

Bewährtes verbessern

Autor(en): **Eicher, Hanspeter / Hennemann, Philippe**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **141 (2015)**

Heft 34: **Thermische Netze**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-595527>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

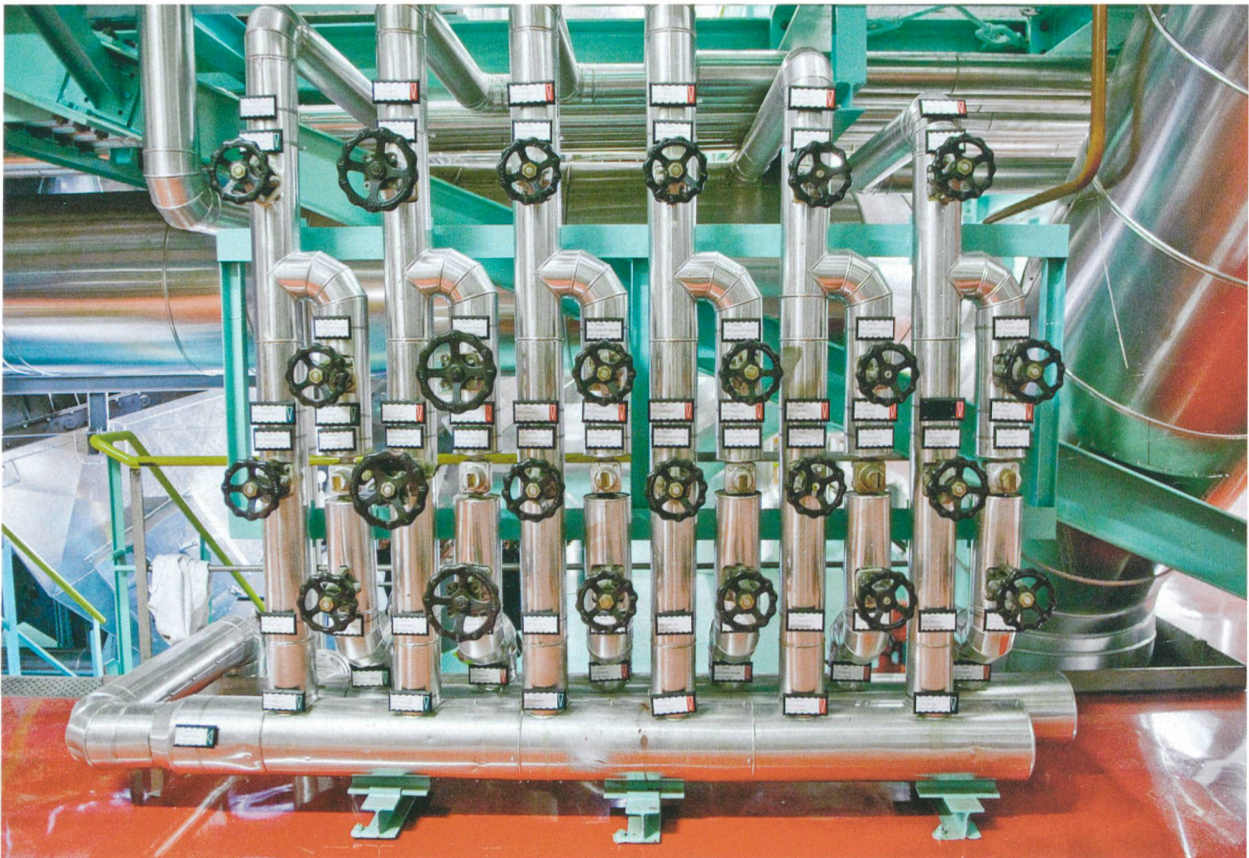
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ETABLIERTE NETZE

Bewährtes verbessern

Wie hat sich die Fernwärme entwickelt? Hat sie überhaupt eine Zukunft? Experten, die im selbst im Bereich der thermischen Netze tätig sind, beschreiben die aktuelle Situation und ihre Vorgeschichte.

Text: Hanspeter Eicher, Philippe Hennemann



Kesselentwässerungsstation des Holzheizkraftwerks (HHKW) Aubrugg. Die Wärme-Kraft-Kopplungsanlage für Mittellastbetrieb wird im Winter als Ergänzung zum Kehrichtheizkraftwerk von ERZ Entsorgung+Recycling Zürich betrieben.

Längerfristig wird der Wärmebedarf für Raumheizung stark abnehmen, da die bestehenden Gebäude sukzessive instand gesetzt oder durch Neubauten ersetzt werden. Falls eine erneuerbare Energieversorgung mit einer Heizquelle pro Gebäude kostengünstiger ist, stellt sich die Frage, ob Fernwärme und Fernkälte (zentrale Kälteversorgung) überhaupt noch eine Zukunft haben. Eine kürzlich publizierte Studie¹ beziffert die in den nächsten 50 Jahren realisierbare Wärmeeinsparung im Gebäudepark auf ca. 50%, basierend auf heute verfügbaren Technologien. Eine weitere Studie² zeigt, dass auch dann noch 40% des Wärmeverbrauchs in dicht bebauten Gebieten anfallen werden. Verteilnetze

für Nah- und Fernwärme liegen dort wirtschaftlich in einem vernünftigen Bereich. Wichtiger noch, in dicht bebauten Gebieten wird es häufig gar nicht oder nur sehr teuer möglich sein, jedes Gebäude einzeln mit erneuerbaren Energien zu versorgen. Erdsonden beispielsweise brauchen Platz, der in solchen Gebieten oft gar nicht verfügbar ist (vgl. TEC21 9–10/2015). See- und Grundwasser kann ohne Fernwärme nur von direkt angrenzenden Einzelgebäuden genutzt werden.

Stehen zur Versorgung dieser dichten Verbrauchszentren mit Fernwärme überhaupt ausreichend erneuerbare Energieträger zur Verfügung? Dies wurde für die gesamte Schweiz untersucht.² Neu war, dass bisher wenig beachtete erneuerbare Wärme- und Kältequellen wie See-, Fluss- und Grundwasser in die Unter-

suchung einbezogen wurden und dass mit einem neuen Verfahren untersucht wurde, ob die erneuerbaren Energiequellen genügend nah an den verbrauchsreichen Gebieten liegen. Die Resultate zeigen, dass das Potenzial den Bedarf weit übersteigt. Zwei aktuelle Beispiele aus Zürich demonstrieren, wie Fernwärme als erneuerbarer Energielieferant funktionieren kann: die Abwärmenutzung aus der Abwasserreinigungsanlage Werdhölzli und aus der Swisscom-Zentrale Binz.

Auf Bundesebene ist die CO₂-Gesetzgebung das zentrale Element für die Förderung der Fernwärme. Ein wichtiges Steuermittel der Kantone für die Förderung erneuerbarer Fern- und Nahwärme ist die Vorgabe einer Energieplanung für grössere Gemeinden. Zahlreiche Gemeinden sind heute Energiestädte und haben sich unter anderem als Ziel gesetzt, ihre Wärmeversorgung möglichst umfassend auf erneuerbare Energien umzu-

stellen. Mit ihren gemeindeeigenen Gebäuden (wie Schulen und Verwaltungsbauten) setzen diese Gemeinden vielfach Impulse für den Bau einer Nahwärmeversorgung und beteiligen sich auch finanziell an der Realisierung der Anlagen.

Mit höherem Wärmeabsatz höhere Wirtschaftlichkeit

Die Fernwärmekosten ergeben sich hauptsächlich aus den Kosten für die Wärmebereitstellung und die Wärmeverteilung. Die Bereitstellungskosten hängen primär von der Art der (erneuerbaren) Energiequelle und einer optimalen Planung der Energiezentrale ab. Die Wärmeverteilkosten andererseits werden ganz entscheidend von der Grösse und Wärmedichte des versorgten Gebiets bestimmt.

Im Wandel der Zeit

In archäologischen Stätten der Römerzeit (ca. 100 v. Chr.) konnte nachgewiesen werden, dass heisses Wasser mittels Leitungen in Becken und für Heizungen in Gebäude transportiert wurde. Auch das weltweit erste städtische Fernwärmenetz in Chaudes-Aigues (einem Dorf im Süden des französischen Zentralmassivs) nutzte ab dem Jahr 1332 das dort vorhandene über 80 °C heisse Thermalwasser, um es in hölzernen Rohren in die Häuser zu leiten.

Die ersten Heizungen mit einer Zentrale ausserhalb der Wohngebäude wurden um die Jahrhundertwende des 19./20. Jahrhunderts gebaut:

- 1876 wurden in Lockport (USA) einige Wohnhäuser mit einer separaten Heizung von einem Schuppen aus mit Wärme versorgt. Die Vorteile dieser Beheizung (Sicherheit, Sauberkeit, Wirtschaftlichkeit) gegenüber den damaligen Einzelfeuerstellen hat man rasch erkannt, sodass schon ein paar Jahre später in New York Lizenzen für einen öffentlichen Fernheizbetrieb erteilt wurden. Innerhalb von zehn Jahren entstanden ähnliche Systeme in 20 Städten der USA.
- In Stockholm wurde 1878 eine Kesselanlage errichtet, die die Gebäude eines Krankenhauses mit Fernwärme versorgte.
- Auch in Deutschland begann im gleichen Zeitraum die Entwicklung von grösseren Fernheizungen. Vor allem Krankenanstalten wollten aus hygienischen Gründen keine Einzelfeuerstätten in den Krankenzimmern haben. So wurden in den 1870er-Jahren grössere Fernheizungen zur Eigenversorgung von Spitälern gebaut. Aber auch Industrieunternehmen begannen, benachbarte Wohngebäude mit Wärme zu versorgen. 1893 versorgte das erste Elektrizitätswerk in Hamburg das neue Rathaus mit Wärme. Damit entstand die erste öffentliche Wärme-Kraft-Kopplungsanlage in Deutschland.

Waren es bis zum Ersten Weltkrieg einzelne Städte, die eine Fernwärmeversorgung aufbauten, so entwickelte sich die Fernwärme nach 1920 rasant. Die grosse Verteuerung und der Mangel an Brennstoffen führten zu rationellen Nutzungen durch Erweiterungen von Fernwärmenetzen. Der Energieträger für die Fernwärmeerzeugung war zunächst Kohle, dann hauptsächlich Öl, in den 1970er-Jahren vermehrt Gas, Kehrlichtverbrennung und später auch Holz. Die ersten Netze wurden hauptsächlich mit Dampf betrieben. Erst in den 1950er-Jahren setzte sich Heisswasser wegen der grösseren Wärmekapazität und der Wirtschaftlichkeit durch.

Die erste Fernwärmeheizung in der Schweiz wurde durch die Stadt Zürich 1904 mit dem Kehrlichtheizkraftwerk Josefstrasse in Betrieb genommen. Heute weist das Zürcher Fernwärmenetz eine Länge von 160 km auf. Weitere Städte wie Lausanne (Inbetriebnahme 1934, heutige Länge 100 km) und Basel (Inbetriebnahme 1942, heutige Länge über 200 km) folgten.

Der Absatz an Fernwärme entwickelte sich von 8140 TJ/a im Jahr 1980 auf 17935 TJ/a im Jahr 2014 und beträgt

heute 3% des Endenergieverbrauchs von Haushalten, Industrie, Dienstleistungsbetrieben und Landwirtschaft in der Schweiz. Darin noch nicht inbegriffen sind die vielen kleinen Fernwärmeverbände, die Biomasse, Umwelt- und Abwärme nutzen, da diese von der Statistik nicht erfasst werden. Der Gesamtanteil an Fernwärme wird auf 6 bis 7% geschätzt.

Heute speisen alternativ auch Niedertemperaturnetze mit Vorlauftemperaturen von 40 °C unter anderem die Bodenheizungen in Wohnhäusern. Tiefe Vorlauftemperaturen (auch von Anergie) weisen viele Vor- und wenige Nachteile auf. Als Quelle können Abwärme, Geothermie und Solaranlagen genutzt und kombiniert werden. Die Verteil- und Umwandlungsverluste verringern sich, und die technischen Anforderungen an die Leitungen sind geringer. Nachteilig wirkt sich aus, dass weniger Energieinhalt pro Leitungsvolumen transportiert werden kann – dadurch steigen die Investitionskosten für die Fernwärmeleitungen.

Peter Zaugg-Strickler, dipl. El. Ing. FH/NDS Energie, Gruner Gruneko AG, Peter.Zaugg@gruner.ch



Wärmetransportleitungen einer Geothermieanlage in Wairakei (Neuseeland).

Die Wärmeverteilungskosten sollten unter den heutigen Rahmenbedingungen 5 Rp./kWh nicht übersteigen. Dies bedeutet, dass pro kWh jährlichem Wärmeabsatz maximal 1 Fr. in das Wärmenetz investiert werden darf. Bei Gesamtkosten des Netzes von 2000 Fr. pro Meter Trassenlänge benötigt man damit einen Wärmeabsatz von 2 MWh/m. In rein städtischen Gebieten mit höheren Kosten pro Meter Trasseelänge muss der Wärmeabsatz entsprechend höher liegen.

Die gesamten Fernwärmekosten sollten die Gesamtkosten einer dezentralen Heizungsanlage nicht wesentlich übersteigen. Ein geringer Preisunterschied (+10%) lässt sich rechtfertigen, da der Wärmebezüger den Betrieb der Anlagen vollständig dem Wärmelieferanten überlassen kann.

Fernwärmenetze benötigen einen langfristigen Investitionshorizont, betragen doch die Nutzungsdauer und damit die Abschreibungszeit mehr als 40 Jahre (bei der Geothermie liegt sie bei 20 Jahren). Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über diesen langen Zeithorizont sind mit vielen Unsicherheiten behaftet. Umso wichtiger ist es, dass die politisch gesetzten Rahmenbedingungen, wie die CO₂-Abgabe, bestehen bleiben, bis die Ziele der Klimapolitik erreicht sind.

So grün wie der eingesetzte Energieträger

In einem ersten Schritt ist ein geeignetes Absatzgebiet für Fernwärme und Fernkälte festzulegen, das einen wirtschaftlichen Betrieb der zukünftigen Versorgung zulässt. Ausgangspunkt kann ein vorliegender Energierichtplan oder die Energieplanung einer Gemeinde sein. Häufig initiieren auch Kontraktoren eine Fernwärmeplanung. Weiters braucht es eine genügende Zahl von bedeutenden Wärmeabnehmern. Dann wird die Lage der Energiezentrale festgelegt. Als Energieträger müssen vorwiegend erneuerbare Energien oder Abwärme eingesetzt werden; nur dann ist Fernwärme nachhaltig. Danach beginnt die eigentliche Planung des Netzes und der Zentrale. Diese läuft grundsätzlich gemäss Leistungsmodell des SIA ab, aber es gibt einige Erfahrungsgrundsätze zu berücksichtigen:

- Synergien mit anderen erdverlegten Leitungen sind durch gleichzeitiges Realisieren wenn möglich zu nutzen.
- Für ein kostengünstiges Fernwärmenetz braucht es eine möglichst hohe Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur. Die Temperatur sollte aber einen Wert von 120°C nicht überschreiten, damit keine teuren Betonkanäle zur Aufnahme der Fernwärmeröhre notwendig werden. Die Vorlauftemperatur eines preiswerten Fernwärmenetzes beträgt üblicherweise 90 bis 95°C.
- Die Rücklauftemperaturen sollen unter 50°C liegen, was bei bestehenden Gebäuden meist eine Anpassung der Wärmeverteilung im Gebäude erfordert.
- Die Anlagen sind so auszulegen, dass der Anteil des erneuerbaren Energieträgers im Jahresmittel 85 bis 95% beträgt. Dies ist erfüllt, wenn ihre Leistung bei Auslegungstemperatur etwa 45 bis 55% der gesamten

Wärmeleistung ausmacht. Die restliche Leistung kann durch einen fossil betriebenen Spitzenkessel erbracht werden, der im Winter auch für die höhere Vorlauftemperatur sorgt.

- Verbraucherseitig beträgt die Vorlauftemperatur im Sommer idealerweise 67°C. Damit kann Warmwasser jederzeit mit 60°C (legionellenfrei) bereitgestellt werden. Diese Vorlauftemperaturen können Wärmepumpen mit Ammoniak effizient erreichen.
- Bei Abwärmquellen, insbesondere in der Industrie, muss man für den Ausfall der Wärmequelle bereits im Konzept eine mögliche Alternative definieren (vgl. «Die Trägheit löst hier einige Probleme», S. 27).

Für den Wärmekunden ist der Betrieb einfach. Er hat einen langjährigen Vertrag mit festgelegten Wärmepreisen und braucht sich weder um Brennstoffeinkauf noch um den Betrieb der Anlage zu kümmern. Wenn er Wärme mit einem sehr hohen Anteil erneuerbarer Energie erhält, kann er damit auch speziell hohe Anforderungen, wie jene für 2000-Watt-Areale, erreichen.

Heiss, kalt, warm, kombiniert?

Früher bedingten die Prozesswärmebedürfnisse von angeschlossenen Spitälern hohe Netztemperaturen der städtischen Fernwärmeversorgung (vgl. «Im Wandel der Zeit», S. 23). Hohe Vorlauftemperaturen ermöglichen zwar eine grosse Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur und damit eine hohe Leistungskapazität bei geringen Rohrdurchmessern. Allerdings sind Netze über 120°C in der Erstellung und im Unterhalt nicht nur teuer, sondern weisen auch hohe Wärmeverluste auf.

Der Trend geht eindeutig in Richtung tieferer Vorlauftemperaturen. Kleinere und mittelgrosse Fernwärmeverbünde werden heute meist mit Vorlauftemperaturen von 95°C betrieben, da bei Rücklauftemperaturen von 50°C und weniger eine genügend hohe Temperaturspreizung besteht, um mit vernünftigen Leitungsdurchmessern auszukommen.

Sobald in einem Gebiet nicht nur Wärme, sondern auch Kälte benötigt wird, stellt sich die Frage, wie eine leitungsgebundene Versorgung erfolgen soll. Wenn der Kältebedarf im Vergleich zum Wärmebedarf klein ist, kommt weiterhin ein klassisches Fernwärmesystem zum Zug, und es ist besser, die Kälte dezentral zu erzeugen.

Bei ausgeglichenem Wärme- und Kältebedarf ist die bewährte Lösung ein separates Verteilnetz für Wärme und Kälte. Dabei ist das Kälteverteilnetz so zu dimensionieren, dass auch erneuerbare Kälte, zum Beispiel aus See- oder Grundwasser, genutzt werden kann. Machbar sind jedoch auch alternative Systeme, zum Beispiel Niedertemperaturnetze, die direkt erneuerbare Kälte liefern. Die Wärmeerzeugung erfolgt dann dezentral mittels Wärmepumpen. Eine andere Alternative sind Anergienetze (vgl. «Die Trägheit löst hier einige Probleme», S. 27), die zum Beispiel in Kombination mit Speichersystemen wie Erdspeichern oder See- und Flusswasser für die Versorgung vieler dezentraler Wärme- und Kälteverbraucher eingesetzt werden können.

In der **Energiezentrale des Kasinoareals Aarau** wird rund 80% der benötigten Wärme erneuerbar erzeugt. Dem in grossen Mengen vorhandenen Grundwasser wird dazu mittels Wärmepumpe Energie entzogen. Gleichzeitig dient es auch als Kältequelle. Die **kombinierte Wärmepumpe/ Kälteanlage** der Industriebetriebe Aarau liefert 10400 MWh Wärme und 3200 MWh Kälte pro Jahr.



Das **Dreispiessareal in Basel** ist ein Beispiel für den Trend zu immer tieferen Vorlauftemperaturen. Bis vor einigen Jahren wurden in der Schweiz weitgehend klassische Nah- und Fernwärmenetze mit Vorlauftemperaturen bis zu 160°C realisiert. Die Überschusswärme der ARA Basel speist in der Wärmezentrale des Stüchi-Areals Basel einen **Absorber zur Kälteversorgung**. Für die Wärmeversorgung wird der 160°C heissen Überschusswärme kühleres Rücklaufwasser beigemischt, um so die Vorlauftemperatur von 120°C zu erhalten.



Ob sich solche alternativen Netztypologien einsetzen lassen, hängt primär von Kosten-Nutzen-Überlegungen ab und muss in jedem Fall speziell geprüft werden (vgl. «Knoten und Maschen», S. 31).

Nach wie vor marktfähig

Solange Anergienetze noch ein Nischendasein führen, werden weiterhin klassische thermische Netze installiert. Sie haben sich am Markt bewährt und passen sich laufend aktuellen Erwartungshaltungen an Energielieferanten an, indem sie erneuerbare Energie liefern.

Das Stüchi-Areal in Basel benötigt für ein Einkaufszentrum, ein Hotel und einen Businesspark viel Wärme und Kälte. In der ARA Basel entstehen aus der Klärschlammverbrennung im Sommerhalbjahr mehr als 9000 MWh ungenutzte Überschusswärme mit einer Temperatur von 160°C. Diese wird über eine Heisswasserleitung zur Energiezentrale transportiert. Dort ist die grösste Absorptionskälteanlage der Schweiz installiert, die aus dieser Hochtemperaturabwärme während acht Monaten Kälte erzeugt. Sobald die Ausstemperatur unter 5°C fällt, kommt erneuerbare Kälte aus Umgebungsluft zum Einsatz, die Hochtempe-

raturabwärme dient zum Heizen. Nicht mehr anders nutzbare Niedertemperaturabwärme aus einer Sondermüllverbrennungsanlage deckt die Grundlastwärme ab. Sie steht mit einer Leistung von 4.7 MW und einer Temperatur von 62 bis 65 °C zur Verfügung. Sobald die Leistung nicht mehr ausreicht, wird mit Heisswasser aus der Klärschlammverbrennung nachgeheizt. Insgesamt liefern die Industriellen Werke Basel über eine Fernwärme- und Fernkälteverteilung jährlich 9500 MWh Kälte und 15000 MWh Wärme.

Das durch die Oberland Energie AG betriebene Biomassezentrum in Spiez ist ein ausgeklügeltes Wiederverwertungssystem, das das grosse Potenzial biogener Stoffe zur Herstellung von CO₂-neutraler Energie nutzt. Die Anlage besteht aus einer Vergärungsanlage, einem Kompostierwerk sowie einer Alt- und Restholzheizung. Durch die Vergärung entsteht Biogas. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) wandelt dieses in Strom und Wärme um. Die Abwärme aus dem Biogas-BHKW wird mittels Fernwärme zur Mehrzweckhalle «ABC Zentrum» geleitet und dort für Raumheizung und Warmwasserbereitung genutzt. Der durch die Alt- und Restholzheizung erzeugte CO₂-neutrale Dampf mit 12 bar gelangt über eine Ferndampfleitung von ca. 450 m Länge zu einem Hersteller von chemischen Zwischenprodukten und dient dort für Produktionsprozesse. Heute kann der Betrieb 3.6 Mio. l Heizöl und 9000 t CO₂ pro Jahr einsparen. Dampf ist ein hervorragender Energieträger und gerade bei grossen Trans-

portdistanzen sehr effizient. Diese Anlage zeigt auch das Potenzial für die Substitution von fossilen Energieträgern bei der Bereitstellung von Prozesswärme. Ebenfalls ist eine Fernwärmeversorgung mit Abwärmenutzung aus der Altholzverbrennung in Betrieb. Sie versorgt einen Wärmeverbund in Spiez mit 5900 MWh/a. Der Wärmeverbund betreibt zusätzlich ein erdgasbeheiztes Blockheizkraftwerk (Strom- und Wärmeproduktion) mit 2900 MWh/a zur Spitzenlastabdeckung. Das Biomassezentrum erhielt den Watt d'Or 2012 des Bundesamts für Energie.

Die klassische Fernwärme findet nach wie vor Anwendung, wenn ein Gebiet oder eine Produktionsstätte erneuerbarer, wirtschaftlicher und im Betrieb einfacher thermischer Energie bedarf. (Zu den Potenzialen der jüngeren und weniger heissen Technologien vgl. «Die Trägheit löst hier einige Probleme», S. 27, und «Knoten und Maschen», S. 31.) •

Hanspeter Eicher, dipl. Masch. Ing. HTL, dipl. Physiker, Hanspeter.eicher@eicher-pauli.ch, *Philippe Hennemann*, dipl. Ing. HLK FH, philippe.hennemann@eicher-pauli.ch, beide Dr. Eicher+Pauli AG

Anmerkungen

- 1 Rainer Bacher, Armin Binz, Hanspeter Eicher, Rolf Iten, Mario Keller: EnergieRespekt. Zürich 2014
- 2 Sres, Nussbaumer, Eicher: Langfristperspektiven für erneuerbare Nah- und Fernwärme in der Schweiz. eicher+ pauli 2014

Glossar

GRUNDBEGRIFFE

Quelle (Energiebereitstellung, Lieferant), **Senke** (Bezüger, Verbraucher, Abnehmer)

Vorlauf bezeichnet den Medienstrom von der Quelle zur Senke, **Rücklauf** den Strom in die andere Richtung. Im Rücklauf der Wärmeversorgung sind Druck und Temperatur tiefer als im Vorlauf.

Zweileiter-, Dreileiter-, Vierleitersystem: Je nach Versorgungskonzept und Wärmebedarf unterscheidet sich die Anzahl an Leitern für Vorläufe und Rückläufe. Gibt es z.B. zwei Vorläufe für Heizen und Kühlen mit einem gemeinsamen Rücklauf auf einem mittleren Temperaturniveau, ist das ein Dreileitersystem.

RICHTUNGEN

Unidirektional: Klassische Netze sind immer unidirektional. In einem unidirektionalen Netz wird die Wärme aus einer Heizzentrale (Quelle) mittels eines Hauptstrangs und diverser Nebenstränge zu den Gebäuden (Senken) verteilt.

Bidirektional: In einem bidirektionalen Netz gibt es Medienströme in beide Richtungen, d.h., eine Senke kann zur Quelle werden, indem Abwärme aus Kühlprozessen ins Netz gespeist wird. Pumpen können im Pump- oder Saugbetrieb eingesetzt werden.

NETZTOPOLOGIE

Linear: Entlang eines Hauptstrangs sind alle Verbraucher angeschlossen.

Sternenförmig: Vom (zentral gelegenen) Energieerzeuger gehen lineare Stränge in mehrere Richtungen.

Ringförmig: Verbraucher und Erzeuger sind entlang eines geschlossenen Rings angeordnet. Medienströme können in beiden Richtungen (ungerichtet) von einem Erzeuger zu einem Verbraucher gelangen.

Vermascht: Mehrere Ringe sind über Knoten miteinander verbunden. Bidirektionale vermaschte Netze sind adaptier- und erweiterungsfähig. Neue Komponenten können in das Netz integriert werden, ohne dass dies durch die Kapazität eines Hauptstrangs limitiert wird.

NETZTYPEN

Klassische Fernwärme: Für die Wärmeversorgung gibt es einen Vor- (Temperaturbereich 40°C–160°C) und Rücklauf. Im Fall einer Kälteversorgung gibt es getrennt davon je einen eigenen Vor- (Temperaturbereich 6–20°C) und Rücklauf. Damit handelt es sich um ein Vierleitersystem.

Anergie: Energie besteht aus zwei Teilen, der Exergie und der Anergie. Anergie ist der Teil einer Gesamtenergie, der in einem Prozess keine Arbeit verrichten kann.

Anergienetz: Die Referenz an den physikalischen Begriff «Anergie» ist darin begründet, dass niederwertige Wärmeenergie erst durch Wärmepumpen nutzbar gemacht werden muss. Der Begriff Anergienetz hat sich etabliert, um eine spezifische thermische Vernetzung zu beschreiben, ist aber nach thermodynamischen Grundsätzen nicht präzise definiert. Anergienetze werden zum Heizen und zum Kühlen genutzt. Die Netztemperaturen bewegen sich zwischen 8 und 18 °C.



Entwicklung der thermischen Netze: **zentral** und unidirektional (oben) zu **dezentral** und bidirektional (unten).