

Systeme und Technologien für den Übergang zur energieeffizienten Stadt

Hintergrund

85 % der deutschen Bevölkerung lebt in Städten. Weltweit liegt dieser Anteil erstmals in der Geschichte der Menschheit bei 50%. Haushalte und Gewerbe in Deutschland verbrauchen rund 40% der Energie. Städte spielen deshalb im Energiesystem eine zentrale Rolle. Sie sind aber nicht nur Orte des Energieverbrauchs, sondern auch Akteure im Energiesystem, die über ihre Verwaltung Verbrauchsmuster regulieren und Infrastruktur auf Energieeffizienz hin optimieren können.

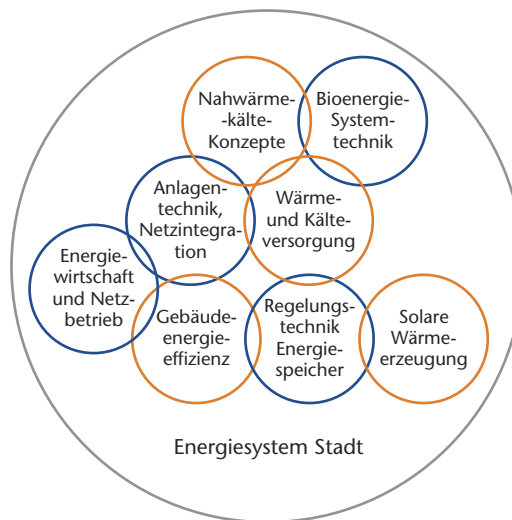
Die übergeordnete Zielsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung im Sinne der Einsparziele der Bundesregierung ist auf breiter Basis anerkannt und erhält Unterstützung sowohl von der Politik als auch durch die Bevölkerung. Städten und Kommunen kommt in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle bei der langfristigen Umsetzung der Ziele zu. Sie bilden die treibenden Kräfte und Koordinatoren für ihren Beitrag zum Klimaschutz und bei Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung auf ihrem kommunalen Einflussgebiet, wie in überregionalen Zusammenschlüssen und Verbänden.

Auf kommunaler Ebene stand in diesem Zusammenhang in der Vergangenheit häufig stärker die Frage nach einer verbesserten Ausnutzung der vorhandenen regenerativen Energiequellen im Vordergrund. Verschiedene Kommunen haben hier versucht, ihren ordnungsrechtlichen Handlungsspielraum zu nutzen und beispielsweise im Rahmen von Satzungen verbindliche Vorgaben für die Nutzung von Solarenergie auf Gebäuden zu machen oder den Ausbau von lokalen erneuerbaren Energieanlagen zu fördern. Oftmals kommt es bei der Umsetzung von Projekten zu Interes-

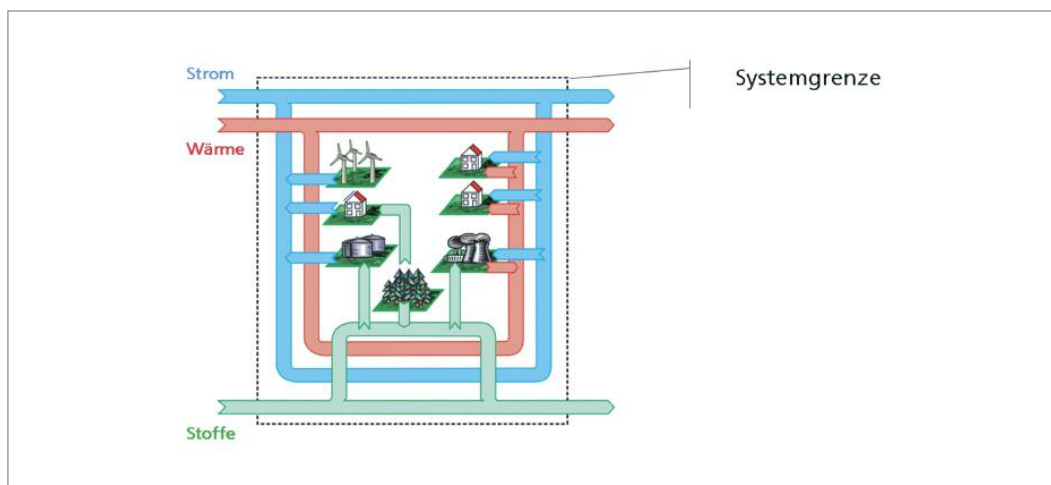
Christina Sager
Fraunhofer IBP
christina.sager@ibp.fraunhofer.de

Carsten Beier
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT)
carsten.beier@umsicht.fraunhofer.de

Dr. Ernst Huenges
GFZ
huenges@gfz-potsdam.de



Abbildungen 1, 2
Mehr Effizienz im „Energiesystem Stadt“ lässt sich durch die intelligente Vernetzung von Bedarfs- und Versorgungsstrukturen sowie der Erschließung und Einbindung neuer und innovativer Energiequellen erreichen.



senskonflikten zwischen Kommune, Energieversorgern und Bürgerinitiativen, da es bei der lokalen Umsetzung von beispielsweise Windkraftanlagen oder Biogasanlagen schnell zu Flächenkonkurrenzen und Interessenskonflikten kommt.

Diese Ansätze zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass es sich in der Regel um engagierte Einzelmaßnahmen handelt, die in aller Regel nicht innerhalb eines Gesamtbildes des Energiesystems abgebildet werden. Ansätze und Maßnahmen, die langfristig helfen, den Systemwandel in Richtung einer zukunftsweisenden Energieversorgung zu beschleunigen und zu vereinfachen, erfordern jedoch den Blick auf das Gesamtsystem zu weiten. „Energieeffiziente Stadt“ umfasst damit das Zusammenwirken verschiedener Bausteine aus den Handlungsfeldern Reduzierung des Energieverbrauchs, Ausbau der erneuerbaren Energien und, während einer Übergangszeit, die maximal mögliche Ausnutzung der Potentiale von nicht-erneuerbaren Energieträgern zur Restbedarfsdeckung.

Die effiziente Verknüpfung der unterschiedlichen Bedarfs- und Versorgungseinheiten stellt neben der Weiterentwicklung hocheffizienter Erzeugungs- und Speichertechnologien die Herausforderungen der Zukunft dar. Im Strombereich werden unter dem Schlagwort „Smart-Grids – Intelligente Netze“ derzeit eine Vielzahl von Fragestellungen zu diesem Themenkomplex bearbeitet. Doch die Herausforderungen liegen nicht nur in einer „intelligenten“ Stromversorgung. Mengenmäßig macht nach wie vor der Wärmebereich, Energie für die Beheizung von Gebäuden und die Warmwasserbereitung europaweit etwa 40 % des Primärenergiebedarfs aus. Neben einer Reduzierung des Bedarfs über eine verstärkte Gebäudesanierung liegen auch in der optimierten Wärme- und Kälteversorgung noch große Potentiale.

Wärme- und Kälteversorgung aus alten Kohlegruben – das Minewaterprojekt in Heerlen/NL

In der niederländischen Stadt Heerlen werden seit Ende 2008 die geothermalen Wasserreservoirs aus den stillgelegten Kohlegruben genutzt, um

Gebäude mit Wärme und Kälte zu versorgen. Die Stadt verfügt damit über ein einzigartiges Energieversorgungssystem, das auf Basis einer konsequenten Niedertemperaturversorgung basiert. Hierfür wurden in den energieeffizienten Gebäuden in Verbindung mit einer effizienten Lüftungstechnik konsequent Systeme eingesetzt, die eine Beheizung auf vergleichsweise niedrigem und eine Kühlung auf vergleichsweise hohem Temperaturniveau ermöglichen. Hierdurch wird ganzjährig ein exzellenter thermischer Komfort und Raumluftqualität für die Nutzer erreicht und im Vergleich zu konventionellen Technologien 50 % CO₂ eingespart.

Stillgelegte und geflutete Kohlegruben existieren in einer Vielzahl von ehemaligen Bergbauregionen in ganz Europa. Die Nutzung dieser enormen geothermalen Energiereservoirs kann neben dem energetischen Nutzen auch zu einer positiven sozio-kulturellen Entwicklung in den ehemaligen Bergbaukommunen beitragen.

Für das Projekt in Heerlen wird das Grubenwasser an verschiedenen Stellen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus gefördert. Die tiefste Bohrung erschließt ein warmes Wasserreservoir von etwa 30 °C in 800 Metern Tiefe. Kühlwasser wird aus weiteren Bohrungen aus einer Tiefe von 400 Metern mit einer Temperatur von 16–18 °C gefördert. Das Heiz- bzw. Kühlwasser wird über Leitungssysteme zu den zentralen Energiestationen gepumpt, welche die Energie an das sekundäre Verteilnetz abgeben und im Heizfall bei Bedarf das Temperaturniveau über Wärmepumpen auf 35–40 °C anheben.

Über die gemeinsame Rücklaufleitung kann im Sommer Überschusswärme aus den Gebäuden oder industriellen Prozessen in die Grubenreservoirs zurück geleitet werden. Um den spezifischen Bedarf der Gebäude, die sowohl Neubauten als auch sanierte Bestandsgebäude umfassen, genau decken zu können, werden lokale Wärmepumpen, Klein-Blockheizkraftwerke oder Gasbrennwert-Thermen eingesetzt. Das gesamte System wird über ein intelligentes Energiemanagementsystem gesteuert und überwacht. Auf diese Weise können langfristige wissenschaftliche Auswertungen zum Reservoirverhalten auf der Versorgungsseite ebenso wie auf der Bedarfsseite erfolgen, die eine Optimierung erlauben.

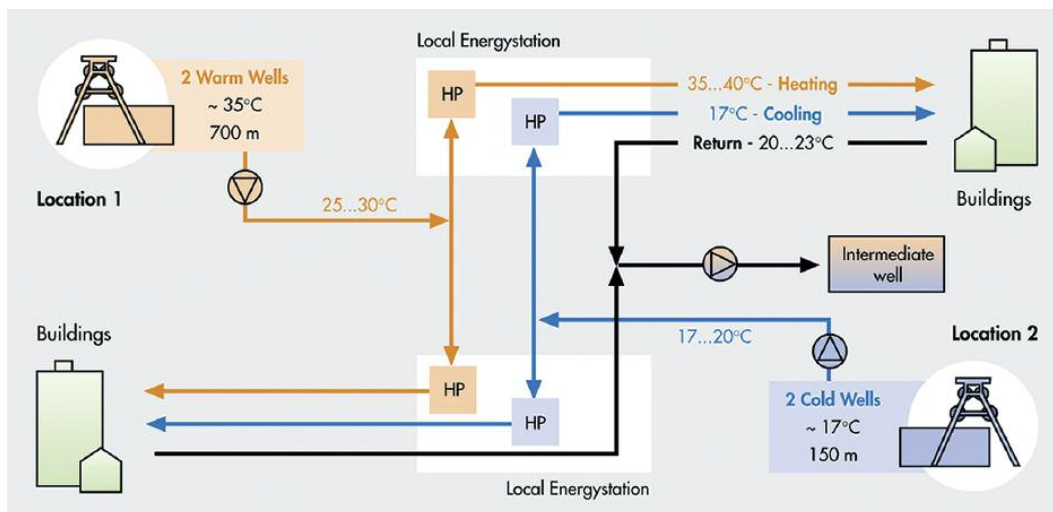


Abbildung 3
Prinzipskizze des
Energieversorgungssystems im Minewater-
Projekt in Heerlen

Forschungsprojekte zur Entwicklung energieeffizienter Stadtquartiere

Klimaschutzkonzepte verfolgen das Ziel, Einsparmaßnahmen zu entwickeln, die aufgrund der lokalen Gegebenheiten einer Stadt als lohnenswert und aussichtsreich in der Umsetzung erscheinen. Allerdings liegt der Schwerpunkt auf der Ermittlung des Bestandes sowie der vorhandenen Potenziale. Der entscheidende Faktor für das Erreichen von Einsparzielen ist dabei jedoch, die Brücke von der Potenzialstudie zur Umsetzung zu schlagen. Aus diesem Grund konzentriert sich die Förderinitiative EnEff:Stadt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie BMWi auf Stadtquartiere. Im Gegensatz zu Konzepten für ganze Städte und Kommunen können auf Stadtquartiersebene gezielter und schneller Maßnahmen umgesetzt werden. Gleichzeitig treten dabei typische Fragen und Probleme der Stadtplanung und der Umsetzung von Maßnahmen auf. Ein wesentliches Charakteristikum von Konzepten für Stadtquartieren wie für Kommunen und Städten ist die Vielzahl der Akteure, die mit unterschiedlichen Interessen und Zielen die Planung und Konzeption verfolgen. Zu den typischen Akteuren zählen neben der Stadt auch Investoren, Energieversorgungsunternehmen, Architekten und Fachplaner, Wohnungsbaugenossenschaften sowie Unternehmen, Eigentümer und Bürger. Die Komplexität wird im Vergleich zur Entwicklung

von Konzepten für Einzelobjekte durch die Vielzahl an Gebäuden auf Stadtquartiersebene deutlich erhöht. Dies spiegelt sich sowohl in der Vielzahl der Kombinationsmöglichkeiten zwischen Maßnahmen zur Bedarfsreduktion von Gebäuden und der Effizienzmaßnahmen im Bereich der Energieversorgung und -bereitstellung als auch in der Datenbeschaffung. Gerade die Qualität der Datenbasis ist verantwortlich für die Qualität der Aussagen, die mit Hilfe einer Konzeptentwicklung getroffen werden können. Im Gegensatz zu Einzelobjekten erhält die Datenbasis bei Stadtquartieren zusätzlich eine räumliche Komponente. In der Datenbeschaffung, -verwaltung und -auswertung kann gerade die Kommune als Koordinator sowie als zentrale und neutrale Einrichtung wichtige Aufgaben übernehmen.

Die Vielzahl der Gebäude, die bei der Entwicklung von Stadtquartieren betrachtet werden, führt zu höheren Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit der Konzepte als bei Einzelobjekten. Für die beteiligten Akteure ist daher die wirtschaftliche Effektivität der anvisierten Maßnahmen von großer Bedeutung, damit überhaupt eine Umsetzung möglich ist. Dies und die Komplexität der Planungsaufgabe machen eine integrale Planung erforderlich. Zum einen ist die Koordination der Projektpartner, die Erarbeitung der gemeinsamen Datenbasis sowie die Kommunikation und der Datenaustausch eine wichtige Voraussetzung. Zum anderen müssen Zielwerte definiert werden, um das Erreichen der gesteckten Ziele von der

Planung bis zum Betrieb überprüfen zu können. Weiterhin ist es für eine hohe wirtschaftliche Effektivität erforderlich, ein Gesamtoptimum der Maßnahmen zu erzielen. Dabei ist beispielsweise die Frage zu klären, welcher Dämmstandard oder welche Energieversorgungsanlagen im Zusammenspiel zu einem wirtschaftlich-energetischen Gesamtoptimum führen. Im Gegensatz zu Einzelobjekten besteht dabei in Stadtquartieren das Potenzial, vorhandene Wärmequellen (z. B. industrielle Abwärme) und Abnehmer von Heiz- und Prozesswärme durch die räumliche Nähe zu verknüpfen und somit vorhandene Potenziale kostengünstig zu nutzen.

Durch die Entwicklung energieeffizienter Stadtquartiere können die Energiekosten gesenkt sowie die Abhängigkeiten von Marktpreisen und -verfügbarkeit von Energie reduziert werden. Neben der Kostensenkung für Unternehmen und Anwohner kann durch die Entwicklung von Quartierskonzepten die Qualität eines gesamten Stadtteils verbessert und damit der Nährboden für Zuwanderung geschaffen werden. Aus Sicht der Stadtplanung ist darüber hinaus von Bedeutung, dass die regionale Wirtschaft gefördert und das Erreichen der gesteckten Klimaschutzziele aktiv vorangetrieben wird.

Im Rahmen der Förderinitiative EnEff:Stadt werden derzeit Projekte gefördert und durchgeführt, in denen für konkrete Stadtquartiere Konzepte entwickelt und umgesetzt werden. Dabei sollen innovative Technologien eingesetzt und Erfahrungen gesammelt werden, wie die Probleme bei der Entwicklung energieeffizienter Stadtquartiere gelöst werden können. Gleichzeitig werden Kriterien zur Bewertung von Quartierskonzepten entwickelt und Fallbeispiele beleuchtet, die in ihrer städtischen Struktur typisch sind und so eine Übertragung auf andere Bereiche ermöglichen. Ein weiteres Ziel von EnEff:Stadt ist der Transfer von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen. Detaillierte Projektinformationen sind auf den Seiten von www.eneff-stadt.info zu finden.

Wichtig für die Entwicklung energieeffizienter Städte ist der Ausbau thermischer Speicher. Es werden Konzepte zur saisonalen Speicherung thermischer Energie in Aquiferen sowie zur Integration der Speicher in Energieversorgungssysteme entwickelt. Dies erfolgt auf der Basis von Analysen

bestehender Systeme, modellbasierter Untersuchungen sowie der Entwicklung geeigneter Modellierungs- und Planungs-Werkzeuge. Die benötigten Kompetenzen liegen sowohl im untertägigen als auch im übertägigen Anlagensystem. So kann der Fortschritt in den jeweiligen Technologiebereichen hinsichtlich der Auswirkungen auf das gesamte Energiesystem beurteilt werden und eine Optimierung des Gesamtsystems erfolgen.

Die Nutzung innerstädtischer Geothermie ist eine ökologisch und ökonomisch ernst zu nehmende Zukunftsoption. Geothermie kann in großen Mengen kostengünstig und nachhaltig Wärme CO₂-arm bereitstellen, wobei der Aufwand für den Wärmetransport entfällt. Mit Geothermie ist eine krisensichere und langfristig kostengünstig darstellbare Grundlastversorgung in Größenordnungen von 100 MW und mehr möglich. Es fehlt nur an sicheren Untergrunddaten über potenzielle Ressourcen in den Metropolen, z. B. in der Hauptstadt Berlin. Daher wird zurzeit ein Konzept erarbeitet, mitten in der Hauptstadt Berlin eine Erkundungs- und Forschungsbohrung abzuteufen. Dabei handelt es sich um eine Vertikalbohrung zur Darstellung der Bandbreite des lokalen geothermischen Angebots in verschiedenen geologischen Gesteinshorizonten im Temperaturbereich bei ca. 25 °C, 40 °C, 60 °C, deren Schüttung noch unbekannt ist, sowie einen Horizont mit ca. 100 °C, welcher mit einer tiefen Erdwärmesonde genutzt werden kann. Im Teufenbereich bei ca. 130 °C kann das Konzept der „Enhanced Geothermal Systems“ (EGS) angewendet werden, d. h., eine ingenieurtechnische Nachbehandlung des Reservoirs wird in das Erschließungskonzept eingebunden, um die Lagerstättenproduktivität zu verbessern. Es steht somit eine breite Spannweite hydrothormaler Nutzungsoptionen zur Verfügung – für die Speicherung von Wärme und Kälte, den Einsatz einer geschlossenen Wärmesonde sowie in ca. 4 km im geologischen Bereich des Rotliegenden für ein EGS-Projekt. Der erfolgreiche Abschluss der Schöneberg-Bohrung und der dort vorgenommenen hydraulischen Testarbeiten bilden den ersten Meilenstein für das weitere Vorgehen bis zum Ausbau eines großen Demonstrationsvorhabens.

Kopplung von Wärme- und Stromtechnologien im zukünftigen „Energiesystem Stadt“

In der Energieversorgung der Zukunft werden durch die stark fluktuierende Einspeisung von erneuerbaren Energien Speichermöglichkeiten und steuerbare Verbraucher/Erzeuger benötigt, um die schwankende Einspeisung (z. B. von Wind und Sonne) in Angängigkeit von Stromverbrauch ausgleichen zu können. Ebenfalls ist eine erweiterte Erbringung von System- und Netzdienstleistungen zur Stabilisierung der Netze nötig.

Durch den zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien im Strombereich mit Fokus auf einer erneuerbaren Vollversorgung wird Strom zum Energieträger der Zukunft mit dem zunehmend auch der Bedarf im Verkehrsbereich (E-KFZ) und Wärmebereich (E-Wärmepumpen) effizient und wirtschaftlich gedeckt werden kann. Entsprechend sind die Möglichkeiten der Interaktion zwischen der Wärme(Kälte)- und Stromversorgung in den drei möglichen Anwendungstechnologien

- Wärmepumpen
- Klimatisierung und
- Kraft-Wärme-Kopplung

auch unter Berücksichtigung der meteorologischen Einflüsse (also der fluktuierenden Stromerzeugung und des Wärme-/Kältebedarfs) zu untersuchen.

Um diese Anwendungen in das intelligente, zukünftige Stromnetz zu integrieren und sie somit regelbar zu machen, müssen zum einen ihre Potenziale ermittelt werden, die hauptsächlich von dem zu beheizenden bzw. zu kühlenden Gebäuden abhängen. Des Weiteren können anschließend die Effekte für die zukünftige elektrische Energieversorgung untersucht und mit den kommenden Anforderungen im Stromnetz abgeglichen werden. Als drittes sind die Nutzergruppen zu identifizieren und entsprechende Vermarktungs- und Anreizkonzepte zu entwickeln, die im anschließenden Schritt mit einer Kommunikationsanbindung der Anwendungen umgesetzt werden können. Wichtig ist abschließend die Erprobung von entwickelten Teilaspekten im Zusammenspiel.