

MULTI-ENERGY-GRID

MÖGLICHKEITEN DER THERMISCHEN VERNETZUNG

Um dezentrale Energiequellen effizient zu nutzen, braucht es dezentrale Energiesysteme, die vor Ort vorhandenen Energieströme (Strom, Wärme und Gas) bedarfsgerecht transformieren und speichern können. Ein Multi-Energy-Grid verbindet die einzelnen Elemente im dezentralen Energiesystem, es ist eine technologieoffene Infrastruktur auf Stufe Quartier und Areal. Im Strombereich ist diese Entwicklung auf lokaler Ebene heute weit vorangeschritten. Die thermische Vernetzung von Gebäuden in Quartieren und Arealen ist ein wichtiger Bestandteil im Multi-Energy-Grid. Noch wird aber das Potenzial der thermischen Vernetzung nicht genügend ausgeschöpft.

Matthias Sulzer; Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern – Technik & Architektur*

RÉSUMÉ

MULTI-ENERGY-GRID

L'utilisation accrue des énergies renouvelables implique l'augmentation du développement de sources d'énergie décentralisées. Pour les utiliser efficacement, nous avons besoin de systèmes énergétiques décentralisés qui peuvent être efficacement insérés dans le système énergétique suisse. Ces systèmes énergétiques décentralisés doivent être capables de transformer et de stocker le flux d'énergie présent sur site (électricité, chaleur et gaz) en fonction des besoins. Une Multi-Energy-Grid combine les éléments individuels dans le système énergétique décentralisé. Cette Multi-Energy-Grid est une infrastructure ouverte à la technologie au niveau du district et de la région. Dans le secteur de l'électricité, ce développement est aujourd'hui exécuté au niveau local. La réticulation thermique des bâtiments dans les districts et les régions est un élément important dans la Multi-Energy-Grid. Le potentiel de réticulation thermique n'est pas encore suffisamment exploité aujourd'hui. Les possibilités de réticulation thermique sont présentées ci-dessous.

AUSGANGSLAGE

Die Energiestrategie 2050 des Bundes definiert die übergeordneten Ziele (1) Atomausstieg und (2) Reduktion der CO₂-Emissionen [1]. Insbesondere die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien, die Verringerung der Auslandsabhängigkeit, der Ausbau der inländischen Wertschöpfung und die Erhöhung der Energieeffizienz sind daraus resultierende Teilziele. Die erneuerbaren Energiequellen wie Wind, Sonne, Biomasse, Erdwärme und Wasserkraft treten nicht konzentriert an einzelnen wenigen Standorten auf, sondern zeichnen sich naturgemäss durch verteilte, eher kleinskalige Potenziale aus. Gilt es diese erneuerbaren Energiequellen vermehrt zu erschliessen, entsteht zwangsläufig eine Vielzahl von neuen Einspeisepunkten im Energiesystem Schweiz. Dieser Wandel führt von der vorwiegend zentralen Energieversorgung zu einem mehr dezentral organisierten Energiesystem [2, 3, 4, 5].

DEZENTRALE ENERGIESYSTEME

Um den elektrischen und thermischen Energiebedarf der Schweiz weitestgehend mit den lokal vorhandenen, erneuerbaren Energiequellen zu decken, sind ganzheitliche Lösungs-

* Kontakt: matthias.sulzer@hslu.ch

ansätze notwendig. Quartiere bzw. Areale können zu dezentralen Energiesystemen¹ (DES)¹ ausgebaut werden, die effizient und effektiv die lokale, erneuerbare Energie verwerten. DES stellen den erforderlichen elektrischen und thermischen Energiebedarf im Quartier oder Areal mit einem möglichst signifikanten Anteil an lokal gewonnener Energie sicher. Dabei können DES-Energiedienstleistungen für das jeweilige Quartier/Areal oder die dazugehörige Region in den Bereichen Bereitstellung, Umwandlung, Management, Speicherung und Verteilung übernehmen. DES sind nicht autarke Systeme, sondern fügen sich als aktive Elemente in das Energiesystem Schweiz bzw. Europa ein: Sie sind somit Subsysteme im zukünftigen Energiesystem.

Um die Funktionalität solcher DES zu ermöglichen, ist der Ausbau der Infrastrukturen im Quartier und/oder Areal notwendig. Zukünftig sollen Multi-Energy-Grids den wirkungsvollen Betrieb der DES ermöglichen. Multi-Energy-Grids sind technologieoffene Infrastrukturen für die Energieträger Strom, Wärme und Gas. Mit diesen Grids lassen sich verschiedenste Komponenten für die Gewinnung, Umwandlung und Speicherung verbinden (Fig. 1). Der effiziente Betrieb solcher Komponenten kann mittels eines Multi-Energy-Grids maximiert werden. So können z. B. Wärme-Kraft-Kopplungen in einem Multi-Energy-Grid stromgeführt betrieben werden, die Abwärme wird aufgrund der thermischen Vernetzung und mittels thermischen Speichern maximal und vor Ort genutzt. Wärmepumpen im Quartier können gemeinsam und abgestimmt nach den Bedürfnissen des Stromnetzes betrieben werden. Dadurch leisten die zahlreichen DES einen wesentlichen Beitrag zur Netzstabilität oder erbringen andere Systemdienstleistungen.

Die Forschung und Entwicklung der elektrischen Vernetzung auf lokaler Ebene wird heute sehr aktiv vorangetrieben² und lässt sich zukünftig wirkungsvoll in ein Multi-Energy-Grid integrieren. Die thermische Vernetzung von Quartieren und Arealen kommt allmählich auf die

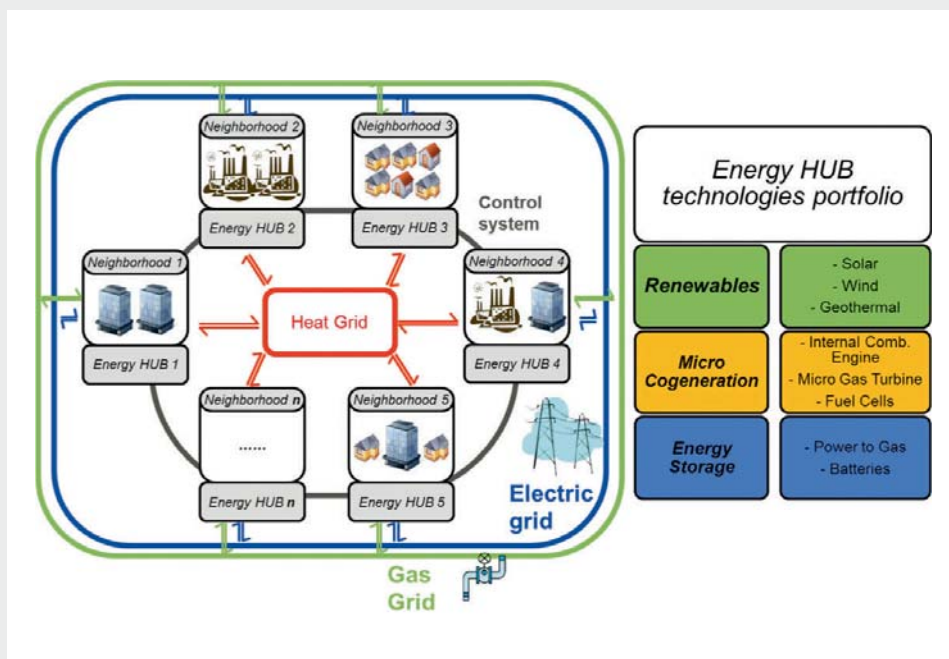


Fig. 1 Dezentrale Energiesysteme mit Multi-Energy-Grids (Gas, Elektrizität, Wärme sowie einem übergeordneten Kontroll- und Steuersystem), welche die verschiedenen Energy Hubs miteinander vernetzen (Quelle: NRP 70 IMES Proposal)

Systèmes énergétiques décentralisées avec Multi-Energy-Grids (gaz, électricité, chaleur ainsi qu'un système de surveillance et de contrôle de niveau supérieur) qui relie les différents Energy Hubs entre eux



Fig. 2 Entwicklung der thermischen Energieversorgung: zentral und unidirektional (links) und bidirektional (rechts)

Développement de l'approvisionnement en énergie thermique: central et unidirectionnel (à gauche) à décentralisé et bidirectionnel (à droite)

Agenda der Energieplaner. Um DES wirtschaftlich betreiben zu können, braucht es zwingend weitere Untersuchungen zu den Multi-Energy-Grids, um neben den elektrischen auch die thermischen Möglichkeiten in der Energieversorgung auszuschöpfen.

THERMISCHE VERNETZUNG

Unter dem Begriff «Thermische Vernetzung» werden heute oft Fernwärmesysteme mit Wassertemperaturen von über 60 °C verstanden. Solche Systeme sind mehrheitlich unidirektional aufgebaut, d.h. aus einer Heizzentrale wird die Wärme mittels eines Hauptstrangs und

diverser Nebenstränge zu den Gebäuden verteilt (Fig. 2, links). Der Wärmetransport findet in einer Richtung statt und ist durch die Grösse des Hauptstranges limitiert. Diese traditionellen Fernwärmesysteme werden sowohl in kleinen³ Verbänden, wie z.B. mit Holzschneitzelheizungen als Wärmequelle, wie auch in grossen⁴ Verbänden, wie z.B. mit Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen, erfolgreich eingesetzt.

³ s. VFS, www.fernwaerme-schweiz.ch

⁴ wie z.B. Abwärme aus Prozessen (KVA, ARA, Industrie, Stromgewinnung), Erdwärme (Grundwasser, Geothermie), Seen, Flüsse; s. auch Weissbuch Fernwärme Schweiz – VFS Strategie, März 2014

¹ Im Unterschied zum Energy-Hub-Konzept (Kienzle F., et al. (2007): Energy Hubs als Lösung für die Zukunft), umfasst das dezentrale Energiesystem (DES) ganze Quartiere, Areal oder Regionen, in denen verschiedene Energy Hubs durch ein Multi-Energy-Grid verbunden sind.

² s. Microgrids, Smart-Grids, www.eeh.ee.ethz.ch

ANERGIENETZE

Soll vermehrt lokale erneuerbare Energie genutzt werden, müssen vor allem geografisch gebundene Energiequellen in das DES integriert werden. Diese Quellen liefern oft niederwertige Energieströme, d. h. thermische Energie mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen, teilweise unter 20 °C. «Kalte Fernwärme» oder sogenannte Anergienetze⁵ sind Wärme- und/oder Kältenetze, mit denen thermische Energie nahe bei der Umgebungstemperatur zwischen Quelle (Lieferant) und Senke (Bezüger) transportiert wird (Fig. 2, rechts). Anergienetze werden als bidirektionale Netze betrieben, d. h. Wärme wird von den einzelnen Gebäuden sowohl vom Netz entzogen wie auch ins Netz eingespielen. Im Idealfall gleichen sich die beiden Energieflüsse übers ganze Netz aus. Überschüsse oder Unterdeckungen müssen durch zusätzliche Wärmezufuhr ins oder Wärmeentzug aus dem Netz ausgeglichen werden. Alternativ können die

⁵ In der Schweiz werden solche Netze oft auch als Anergienetze bezeichnet. Die Referenz an den physikalischen Begriff «Anergie» ist darin begründet, dass Wärmepumpen notwendig sind, um die Wärmeenergie in den Verbundleitungen für Heizzwecke zu verwenden. Der Begriff Anergienetz ist nach thermodynamischen Grundsätzen nicht präzise definiert, hat sich aber in der Planerbranche etabliert, um eine spezifische thermische Vernetzung zu beschreiben.

Bilanzdefizite auch mittels Speicher, z. B. Erdwärmespeicher, ausgeglichen werden. Zur Bereitstellung der Nutzenergie für Heizzwecke werden Wärmepumpen dezentral bei den Bezüger eingesetzt. Das Anergienetz kann auch zum Kühlen mit oder ohne Kältemaschinen (direkte Kühlung, Free-cooling) genutzt werden [6].

POTENZIAL

In der Schweiz werden jährlich 896 000 TJ Endenergie (Öl, Gas, Strom, Fernwärme etc.) verbraucht; davon 29% für die Haushalte, 19% für die Industrie, 17% für Dienstleistungen und 35% für die Mobilität [7]. Bei Haushalten werden rund 80%, bei Industriegebäuden rund 15% und bei Dienstleistungsgebäuden rund 60% der verbrauchten Endenergie für die Deckung des Raumwärme- und Brauchwarmwasserbedarfs benötigt [8]. Daraus ergibt sich, dass im Gesamtgebäudepark Schweiz rund 36% (322 560 TJ = 90 TWh) der Endenergie für die Deckung des Raumwärme- und Brauchwarmwasserbedarfs verwendet werden. Im Weissbuch Fernwärme Schweiz [9] wird für das Jahr 2010 ein Endenergiebedarf (Wärme) von 85 TWh angenommen. Die Differenz ist in den unterschiedlichen Bilanzjahren zu finden. Die Energiestrategie des Bundes zielt einen Endenergiebedarf für Raumwärme- und Brauchwarmwasser bis 2050 von unter 45 TWh an (Fig. 3).

Diese Reduktion soll primär mittels Effizienzmassnahmen, d. h. die Sanierung von Gebäuden, und Nutzung von lokaler erneuerbarer Energie erfolgen. Das wirtschaftliche Potenzial für die leitungsgebundene Energieversorgung mit Nah- und Fernwärmenetzen wird auf 17,3 TWh⁶ geschätzt, d. h. 38% des Endenergiebedarfs für Raumwärme- und Brauchwarmwasser könnten bis 2050 über die thermische Vernetzung gedeckt werden.

BEISPIEL AREAL SUURSTOFFI

In Rotkreuz wird das Areal *Suurstoffi* mit rund 165 000 m² Energiebezugsfläche und einem Nutzungsmix Wohnen, Schule, Gewerbe und Dienstleistung erstellt (Fig. 4). Neben der arealorientierten elektrischen Vernetzung mittels Smartmeter (zukünftig zu einem Micro-Grid ausbaubar) wurde auch eine thermische Vernetzung realisiert. Dieses Anergienetz versorgt die einzelnen Gebäudezentralen mit Quellenergie, um deren Wärmepumpen zu betreiben, und nimmt überschüssige Wärme aus Raum- und Prozesskühlung auf. Das Anergienetz ermöglicht eine Wärmerückgewinnung zwischen den verschiedenen Gebäuden und erhöht damit die Energieeffizienz des Gesamtareals. Hybride Photovoltaikmodule, die Wärme und Strom bereitstellen, liefern zusätzliche thermische Energie in das Anergienetz. Überschüssige Wärme, vor allem im Sommer, wird im Erdwärmespeicher gespeichert und kann bei einem Wärmedefizit, z. B. im Winter, zurückgeholt werden.

Um einen sicheren Heiz- und Kühlbetrieb zu garantieren, muss die jährliche Energiebilanz zwischen Wärmezufuhr und Wärmeentzug aus dem Netz ausgeglichen sein. Ansonsten wird der Erdwärmespeicher mittelfristig unterkühlt bzw. überwärmt und kann den Heizbedarf bzw. Kühlbedarf nicht mehr jederzeit decken. Vor allem bei einer etappierten Umsetzung wie im Areal *Suurstoffi* können unausgeglichene Energiebilanzen entstehen, wenn z. B. die Nutzflächen mit viel Abwärme oder Solarflächen noch nicht vollständig aufgebaut sind. Dieses Szenario war denn auch nach Inbetriebnahme

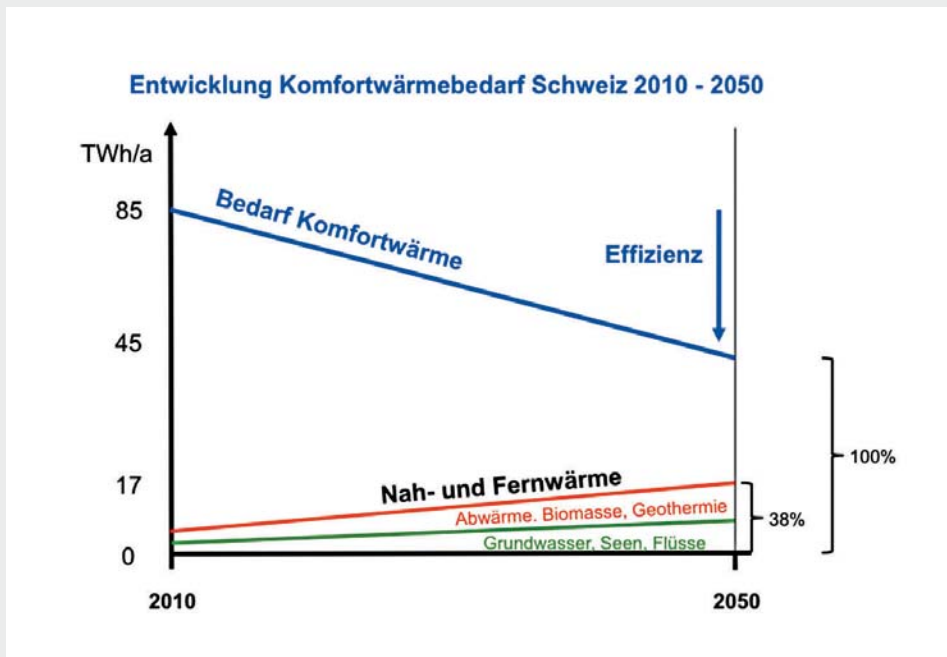


Fig. 3 Entwicklung des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser in der Schweiz zwischen 2010 und 2050 und Potenzial zur Deckung des Bedarfs durch Nah- und Fernwärme [9]

Évolution de la demande de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude en Suisse entre 2010 et 2050 et potentiel pour répondre aux besoins par le chauffage de proximité et le chauffage urbain [9]

⁶ 17,3 TWh oder 1 730 000 000 Liter Öl-Äquivalente. Bei durchschnittlich 2500 Liter Öl/Haushalt werden rund 700 000 Haushalte über thermische Netze versorgt und rund 5 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen (bei 0,3 kg CO₂-Äq./kWh Öl) werden reduziert.

der ersten Bauetappe zu beobachten. Von den insgesamt geplanten 9500 m² Solarflächen wurden vorerst nur 3500 m² gebaut. Der Erdwärmespeicher kühlte sich ab und die Wassertemperaturen im Anergienetz sanken in der Folge unter 8 °C (Fig. 5). Um einen sicheren Betrieb zu garantieren, musste die fehlende Energie aus den noch zu bauenden hybriden Photovoltaikanlagen kompensiert werden. Mittels einer Notheizung (Holz) wurde die fehlende Energie temporär dem Anergienetz zugeführt.

Aufgrund der Messungen und den Simulationen konnte berechnet werden, dass im Endausbau, wenn alle Baufelder und Solarflächen in Betrieb sind, eine ausgeglichene Energiebilanz erreicht wird (Fig. 6). Die Notheizung wird ab diesem Zeitpunkt nicht mehr benötigt und kann abgebaut bzw. anderweitig genutzt werden.

FLEXIBLE THERMISCHE VERNETZUNG

Aus dem Beispiel *Suurstoffi* wird ersichtlich, dass die thermische Vernetzung schon in seiner Konzeption robust aufgebaut werden muss und nicht auf einen bestimmten Planungsstand ausgelegt werden kann. Nutzungsänderungen und neue technologische Entwicklungen von Komponenten verändern die Energiebilanz stetig. Hybride Solaranlagen können die Wärmelieferung drosseln, ohne dabei die Stromproduktion zu unterbinden bzw. *vice versa*. Zudem können Luft-Wasser-Niederhubwärmepumpen in das Anergienetz eingebunden werden, um effizient und in Zeiten mit Stromüberschüssen dem thermischen System Energie zuzuführen oder zu entziehen. Solche Komponenten schaffen in Anergienetzen die gewünschte Flexibilität, um auf Änderungen zu reagieren oder diese Flexibilität im Strom- oder Gasnetz zu verwerten. Das Anergienetz im Areal *Suurstoffi* entwickelt sich in Richtung einer flexiblen thermischen Vernetzung.

Erreicht die thermische Vernetzung eine ähnliche Flexibilität wie die elektrische Vernetzung, können zusätzlich Synergien zwischen diesen Infrastrukturen genutzt werden. Thermische Speicher in Kombination mit Wärmepumpen erzeugen Flexibilität, die im Stromnetz verwertet werden kann. Es kann aber auch Überschussstrom in synthetisches Gas umgewandelt und zu einem späteren Zeitpunkt mit Brennstoffzellen wieder in Strom und Wärme umgewandelt werden. Mit einem zukünftigen Multi-Energy-Grid können solche Optionen genutzt



Fig. 4 Areal *Suurstoffi* in Risch/Rotkreuz im Endausbau, die visualisierten Gebäude im Osten (oben, links im Bild) und Westen (unten, rechts im Bild) werden in den nächsten zwei bis drei Jahren erstellt
Le complexe *Suurstoffi* à Risch/Rotkreuz en phase finale de réalisation; les bâtiments à l'est (en haut à gauche de l'image) et à l'ouest (en bas à droite de l'image) seront créés dans les 2 à 3 prochaines années

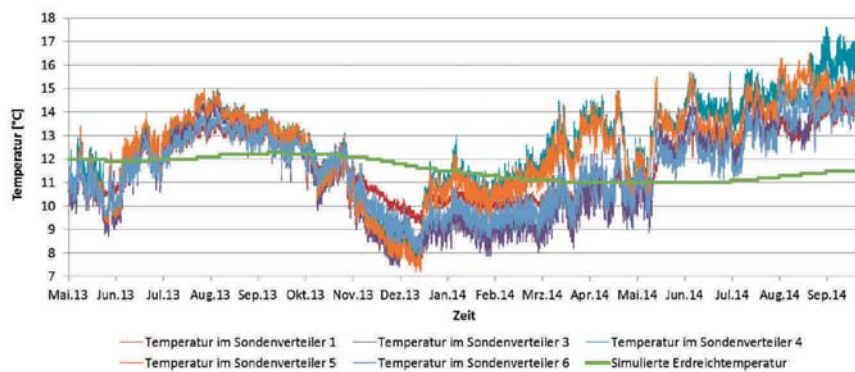


Fig. 5 Messungen der Wassertemperaturen im Anergienetz und berechnete, simulierte Erdwärmespeichertemperatur. Die Erdwärmespeichertemperatur hat sich über die Messperiode aufgrund des zu kleinen Wärmeeintrags in das Anergienetz um 1 °C gesenkt

Mesures de la température de l'eau dans le réseau énergétique et température de stockage géothermique calculée et simulée. La température de stockage géothermique a diminué de 1 °C au cours de la période de mesure en raison de la faible entrée de chaleur dans le réseau d'énergie



Fig. 6 Verlauf der Erdwärmespeichertemperatur nach erfolgtem Endausbau
Aperçu de la température de stockage de l'énergie géothermique après l'achèvement de l'étape finale

werden. Die Wirtschaftlichkeit⁷ wird darüber entscheiden, welche Technologie in ein Multi-Energy-Grid integriert wird.

⁷ Die Wirtschaftlichkeit von DES wird neben den Amortisations- und Betriebskosten, vor allem durch die Verwertung aller Energieströme und deren vorausschauendes Management bestimmt. DES werden Quartiere netzdienlich steuern und regeln und folglich einen Nutzen für das Energiesystem Schweiz hervorbringen.

ENTWICKLUNGSBEDARF

Um das Potenzial der thermischen Vernetzung noch besser auszuschöpfen, ist die Typologie der thermischen Netze weiterzuentwickeln. Thermische Netze, die bidirektionale Energieflüsse zulassen und nicht linear, sondern vermascht aufgebaut sind, sind adaptier- und erweiterungsfähig. Neue Komponenten können einfacher

in das Netz integriert und neue Verbraucher angeschlossen werden, ohne dass dies zwingend durch die Kapazität des Hauptstranges limitiert wird. Der Zu- und Abbau solcher Komponenten erfolgt bei vermaschten Netzen mit weniger Restriktionen als bei linearen Netzen. Der Massenstrom in vermaschten Netzen ist ungerichtet und nimmt den Weg des geringsten Widerstandes (Fig. 7). Die Hydraulik hingegen wird komplexer, da viele periphere Förderpumpen bei den Energielieferanten und -bezüglern auf das Netz wirken.

Im Campus Höggerberg der ETH Zürich wurde während der letzten sechs Jahren ein Energienetz als Ringleitung, d.h. als eine einzelne Masche, aufgebaut. Heute wirken sechs dezentrale Unterstationen auf die beiden parallelen Ringe mit unterschiedlicher Wassertemperatur. Drei Erdwärmespeicher gleichen den Massenstrom zwischen dem Ring mit höherer und dem Ring mit tieferer Temperatur aus [10]. Die ersten Erkenntnisse aus dieser Pilotanlage sind vielversprechend. Die Wärmerückgewinnung durch den bidirektionalen Wärmefluss zwischen den Gebäuden erreicht eine hohe Effizienz, weil weniger Mischungsverluste entstehen als bei linearen Netzen. Die Erdwärmespeicher können flexibel und wirkungsvoll bewirtschaftet werden, weil diese unabhängig von deren Position im Netz geladen bzw. entladen werden können. Für jeden Speicher können unterschiedliche Bewirtschaftungsstrategien,

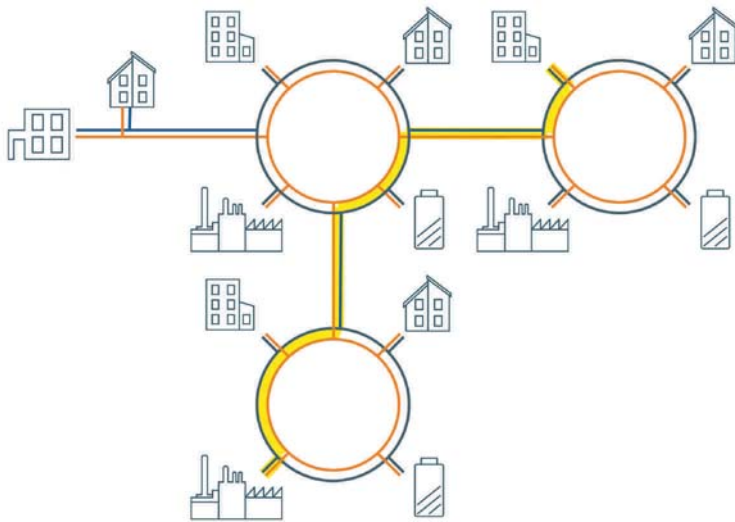


Fig. 7 Vermaschtes thermisches Netz, welches bidirektionale Energieflüsse aufnehmen kann und wo hydraulisch ungerichtete Strömungen auftreten
Réseau thermique maillé qui peut contenir des flux d'énergie bidirectionnels et où des courants non orientés hydrauliquement se produisent



Fig. 8 NODES-Lab für die Emulation einer thermischen Vernetzung eines vereinfachten Quartiers mit drei Bezüglern, einem saisonalen Speicher und einer Wärmequelle. Partner: BG Ingenieure und Berater AG, EWZ, Brugg Rohrsysteme AG, Hälg & Co. AG, Inretis AG, Siemens AG
Lab NODES pour l'émulation d'une réticulation thermique d'un quartier simplifié avec trois abonnés, un stockage saisonnier et une source de chaleur. Partenaires: BG Ingenieure und Berater AG, EWZ, Brugg Rohrsysteme AG, Hälg & Co. AG, Inretis AG, Siemens AG

SCCER

Im «SCCER Efficiency - Future Energy Efficient Buildings and Districts» forscht das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) zusammen mit der Empa, ETH, EPFL, Uni Genf und FHNW an effizienteren Energieversorgungslösungen für den Gebäudepark. Geleitet wird dieses SCCER von der Empa (Lead, Peter Richner) und der HSLU (Deputy, Matthias Sulzer). Der Energiebedarf des Schweizerischen Gebäudeparks soll durch die Forschung in diesem SCCER um den Faktor fünf in den nächsten Jahrzehnten verringert werden.

Die Forschung im ZIG innerhalb dieses SCCER fokussiert auf innovative Gebäude-Energiemanagement-Lösungen und urbane, dezentrale Energiesysteme (www.sccer-feebd.ch).

wie z. B. Kalt- oder Warmspeicher, umgesetzt werden.

Die Pilotanlage wirft aber auch Fragen betreffend Hydraulik auf, welche heute noch nicht beantwortet sind. Wie und unter welchen Umständen (Massenträgheit des Fluids) ändert sich die Fliessrichtung im Ring? Welche statischen und dynamischen Drücke entstehen in einer Masche bzw. in mehreren Maschen? Wie können Druckschwankungen minimiert werden? Diese und viele weiterführende Fragen sind ein Forschungsschwerpunkt am Zentrum für Integrale Gebäudetechnik der Hochschule Luzern.

Im Rahmen des *Swiss Competence Center for Energy Research, Future Energy Efficient Buildings & Districts* (s. Box SCCER), wird das NODES-Lab aufgebaut. NODES steht dabei für «Neue Opportunitäten Dezentraler EnergieSysteme». Dieses «Labor» soll im Endausbau ein massstäbliches Multi-Energy-Grid bereitstellen, mit dem experimentelle Forschung und Validierungen von Simulationsmodellen durchgeführt werden können.

Im März 2015 wurde die erste Ausbaustufe, die thermische Vernetzung mit einer Masche, in Betrieb genommen (Fig. 8). Ziel ist es, erste Erkenntnisse für hyd-

raulisch vermaschte Netze Anfang 2016 zu publizieren.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bundesamt für Energie BFE (2015): «Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050» www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2013/7561.pdf
- [2] IEA (2014): *World Energy Outlook*
- [3] IEA (2002): *Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets*
- [4] Allan, G. et al. (2015): *The economics of distributed energy generation: A literature review. Renew. Sustain. Energy Rev.* 42, 543–556. doi:10.1016/j.rser.2014.07.064.
- [5] Viral, R.; Khatod, D.K. (2012): *Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review. Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 5146–5165. doi:10.1016/j.rser.2012.05.020
- [6] Sulzer, M.; Hangartner, D. (2014): *Kalte Fernwärme (Anerkennung), Grundlagen-/Thesenpapier, Hochschule Luzern – Technik & Architektur im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Energie Schweiz*
- [7] Bundesamt für Energie BFE (2013): *Schweizerische Gesamtenergiestatistik, Fig. 3, S. 4*
- [8] Prognos AG, Infras AG, TEP Energy GmbH (2013): *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2012 nach Verwendungszwecken*
- [9] Sres, A.; Nussbaumer, B. (2014): *Weissbuch Fernwärme Schweiz – VFS Strategie Langfristperspek-*

tiven für erneuerbare und energieeffiziente Nah- und Fernwärme in der Schweiz, Schlussbericht Phase 2: GIS-Analyse und Potenzialstudie, S. 54.

- [10] Sulzer, M.; Gautschi, T. (2008): *ETH Zürich, Höggerberg Masterplan Energie, Schweizerisches Status-Seminar Energie- und Umweltforschung im Bauwesen*

HSLU ZIG

Das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur betrachtet das Gebäude als System. Es bewegt sich an der Schnittstelle zwischen den traditionellen Ingenieurdisziplinen und der Architektur. Schwergewichtig bearbeitet das ZIG folgende Forschungsthemen:

- Energiesysteme für Quartiere und Areale
- Nachhaltiges Bauen und Erneuerung
- Komfort und Energie
- Gesundheit und Hygiene
- Qualität in Planung und Bau

Ergänzend zur angewandten Forschung werden in Dienstleistungsprojekten Konzepte entwickelt, Beratungen durchgeführt und Expertisen erstellt. Die Angebote der akkreditierten Prüfstelle Gebäudetechnik runden das Tätigkeitsfeld ab (www.hslu.ch/zig).



BWB Engineering

Eine Empfehlung für Gastechnik sowie Anlagen- u. Rohrleitungsbau

Führend in der Herstellung von Gasdruckreduzier- u. messanlagen und im Anlagen- u. Rohrleitungsbau



GASDRUCKREDUZIER- U. MESSANLAGEN

ARMATUREN

SERVICE & UNTERHALT

FERTIGUNG

ROHRLEITUNGSBAU