersichtsplan der Wärmeversorgung am Hönggerberg.** Farbig die bereits umgesetzten Etappen, grau die geplanten.

*Herr Gautschi, Herr Häusermann, Sie haben das thermische Netz der ETH Zürich am Hönggerberg geplant. Welchem Zweck dient es?*

**Gautschi:** Die bestehende Heizzentrale der ETH war abzulösen, weil der Heizkessel saniert werden musste. Es kam die Frage auf, wie die Energieversorgung am Hönggerberg in Zukunft aussehen kann. Ziel war, die $CO_2$-Emissionen bis 2020 um 50% zu reduzieren. Über verschiedene Varianten wurde das realisierte Anergienetz entwickelt. Anergie ist Energie, die nicht direkt eine Arbeit verrichten kann.

*Ein Wärmenetz auf niedrigen Energieniveau.*

**Gautschi:** Genau. Wasser in Form von 8 bis 20 °C wird erst durch eine Wärmepumpe veredelt. Auf der Kälteseite stimmt der Begriff Anergie physikalisch nicht, denn man kann mit kaltem Wasser direkt kühlen. Anergienetz war ein Übungstitel, im

Markt spricht man sonst von kalter Fernwärme. Am Hönggerberg haben wir eine thermische Vernetzung, bei der wir die Gebäude über diesen Veredelungsprozess heizen, aber auch direkt kühlen. Die Synergie liegt in der Prozesskälte, der Laborkälte und der Klimakälte, die über dieses Netz produziert werden.

*Es gibt dort gleichzeitig Kälte- und Wärmebedarf.*

**Gautschi:** Teilweise gleichzeitig, teilweise auch saisonal verlagert. Gerade im Sommer brauchen wir vor allem Wasser, um Klimakälte zu produzieren. Zugleich können wir so die Erdspeicher für die Übergangszeit und den Winter regenerieren. Derzeit gibt es drei von voraussichtlich fünf Erdspeichern.

*Momentan existiert ein einzelner Ring, an dem alle drei Speicher angeschlossen sind. Ein lineares oder sternförmiges Netz stand nie zur Diskussion?*

**Gautschi:** Nein. Wir hatten den Vorteil, dass wir bereits einen Energiekanal hatten, der kreisförmig unter diesem Areal durchführt. Es gibt eine Ringleitung im Energiekanal, an der alle Speicher und Energiecluster angehängt sind. Sie sind völlig dynamisch und offen, nicht Gebäuden zugeordnet.

> « Es geht darum, die Technologien zu verbinden, die Hydraulik besser zu verstehen und die Hilfsenergie der Pumpenströme zu optimieren. »
>
> Marc Häusermann

*Läuft das Ringnetz bidirektional? Und wie viele Leitungen gibt es für die Temperaturniveaus?*

**Gautschi:** Ja, bidirektional. Eigentlich ist es ein Zweileiter, aber wir haben einen dritten Leiter als Korrekturleiter eingeplant. Ganz am Anfang war das Thema, dass wir Abwärme auf sehr hohem Temperaturniveau direkt in die Kältezentrale bzw. zum Rückkühler bringen, wo die Abwärme vernichtet wird. Wir wollten diese hohen Abwärmen nicht im Zweileiter, weil die Temperaturschichtung zerstört würde. Und der Ring hat hydraulisch grosse Vorteile.

*Was sind diese Vorteile?*

**Gautschi:** Wir können den Druckverlust halbieren. Und eine allfällige Erweiterung ist einfacher. Wenn wir andere Stadtteile versorgen würden, sähen wir nicht einen grossen Ring, sondern eher einzelne Arealringe, die mit anderen Arealringen vernetzt werden, wie eine Kette.

*Das wäre dann ein vermaschtes Netz (vgl. Glossar S. 26).*

**Gautschi:** Genau das ist jetzt Thema bei einem grösseren Netz: bei der Familiengenossenschaft am Fuss des Uetlibergs in Zürich.

*Um auf die hydraulischen Vorteile zurückzukommen: der Druckverlust halbiert sich, weil ein Fluss in beide Richtungen möglich ist.*

**Gautschi:** Das ist der eine Vorteil. Der andere Vorteil ist die Redundanz. Wenn wir irgendwo ein Problem hätten, eine undichte Leitung, dann könnten wir einseitig versorgen.

*Gibt es für dieses Energienetz ein Monitoring?*

**Gautschi:** Aus dem Monitoring werden circa monatlich die Daten ausgelesen und dann beurteilt. Diese Daten werden in weitere Systeme und auch in die Entwicklung des Anergienetzes einfliessen.

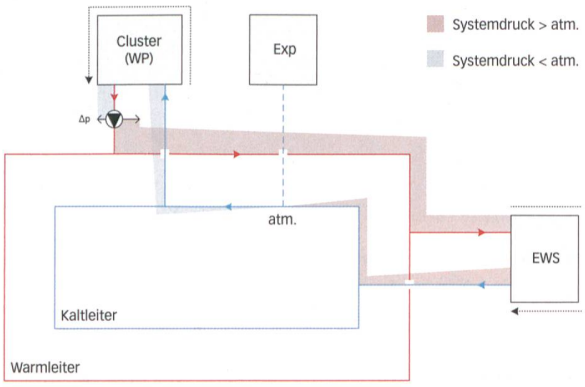
**Häusermann:** Die Komponenten sind gut erforscht. Es geht darum, die Technologien zu verbinden, die Hydraulik besser zu verstehen und die Hilfsenergie der Pumpenströme zu optimieren.

*Wie löst man Probleme in der Hydraulik – gerade bei Bidirektionalität?*

**Häusermann:** Wir geben die Strömung nicht vor. Das Wasser sucht sich den Weg des geringsten Widerstands, und so ergeben sich die Strömungen. Regeln wollen wir das nicht. Wenn eine Zentrale Wasser braucht, holt sie es sich. Es ist nicht vorgegeben, woher es kommt. Wenn zum Beispiel eine Zentrale im Heizbetrieb ist und eine im Kühlen, dann kommt die Wärme direkt von der Zentrale, die kühlt.

*Wie sieht es denn mit den Drücken und Geschwindigkeiten im Netz aus?*

**Gautschi:** Das Anergienetz ist ausgelegt auf maximal 1 m/s, da wir dann sehr wenig Druckverluste haben. Vor allem die Anschlussleitung und die Erdsonde generieren Druckverluste, wie bei einem kleineren konventionellen System.




**Die Netzpumpen in den Clustern** sind jeweils am Zentralenaustritt nach den Verbrauchern installiert. Das Anergiewasser wird von diesen Umwälzpumpen über alle Verbraucher im Cluster via Ringleitung in die Erdwärmesondenfelder gefördert und gelangt von dort wieder zurück zu den Verbrauchern. Die Grafik zeigt, wie der **Leitungsdruck** von der Pumpe weggehend abfällt. Geriete der Druck unter den Verdampfungspartialdruck, bestünde die **Gefahr von Kavitation**.

## Warm statt heiss

Wird uns unser Trinkwasser durch Legionellen gefährlich, wenn wir mit Anergie heizen? Eine simulationsgestützte Bewertung von Warmwasserbereitungsprinzipien für Niedertemperaturfernwärmesysteme liefert Antworten.

Die Wirtschaftlichkeit vieler Fernwärmenetze hat sich aufgrund der unsicheren Preisentwicklung fossiler Energieträger und der engen Verknüpfung mit dem europäischen Strommarkt in den letzten Jahren signifikant reduziert.

Alternative Wärmequellen wie Solarthermie, oberflächennahe Geothermie und Umgebungswärme sowie industrielle Abwärme haben im Regelfall ein niedriges Temperaturniveau, was ihre Nutzung in der «traditionellen» Fernwärme mit Vorlauftemperaturen zwischen 90 und 120 °C erheblich erschwert. Doch es gibt auch Wärmenetze, die mit Vorlauftemperaturen zwischen 35 und 65 °C an das Temperaturniveau dieser alternativen Quellen angepasst sind (sogenannte Niedertemperaturfernwärme-, darunter Anergienetze). Vorteile niedriger Vorlauftemperaturen sind ausserdem reduzierte Wärmeverteilverluste und Investitionskosten sowie die Erhöhung der Effizienz von Erzeugungstechnologien, z. B. der Rauchgaskondensation.

Während die niedrigen Vorlauftemperaturen mithilfe von Fussbodenheizungen (ca. 35 °C), Betonkernaktivierung (ca. 25 °C) oder ausreichend dimensionierten Radiatoren (ca. 40 °C) komfortable Raumtemperaturen herstellen können, bedeuten sie eine Gefahr für die Trinkwasserbereitung durch Legionellen.

Legionellen sind im Wasser lebende, Sporen bildende und potenziell humanpathogene Bakterien. Wenn man legionellenhaltiges Wasser z. B. beim Duschen als Aerosol einatmet, besteht das Risiko, an Legionellose (Legionärskrankheit) zu erkranken. Stehendes Wasser zwischen 20 und 50 °C bietet ideale Lebensbedingungen für Legionellen, im Bereich von 30 bis 45 °C vermehren sie sich am stärksten. Erst ab einer Temperatur von 55 °C ist keine Vermehrung mehr möglich. Temperaturen von 60 °C aufwärts töten Legionellen ab. Kaltes Trinkwasser ist daher möglichst kühl zu halten, während Trinkwarmwasser im ganzen System immer 55 °C überschreiten sollte. Die SIA 385/1 schreibt 60 °C am Ausgang des Wassererwärmers vor.

In dem gerade abgeschlossenen österreichischen Forschungsprojekt FFG Nr. 834582, «NextGenerationHeat» (das die Autoren leiteten), wurden ökologisch und ökonomisch sinnvolle Konzepte für Niedertemperaturfernwärmenetze mithilfe von vier repräsentativen Fallbeispielen entwickelt. Schwerpunkte waren die simulationsbasierte Analyse und der Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Erzeugung von Warmwasser mit Vorlauftemperaturen zwischen 35 und 65 °C. Hierbei wurden folgende Prinzipien (auch in Kombination) eingesetzt:

- direkte Erzeugung des Warmwassers im Durchlaufprinzip – dabei wird immer nur so viel Warmwasser bereitgestellt, wie gerade benötigt wird. Ein Vorteil dieser Variante ist, dass kein Warmwasser gespeichert wird und somit eine Gefährdung durch Legionellen ausgeschlossen werden kann.
- Einsatz unterschiedlicher Zusatzheizungen. Diese sollen das Trinkwasser auf das geforderte Temperaturniveau anheben. Dabei wurde als Zusatzheizung u. a. eine Wärmepumpe untersucht, die Fernwärme als Wärmequelle nutzt. Der Vorlauf der Fernwärme wird dabei für den Verdampfer sowie den Kondensator verwendet.

Basierend auf diesen Prinzipien wurden mehrere Übergabestationstypen inklusive Auslegung der Komponenten (Speicher, Wärmetauscher etc.) und Regelungsstrategien für unterschiedliche Anwendungsfälle und Randbedingungen entwickelt und in einer Multiengineering-Simulationsumgebung modelliert. Das ermöglicht die hydraulische und energetische Simulation von diversen thermischen Komponenten und berücksichtigt dabei unterschiedliche Regelungsstrategien und Phänomene wie beispielsweise dynamisches Verhalten und Rückströmungen.

Mithilfe bestehender Monitoringdaten einer Übergabestation in einem österreichischen Nahwärmenetz wurden die Simulationen validiert. Daraufhin simulierte man das Verhalten der entwickelten Übergabestationstypen in Parametervariationen der Randbedingungen Temperatur, Wetter, Nutzung etc. Zur Auswertung der Simulationen wurden Indikatoren wie Rücklauftemperaturen, Primärenergiebedarf und $CO_2$-Emissionen ausgewertet. Hierbei nutzte man die Werte der OIB-Richtlinie. Die eingesetzten Wirkungsgrade bzw. der COP (Coefficient of Performance) der Wärmepumpe basierten auf Literaturdaten bzw. dem üblichen Stand der Technik.

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen zeigen, dass auch bei sehr niedrigen Vorlauftemperaturen die hygienische Bereitung von Warmwasser garantiert werden kann. Durch die Wahl geeigneter Übergabestationen lassen sich der Primärenergiebedarf bis zu 10 % und die $CO_2$-Emissionen bis zu 45 % reduzieren, wobei jene Varianten mit einer Wärmepumpe als Zusatzheizung die niedrigsten $CO_2$-Emissionen verursachen sowie den geringsten Bedarf an Primärenergie aufweisen.

Die ökonomische Bewertung steht noch aus. Es ist schwierig, verlässliche Informationen zu Investitionskosten von nicht marktüblichen Übergabestationen zu erhalten. Ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Niedertemperaturfernwärme werden geringere Wärmegestehungskosten sein, die die höheren Investitionen für die technisch aufwendigeren Installationen auf der Verbraucherseite ausgleichen. Die Ergebnisse einer geplanten Sensitivitätsanalyse werden dahin gehend weitere Aufschlüsse liefern und zeigen, unter welchen Bedingungen eine ökonomisch sinnvolle Nutzung dieser Systeme möglich ist.

*Ralf-Roman Schmidt*, Ralf-Roman.Schmidt@ait.ac.at, *Markus Köfinger*, Markus.Koefinger@ait.ac.at, *Daniele Basciotti*, Daniele.Basciotti@ait.ac.at, alle Austrian Institute of Technology

**Häusermann:** Wir haben zwar relativ geringe Geschwindigkeiten, aber für die grosse Wassermenge grosse Pumpen. Eine Erkenntnis aus dem Betrieb war, dass wir die Pumpen sehr langsam hochfahren, um keine Druckschwankungen im Netz zu erzeugen.

*Die Druckverluste können auch zu Kavitation führen. Wenn der Verdampfungspartialdruck unterschritten wird, bilden sich Dampfbläschen, die die Pumpen zerstören können, wenn sie schlagartig kollabieren.*

**Häusermann:** Zu Beginn war der Systemdruck auf 4 bar. Verschiedene Tests unter Extrembedingungen haben gezeigt, dass bei gewissen hydraulischen Konstellationen Kavitation auftreten kann. Kurzfristig konnte das Problem mittels leicht höherem Systemdruck stabilisiert werden. Mittlerweile sorgt der Energiemanager dafür, dass die einzelnen Cluster nicht auf Spitzenlasten gefahren werden. Kavitation konnte durch die eingeleiteten Massnahmen seither nicht mehr nachgewiesen werden.

*Wie funktioniert die Mess-, Steuer- und Regelungstechnologie des Systems und des Energiemanagers?*

**Gautschi:** Die Zusammenarbeit mit der ETH ist da sehr gut. Der Energiemanager schaltet die Pumpen möglichst nicht gleichzeitig ein, um Spitzen zu vermeiden, weil es bei den Wärmepumpen hydraulisch ein Problem gäbe, wenn sie in Unterdruck gingen. Überraschend war, dass wir am Anfang schneller als erwartet in Betrieb gekommen sind. Wir hatten bei den Inbetriebnahmen mit grösseren Problemen gerechnet, als das wirklich der Fall war.

**Häusermann:** Die Trägheit löst hier auch einige Probleme. Allein in der Ringleitung sind rund 600 Kubikmeter Wasser. Das ist eine riesige Speichermasse, die wir verwenden können. Zu Beginn wollten wir zu viel regeln. Wir regeln jetzt weniger, und das System wird dadurch um einiges stabiler.

*Das Netz hat im aktuellen Ausbaustand eine Ringleitung und drei Zentralen. Wie geht es weiter?*

**Gautschi:** Der Ring hat den Endausbau erreicht und wird nicht mehr erweitert. Es werden sicher zwei weitere Cluster angehängt und wahrscheinlich zwei Erdspeicher. Aktuell ist in Diskussion, dass wir zusätzlich mit einer Transitleitung einen Teil von Affoltern versorgen. Wir haben den Ring nur in einem Ausnahmefall erweitert: für den Bereich HW (studentisches Wohnen am Hönggerberg).

**Häusermann:** Der Grund war, dass wir an diesem Standort eine Zentrale und einen Erdspeicher haben und keine zwei Komponenten einander direkt zuordnen wollen. Das heisst: Die Ringleitung wurde verlängert, sodass auch dieser Erdspeicher im Heizbetrieb sein kann, während die Zentrale kühlt. Sie werden sich nicht gegenseitig beeinflussen.

> « Mit diesem System haben wir die Möglichkeit, die Wärme zu verlagern und dann zu verwenden, wenn sie gebraucht wird. »
>
> Marc Häusermann

*Wenn eine neue Komponente, ein Cluster oder Ähnliches angeschlossen wird, ändert sich wieder alles. Es resultiert entweder ein höherer Kälte- oder Wärmeverbrauch als davor.*

**Gautschi:** Es ist wichtig, dass der Energiemanager die verschiedenen Zentralen untereinander koordiniert. Das System ist in dieser Hinsicht sehr flexibel.

**Häusermann:** Die Bilanz müssen wir kontrollieren. Es macht keinen Sinn, nach einem Jahr schon auf Tendenzen zu reagieren, das System ist sehr träge.

*Über die Jahre sollten Energiebedarf und -eintrag ungefähr gleich sein. Wie würden Sie reagieren, falls die Sonden das Erdreich langsam abkühlen?*

**Gautschi:** Dann braucht es einen Plan B, zum Beispiel weitere Quellen, die man einbeziehen kann. Oder man reduziert die Entnahme aus dem Netz. Oder man versucht, im Sommer hohe Temperaturen in den Erdspeicher einzulagern. Bei der ETH haben wir eher das Problem, dass die Abwärme jedes Jahr zunimmt.

*Heisst das, Sie könnten das Erdreich aufwärmen?*

**Gautschi:** Ja. Deshalb versuchen wir, weitere Nutzer ans System zu hängen, um eine saisonal verlagerte Kühlmaschine zu erwirken.

**Häusermann:** Wir möchten am Ende der Heizperiode ein kaltes Netz, damit wir die Kälte im Sommer zur Kühlung einsetzen können. Und am Sommerende möchten wir wieder ein warmes Netz, damit die Wärmepumpen mit guten Wirkungsgraden laufen. Diese Schwankung ist gewollt.

*Was war das Spannendste an dem Projekt?*

**Gautschi:** Etwas Neues entwickeln zu dürfen. In der Strategieentwicklung waren wir völlig frei. Es war sehr spannend zu schauen, mit welcher Software wir das berechnen könnten, weil es auf dem Markt nichts gab. Wir sind dauernd daran, verschiedene Ansätze zu konsolidieren, um dann wirklich einmal ein funktionierendes Programm zu haben, mit dem wir Gesamtsysteme simulieren können. Heute kann man Speicher und Ringleitungen simulieren, aber die Bidirektionalität, die Dynamik ist nicht ganz einfach abzubilden.

Wir glauben, dass wir auch in Zukunft die Flüsse im Anergienetz selbst nicht genauer simulieren müssen. Wichtig sind der Druckverlust und die Grösse der Erdspeicher, wie auch der dynamische Abgleich der verschiedenen Cluster, inklusive der richtigen Dimensionierung der Pumpenanlagen.

Da reden wir nicht von klar definierten Betriebskennlinien, sondern es gibt einen Bereich, in dem die Pumpe funktionieren muss (vgl. «Maschen und Knoten»).

**Häusermann:** Es ist spannend, wenn man auf einem Areal mit einer so hohen Energiedichte Wärme und Kälte benötigt. Mit diesem System haben wir die Möglichkeit, die Wärme zu verlagern und sie dann zu verwenden, wenn sie gebraucht wird. Wir haben unterschiedliche Temperaturniveaus und können sie so kombinieren und vernetzen, dass wir ihr Potenzial maximal ausnutzen. Und jetzt haben wir Monitoringdaten aus zweieinhalb Jahren, die nachweisen, dass das System vielleicht sogar noch besser funktioniert als berechnet. •

*Nina Egger*, Redaktorin Gebäudetechnik

**Thomas Gautschi** ist Departementsleiter Energie/Industrie bei Amstein+Walthert AG. Er realisiert diverse Arealvernetzungsprojekte, bei denen die übergeordnete Energiestrategie im Vordergrund steht.

**Marc Häusermann** leitet bei Amstein+Walthert AG die Projekte Anergienetz ETHZ Hönggerberg und Richti-Areal Wallisellen. Er setzt die zugrundeliegenden Energiekonzepte und übergeordneten Strategien in die Tat um.