

# Integration von EE-Wärme in Infrastrukturen zur Versorgung von Quartieren



**ISFH**  
Prof. Dr. Oliver Kastner  
oliver.kastner@isfh.de

**DBFZ**  
Dr. Volker Lenz  
volker.lenz@dbfz.de

**DLR**  
Evelyn Sperber  
evelyn.sperber@dlr.de

**EWE VERTRIEB GmbH**  
Dr. Oliver Ruch  
oliver.ruch@ewe.de

**HafenCity Universität**  
Dr. Ingo Weidlich  
ingo.weidlich@hcu-hamburg.de

**Fraunhofer ISE**  
Sebastian Herkel  
sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de

**IZES**  
Guillem Tánzer  
taenzer@izes.de

Bernhard Wern  
wern@izes.de

**S.O.L.I.D GmbH**  
Detlev Seidler  
d.seidler@solid.at

**UFZ**  
Dr. Kerstin Krellenberg  
kerstin.krellenberg@ufz.de  
Dr. Thomas Vienken  
thomas.vienken@ufz.de

Dieser Beitrag behandelt Aspekte der regenerativen Wärme- und Kälteversorgung, die mit einem Anteil von ca. 60% zum Endenergiebedarf in Deutschland beiträgt. Davon wird über die Hälfte durch Raumwärme und Warmwasserbedarf verursacht. Der Wärme/Kältesektor trägt daher entscheidend zum Gelingen des gesellschaftlichen Projekts „Energiewende“ bei.

Während im Bereich der Stromproduktion heute auf beachtliche Erfolge beim Ausbau der regenerativen Ressourcen verwiesen werden kann – innerhalb von 10 Jahren ein Zuwachs um 22% auf heute 32,6% –, ist der Zuwachs im Bereich des Wärme/Kältesektors nach wie vor sehr moderat. Er stieg im gleichen Zeitraum nur um ca. 5%-Punkte auf heute 13,2% an. Darin stellt die Biomasse mit über 11% heute noch den Löwenanteil [BMWi 2016]. Dieser Anteil ist in den vergangenen Jahren ungefähr gleich geblieben. Der Grund besteht einerseits in den begrenzten Biomassepotenzialen, andererseits in einer Nutzungskonkurrenz der Biomasse als Brennstoff für andere Sektoren, z. B. den Verkehrssektor.

Die regenerativen Wärmeträger mit dem größten noch unerschlossenen Potenzial sind die Solarthermie, die Umgebungswärme und die Geothermie, deren Anteile mit jeweils kleiner als einem Prozent im Wärmemix drastisch unterrepräsentiert sind. In der Einbindung der solaren und geothermischen Energie und der nutzbringenden Kombination mit der Biomasse liegt daher ein großes Potenzial, das es zu erschließen gilt.

Verschiedene und teilweise kontroverse Entwicklungsrouten zur Wärme/Kälte-Versorgung von Wohnquartieren aus regenerativen Ressourcen werden diskutiert. Offen ist heute die Frage nach der Gewichtung der direkten Nutzung regenerativer Wärmequellen und der indirekten Nutzung entlang des Strompfads. Im Falle der direkten Nutzung kann das regenerative Wärmepotenzial sehr effizient genutzt werden, da die energetische Wandlungskette entweder sehr kurz ist (Solarstrahlung → Wärme), oder gar keine Wandlung erforderlich ist (tiefe Geothermie). Allen heutigen Versorgungsoptionen ist jedoch gemeinsam, dass das zukünftige Energiesystem hochgradig integriert sein wird, um die Vor- und Nachteile der spezifischen Technologien optimal miteinander in Einklang zu bringen. „Flexibilität im System“ wird damit ein Gradmesser für den Erfolg der zukünftigen Energieversorgung sein. Dieses ist ein wesentlicher Unterschied zu den deterministischen Versorgungskonzepten der Vergangenheit.

Besonders im Bereich der „Wärmewende“ haben regenerativ-basierte Versorgungskonzepte lokalen Charakter und müssen sehr heterogene Anforderungsprofile abdecken. Aus ökonomischen Gründen und zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit wird erwartet, dass die konventionelle Technologie ihre Bedeutung für eine gewisse Übergangsphase behalten wird. Die Implementierung der regenerativen Versorgungskonzepte muss daher entlang effizienter und skalierbarer Integrationspfade erfolgen, die einen graduellen und damit volkswirtschaftlich vertretbaren Technologiewechsel ermöglichen. Die Erhöhung der Flexibilität im System erfordert flexible Komponenten, passende Infrastrukturen und intelligentes Lastmanagement. Investitionen in diese Systemkomponenten sind notwendig.

Ebenso wichtig ist dabei die Schaffung von Transparenz und Vertrauen in Gesellschaft, Politik und Praxis. Insbesondere im Bereich der Privatwirtschaft stellen diese notwendigen Investitionen häufig ein Implementierungshemmnis dar. Es ist plausibel, dass die neuen Konzepte ab einer Größenordnung Erfolg haben, in der eine Nutzung gemeinschaftlicher Investitionen möglich wird und Synergieeffekte zum Tragen kommen können. Diese Größenordnung ist die des Quartiers. Für eine konkrete Planung und Umsetzung in einem Quartier muss eine enge Kooperation mit den lokalen Akteuren (Stadtplanung, Stadtwerke, Energieanbieter, Wohnungswirtschaft, Eigentümer, Mieter) stattfinden.

## Infrastruktur

Wie im Stromsektor, so kommt auch bei der Wärme/Kälteversorgung der Infrastruktur eine große Bedeutung zu. Im Bereich der Quartiersversorgung betrifft dies die Entwicklung und Pflege der Nah- und Fernwärmetechnologie. Deren Ursprünge gehen auf das ausgehende 19. Jahrhundert zurück, als erste Dampfnetze zur Wärmeversorgung eingerichtet wurden, die heute als Fernwärmenetze der ersten Generation bezeichnet werden. Sie wurden ab ca. 1930 durch Heißwassernetze mit Betriebstemperaturen oberhalb von 100 °C der zweiten Generation abgelöst, die unter Druck gehalten werden mussten. Es handelte sich daher um schwere und massiv gegründete Konstruktionen, die wie im Pipelinebau on-site erstellt wurden. Wegen ihrer weiten Verbreitung im Comecon (Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe der sozialistischen Staaten) wird diese Bauweise der zweiten

Generation heute auch als Sowjetunion-Design referenziert.

Ein alternatives Design wurde seit den 1980er Jahre in Skandinavien entwickelt. Die Versorgungstemperaturen wurden hier auf unter 100 °C gesenkt, was leichtere Bauweisen ermöglicht, die effizient industriell vorgefertigt werden können und direkt und ohne Fundamentierung in den Untergrund verlegt werden. Diese Entwicklungslinie bildet die dritte Generation der Fernwärmenetze. Die Absenkung des Temperaturniveaus geht einher mit einer graduellen Vermeidung der Wärmeverluste im Netz.

Im Bereich der regenerativen Wärmeversorgung wird an diese Entwicklung angeknüpft. Wärmenetze der kommenden vierten Generation zielen auf einen Wärmetransport bei weiter abgesenkten Temperaturen, um den Anforderungen regenerativer Niedrigtemperatur-Wärme einerseits und sinkenden Wärmeanforderungen infolge besserer Dämmstandards andererseits entsprechen zu können. Es geht um eine weitere Anpassung der Infrastruktur an den Bedarf im Quartier, eine Effizienzsteigerung durch Niedertemperatur-Anwendungen und die Integration in regenerative Erzeugerstrukturen durch smartes Lastmanagement.

Neben diesen technischen Aspekten geht es auch darum, die Implementierungsakzeptanz moderner Wärmenetze durch angepasste Planungshilfen zu erhöhen, die die gesamte Prozesskette von der Erzeugung über die Verteilung bis zur Haustechnik überblicken muss [Lund 2014].

## Gebäudeeffizienz

Dank finanzieller Förderung und gesetzlicher Vorgaben konnte die Gebäudeeffizienz durch Dämmung und konzeptionelle Maßnahmen in den vergangenen Jahren stark verbessert werden. Sofern diese Anstrengungen weiter erhöht und die resultierenden Effizienzsteigerungen nicht durch einen erhöhten Verbrauch aufgezehrt werden, kann der Raumwärmebedarf im Quartier langfristig bis auf die Größenordnung des Warmwasserbedarfs sinken. Für Fernwärmenetze der dritten Generation (Vorlauftemperaturen um 90 °C) wird ein Grenzbedarf von 250 MWh/ha als Wirtschaftlichkeitsgrenze angegeben [Hoffstede 2006], die jedoch im Einzelfall auch von den eingesetzten Energieträgern und der Struktur des Wärmenetzes abhängt. Moderne Versorgungskonzepte basieren daher auf Niedertemperatur-Wärmenetzen in Kombination mit multimodalen, regenerativen Versorgungsszenarien.

Je nach Design ergeben sich verschiedene Varianten der regenerativen Versorgung, in der entsprechend der lokalen Bedingungen Solar- und Geothermie,

Umweltwärme und die Biomasse integriert werden können. Niedertemperatur-Wärmeversorgung erfordert angepasste Haustechnik: Die Wärmeabgabe der Raumwärme erfordert Flächenheizungen und darüber hinaus einen hydraulischen Abgleich des Heizsystems, um niedrige Rücklauftemperaturen zu erzielen; die Trinkwasserhygiene erfordert je nach Systemwahl eine Nachheizung über 60 °C. Niedertemperatur-Wärmeversorgung legt daher die Verwendung von Wärmepumpen zur (zentralen und/oder dezentralen) Anpassung des Temperaturniveaus nahe. Wärmepumpen werden in der Regel mit Strom angetrieben und stellen daher ein wichtiges Element zur Kopplung zwischen dem Strom- und Wärmesektor dar. Solange der Strommix allerdings durch fossile Energieträger dominiert wird, ist die Emissionsbilanz dadurch beeinträchtigt.

## Technologien

### Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Das vorherrschende Geschäftsmodell der konventionellen Fernwärmeerzeugung basiert auf dem Prinzip KWK. Wegen seiner volkswirtschaftlich willkommenen Energieeffizienz wird dieses Modell nach dem KWKG gefördert. Subventioniert wird die Einspeisung einer gewissen Menge KWK-Stroms in das Stromnetz, dessen Höhe sich u. a. nach der Leistungsfähigkeit der Erzeugungsanlage richtet.

Die Anlagen werden in der Regel noch wärmegeführt betrieben. Nach Erreichen der subventionierten Vollbenutzungsstunden werden Strommarkt-Mechanismen wirksam. Zu diesem Zeitpunkt hat die Anlage jedoch erst einen Teil ihrer technischen Lebensdauer erreicht. Spätestens nach Erreichen der subventionierten Vollbenutzungsstunden richtet sich der Ertrag der Stromproduktion nach dem erzielbaren Preis an der Strombörse.

Unter der Randbedingung eines fluktuierenden Preises ist es günstig, das Konzept der Wärmeführung zu flexibilisieren: Höherer Ertrag ist möglich, wenn die Stromproduktionszeiten dem Strompreis angepasst werden. Dieses ist möglich, wenn Wärmespeicher vorhanden sind. Aus diesem Grund werden viele Fernwärmestandorte mit Wärmespeichern nachgerüstet. Das Speicherkonzept zeigt also eine neue Richtung auf, in der die Fernwärme nicht mehr als abgeschlossenes System betrachtet wird, sondern als ein eingebettetes System.

Hier ergeben sich Ansatzmöglichkeiten für die Optimierung der Systemintegration. Welche Rolle können die erneuerbaren Energieträger dabei spielen?

### Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie besitzt ein hohes Anwendungspotenzial im Bereich der Raumwärme-

versorgung, der Klimatisierung und der saisonalen Wärmespeicherung, sowohl im Neubau, als auch im Bestand. Aber: Eine intensive thermische Nutzung beeinflusst direkt das Temperaturregime im Untergrund. Eine unkoordinierte intensive Nutzung kann negative ökologische und/oder ökonomische Auswirkungen zur Folge haben. Ziele der koordinierten geothermischen Nutzung sind insgesamt, die Umweltauswirkungen und Nutzungskonkurrenzen zu minimieren, die Anlageneffizienz zu maximieren und die Akzeptanz zu erhöhen, um eine ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit zu gewährleisten.

### Biomasse

Biomasse ist ein natürlicher Energiespeicher. Die Produktion von Biomassebrennstoffen benötigt Energie und kann zum Teil orientiert am Stromangebot gefahren werden (z. B. Mühlen und Pressen oder H<sub>2</sub>-Methanisierung an Biogasanlagen). Der Einsatz von Biomasse wird sich insbesondere auch innerhalb der Versorgung von Quartieren von einem Grundlastangebot zur flexiblen Deckung von Versorgungslücken mit gleichzeitiger Stabilisierung der lokalen Stromversorgung im Verbund aller eingesetzter erneuerbarer Energien wandeln. Entsprechende Technologien (z. B. Mikro- und Klein-KWK auch für schwierige Brennstoffe) und Verbundregelungskonzepte sowie die nötige Dateninfrastruktur sind zu entwickeln und zu etablieren. Dadurch kann die Biomasse dazu beitragen, Versorgungsengpässe im Winter im Wärme- und Strombereich auszugleichen.

### Solarthermie

Solarthermische Anlagen der neuesten Generation können Fernwärme auf einem durchschnittlichen Temperaturniveau zwischen 80 und 120 °C liefern. Geringere Vorlauftemperaturen im Solarkreis bedeuten höhere solare Gewinne, da die Effizienz der Kollektoren weitestgehend proportional mit steigendem Temperaturunterschied des Wärmeträgers zur Umgebungstemperatur abnimmt. Daher ist es aus wirtschaftlichen Gründen bei dem heutigen Preisniveau der fossilen Energien vorzuziehen, Wärmenetze mit Temperaturanforderungen von 65 bis 90 °C zu unterstützen.

Je nach lokaler Gegebenheit werden verschiedene Einspeisekonzepte verwendet. In Frage kommen Rücklauf-Vorlauf Einspeisung in das Fernwärmenetz oder Rücklauf-Rücklauf Einspeisung.

### Speicher

Zum zeitlichen Ausgleich von solarem Dargebot und Wärmenachfrage im Netz werden Speicher eingesetzt. Die Verwendung von Tagesspeichern erlaubt eine solare Deckungsrate von 20–30% des Bedarfs, je nach Flächenangebot für die Aufstellung der Kollektoren und jahreszeitlichem Profil des Wärmever-

brauchs. Eine Herausforderung stellt die Bereitstellung von großen Saisonspeichern dar, um deutlich höhere Deckungsraten von 50% und mehr zu erreichen. Unter den großen Saisonspeichern liefern wiederum geologische Speichersysteme die geringsten spezifischen Kosten: Erdwärmesonden und Aquiferspeicher. Besonders Aquiferspeicher stellen wegen ihres geringen obertägigen Platzbedarfs eine interessante Technologie für die Bereitstellung von saisonalem Speichervolumen in Ballungsgebieten dar. In Deutschland gibt es hierzu vergleichsweise wenig Erfahrung, insbesondere im Zusammenhang mit der Solarthermie. Hier liegt Forschungsbedarf vor.

### Beispiel Österreich

Langjährige Erfahrungen mit der solarthermischen Unterstützung konventioneller Fernwärme liegen in Österreich vor. Ein prominentes Beispiel referenziert die Fernwärmeversorgung der Stadt Graz mit mehreren Freiflächenanlagen und einigen dachbasierten Lösungen zur dezentralen Einspeisung in das Fernwärmenetz, derzeit in Summe etwa 17.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Im Moment wird eine signifikante Erhöhung der solaren Kollektorfläche auf 450.000 Quadratmeter (!) geplant. In das Konzept fließen Saisonspeicher und Wärmepumpentechnologie ein. Damit soll ein solarer Deckungsanteil von 20% im Fernwärmegebiet erzielt werden.

### Beispiel Dänemark

Prominent ist auch die solarthermische Fernwärmeversorgung in Dänemark. Ein viel referenziertes Beispiel ist das Versorgungssystem der Kommune Braedstrup in Mitteldänemark [Braedstrup 2016]. Das System umfasst neben einem 18.000 Quadratmeter großen Flachkollektoren-Feld und dem zugehörigen Tagesspeicher auch eine konventionelle KWK-Anlage, einen saisonalen Geospeicher, eine Wärmepumpenanlage und einen Elektrokessel zur direkten Stromheizung. Die hochflexible Anlage wird nach dem Börsen-Strompreis gefahren.

Die Anlage bildet damit einen Modellfall für eine multi-modal gekoppelte Energieversorgung ab:

- Bei Strombedarf im Netz und hohen Börsenstrompreisen produziert die Anlage Strom im Blockheizkraftwerk und speist die Abwärme in das Versorgungsnetz ein.
- Bei geringen Börsenstrompreisen wird Strom aus dem Netz entnommen und mit der Wärmepumpe der Geospeicher entladen.
- Die Solaranlage unterstützt die Fernwärmeversorgung und dient auch zur Beladung des Geospeichers in den Sommermonaten.

Voraussetzung für die effektive Verknüpfung zwischen Wärme- und Strompfad ist das Wärmenetz und der daran angeschlossene Wärmespeicher.

Aufgrund der Trennung von Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung werden Wärmenetze in Dänemark seit Jahrzehnten ausgebaut und entwickelt. Das Konzept ist so erfolgreich, dass das Zusammenwachsen kommunaler Wärmenetze zu einem Verbundnetz inklusive Stadtanbindung geplant wird.

### Beispiel Deutschland

Aktuelle Forschungs- und Demonstrationsvorhaben in Deutschland, wie zum Beispiel die solarthermische Wärmeversorgung des Neubaugebietes Gutleutmaten in Freiburg, adressieren die Frage von Flexibilisierungsoptionen, sowohl des Betriebes von Wärmenetzen und damit einer Reduktion der sommerlichen Wärmeverluste, als auch der Betriebsführung des Versorgungssystems in Bezug auf den Strommarkt [Oliva 2015]. Im August 2016 wurde die derzeit größte Solarthermie-Anlage in Deutschland mit einer Kollektorfläche von ca. 8.300 Quadratmetern zur Fernwärme-Unterstützung in Senftenberg in Betrieb genommen [Ritter 2016].

### Nicht-technische Aspekte für KWK

Eine Transformation des bestehenden KWK-Versorgungskonzepts in Deutschland zur Einbindung der regenerativen Energieträger muss neben den technischen Konzepten auch eine Reihe nicht-technischer Kriterien berücksichtigen. Darunter die wichtige Frage nach einer akzeptablen Kostenstruktur. Die nicht-technischen Einflussfaktoren spielen besonders im Bestandsquartier eine große Rolle, in denen die neuen Konzepte vorhandenen, traditionellen Rahmenbedingungen begegnen müssen. Grundlage für das Versorgungskonzept ist eine Kenntnis der Bedarfsstrukturen und eine Abschätzung der Bedarfsprognose auf Grundlage städtebaulicher und demografischer Daten. Das Ziel ist, marktgerechte Lösungen zu etablieren und den Klimaschutz durch Einbindung regenerativer Technologien in die Bestandsstrukturen voranzubringen. Die großen gesellschaftlichen Herausforderungen bestehen darin, eine frühzeitige und intensive Einbeziehung der Handlungsträger der Wohnungswirtschaft, Wohnraumnutzer und Energiewirtschaft zu erreichen.

### Quellenangaben

- BMWi 2016: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2015, September 2016
- Lund 2014: H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J.E. Thorsen, F. Hvelplund, B.V. Mathiesen. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy 68 (2014) 1-11.
- Braedstrup 2016: Internet: [www.braedstrup-fjernvarme.dk](http://www.braedstrup-fjernvarme.dk), 17.11.2016
- Hoffstede 2006: Hoffstede, U.; Kerzendorf, J.; von Klopotek, F.: Nahwärme – Ratgeber zur Planung und Errichtung von Nahwärmenetzen. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2006. – ISBN 978-3-8927-4249-4.
- Oliva 2015: Oliva, E. Mehmet, A. Ripka, S. Herkel, W. Kramer, Mehmet Elci Decentralized Solar District Heating Systems, Conference Paper published 2015 in Proceedings of the EuroSun 2014 Conference Authors: <http://dx.doi.org/10.18086/eurosun.2014.19.10>
- Ritter 2016: Internet: [ritter-xl-solar.com/anwendungen/waermenetze/senftenberg/](http://ritter-xl-solar.com/anwendungen/waermenetze/senftenberg/). 17.11.2016