

Wärmewende am Beispiel Quartier

Ein Beitrag zur Energiewende

Zwanzig20 Forum
WÄRMEWENDE



Wärmewende am Beispiel Quartier

Ein Beitrag zur Energiewende

Ziturvorschlag:

Acksel, D., Huenges, E., Kastner, O. (Hrsg.) (2017): Wärmewende am Beispiel Quartier:

ein Beitrag zur Energiewende, Potsdam : Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.

DOI: [10.2312/GFZ.7.0.2017.001](https://doi.org/10.2312/GFZ.7.0.2017.001)

Impressum

Herausgeber:

Daniel J. Acksel, Koordinator Zwanzig20-Forum Wärmewende, GFZ

Prof. Dr. Ernst Huenges, Leitung Sektion 6.2: Geothermische Energiesysteme, GFZ

Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner, Leitung der Abteilung Solare Systeme, ISFH

Helmholtz-Zentrum Potsdam

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

Telegrafenberg · D-14473 Potsdam

Redaktion: Daniel J. Acksel

Design, Satz/Layout: Stefan Pigur, pigurdesign; Pia Klinghammer, GFZ

Druck: Druckerei Arnold, Großbeeren

Veröffentlicht in Potsdam, Deutschland 2017 (Version 1.3)

<http://doi.org/10.2312/GFZ.7.0.2017.001>



Alle Texte dieser Veröffentlichung sind unter einem Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY SA 4.0) Lizenzvertrag lizenziert. <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
Zusammenfassung.....	5
1 Wärmewende in Deutschland – Warum Wärme und Kälte so bedeutend sind	6
2 Das Zwanzig20-Forum Wärmewende	8
Exkurs: Warum Technologie-Demonstration so wichtig ist	9
3 Die Studien im Forum Wärmewende zur Entwicklung von Demonstratoren	10
4 Thesen für eine Wärmewende	12
5 Forschungsbedarf zur innerstädtischen Wärmebereitstellung	16
Die Studien im Detail	19
Energieautarkes Wohnquartier in Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf.....	20
Aquiferspeicher-gestützte, solarthermische Wärmeversorgung von Bestandsquartieren.....	26
Umbau der Fernwärme auf regenerative Energien am Beispiel der Bauhausstadt Dessau.....	34
W4 - Wohnen, solare Wärme, Wärmespeicher und Wärmepumpe	40
Wärmewende in einem Quartier am Beispiel der Eberswalder Innenstadt.....	42
Quartierskonzepte: Herausforderung Wärmelösungen in Kommunen.....	48
Weiterführende Literatur.....	54
Danksagung	56

Vorwort



Die Verfügbarkeit von Energie ist eine zentrale Voraussetzung für gesunde Lebensverhältnisse und wirtschaftliche Entwicklung. Eine der weltweit wichtigsten Aufgaben der Gegenwart und Zukunft besteht daher darin, den Menschen sichere, zuverlässige, bezahlbare und umweltverträgliche Energie sowie hocheffiziente Nutzungstechnologien bereitzustellen.

Die Dringlichkeit zum Umbau der Energieversorgung ergibt sich aus dem Klimawandel. Menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Rohstoffe und die weltweite Abholzung der Wälder haben zu erhöhten CO₂-Emissionen geführt. Um die damit verbundene Erderwärmung zu begrenzen¹, müssen insbesondere die Industrieländer ihre Emissionen in den kommenden 30 Jahren drastisch senken. Weltweit müssen erneuerbare Energiequellen erschlossen werden.

Bereits heute lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten und Metropolregionen. Mehr als 70 % des Energieverbrauchs und 80 % der Treibhausgasemissionen entfallen bereits jetzt auf die Städte – mit weiter steigender Tendenz. Das Gelingen einer Energiewende wird daher in den Städten entschieden.

In Deutschland stehen Forschung, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft vor der Herausforderung, die beschlossene Energiewende, d.h. den umfassenden Umbau des Energiesystems, zu verwirklichen. Bei der Transformation des Energiesystems ist die Wissenschaft gefordert, sowohl technologische Lösungen zu entwickeln als auch Orientierungswissen zur bestmöglichen Steuerung dieses Prozesses zu liefern.

Eine erfolgreiche Energiewende benötigt neben einer Stromwende auch eine Mobilitäts- und eine Wärme wende. Das Zwanzig20-Forum Wärmewende widmet sich der verstärkten Einbindung des Wärmesektors in die noch immer sehr auf Elektrizität fokussierte Debatte. Wie kann die Wärmewende in den Quartieren unserer Städte gelingen? Gerade für die Metropolregion Berlin ist dies ein zentrales Thema, da Wärme dort nach wie vor überwiegend aus fossilen Energieträgern erzeugt werden.

Das Zwanzig20-Forum Wärmewende ist eng vernetzt mit dem Cluster Energietechnik Berlin-Brandenburg². Konkrete Ansatzpunkte für die Energiewende in der Region bietet der neue Masterplan³. Hier finden sich Themen rund um innovatives Wärmemanagement, Gebäude- und Fassadentechnik sowie dezentrale erneuerbare Energiesysteme im urbanen Raum. Die Innovationsthemen wurden in enger Abstimmung mit den regionalen Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft erarbeitet und sollen helfen, die Stärken der Energietechnikbranche der Hauptstadtregion zu bündeln.

Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl

¹ UN-Klimakonferenz COP 21
² www.energietechnik-bb.de
³ Veröffentlichung für Q3/17 geplant

Zusammenfassung

Energiewende ist Daseinsvorsorge. Eine erfolgreiche Energiewende benötigt eine Wärmewende! Innovativen, Demonstration und gesellschaftliche Akzeptanz spielen dabei eine Schlüsselrolle. Das „Zwanzig20-Forum Wärmewende“ entwickelt Strategien für den zukünftigen Einsatz von innovativen Technologien zur Realisierung der Wärmewende. Wir sind davon überzeugt, dass eine effiziente Wärmeversorgung urbaner Räume aus heimischen, regenerativen Energiequellen nicht nur möglich, sondern auch umsetzbar ist.

Die Wärmewende kann gelingen, wenn die Energieeffizienz und der Anteil erneuerbarer Wärme gesteigert werden und der Sektor Strom geschickt in die Wärmeerzeugung eingebunden wird. Effizienzmaßnahmen haben Vorrang, stoßen aber an Grenzen. Erneuerbare Energien besitzen im Wärmesektor ein hohes Entwicklungspotential. Es gibt kein Patentrezept, die Wärmewende muss technologieoffen gestaltet werden. Im Transformationsprozess spielen Akzeptanz, Demografie und strukturierte Stadtentwicklung eine Schlüsselrolle. Deshalb sind die technologischen Lösungsansätze in eine holistische Sichtweise zu integrieren. Für eine Wärmewende sollten Lösungen ab der Dimension „Quartier“ vorrangig umgesetzt werden.

Städte sind stark verdichtete Lebensräume des Menschen. Wärme-, Kälte- und Gasnetze bringen erneuerbare Energien in diese Lebensräume. Daher werden diese Netze in Städten erhalten und ausgebaut. In Großstädten gibt es auch künftig einen substanzuellen Bedarf für eine zentrale Fernwärmeverversorgung. Hierfür ist zukünftig die Nutzung von Erdwärme unverzichtbar. Die Netze sind die Energieversorgungsinfrastrukturen, die eine Integration der Innovationen von morgen ermöglichen, also von Lösungen, die wir heute noch nicht kennen.

Bei vielen technologischen Prozessen fällt Abwärme an, die ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird. Die Stadt der Zukunft heizt und kühl mit dieser Abwärme. Dafür sind Speicher notwendig, auch saisonale Großspeicher.

Demonstration ist wichtig für den Erfolg der Wärmewende. Demonstration adressiert die vorhandenen Zielkonflikte, hilft den Veränderungsprozess lösungsorientiert zu gestalten und fördert die Akzeptanz. Benötigt werden mehr Demonstrationsprojekte. Ausgehend von technologischen Lösungen bauen sichtbare und erfolgreiche Demonstrationsprojekte Vorbehalte und Unsicherheiten ab und schaffen Blaupausen für erfolgreiches Handeln und Wirtschaften. Dabei vernetzen sie an einem konkreten Standort die relevanten Akteure und verhelfen Innovationen zum Markteintritt.

Der Entwicklung von regenerativen Demonstrationsvorhaben stehen deutliche Hemmnisse gegenüber, daher ist sie für alle Beteiligten zeit- und ressourcenintensiv. Eine regenerative Wärmeversorgung erfordert zusätzliche Investitionen und muss sich als neuer Teilnehmer in einem etablierten und gedeckten Wärmemarkt behaupten. Kostendruck und Konkurrenzstellung liefern dabei wenig Anreize für Versorger und Verbraucher, regenerative Technologien zu implementieren. Die Anwendung innovativer Technologien stellt vielfach die etablierten Rollen zwischen Erzeuger und Verbraucher sowie dem Produkt der Wertschöpfung in Frage. Neue Geschäftsmodelle haben es schwer sich durchzusetzen, da die etablierten Modelle gut funktionieren.

Demonstrationsvorhaben müssen daher durch staatliche Förderprogramme stimuliert werden. Integrierte Verbundprojekte zwischen der Wärmewirtschaft und öffentlichen Forschungsinstitutionen liefern gute Voraussetzungen für eine Förderfähigkeit.

Wärmewende in Deutschland – Warum Wärme und Kälte so bedeutend sind

Deutschland hat einen umfassenden Umbau des Energiesystems beschlossen. Dieser unter dem Titel *Energiewende* subsummierte Transformationsprozess wurde von der Bundesregierung durch die Formulierung ehrgeiziger energiepolitischer Ziele vorstrukturiert: Bis 2050 soll der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 halbiert werden⁴. Das ist nur zu erreichen, wenn wir in allen Lebensbereichen Energie einsparen. Im Jahr 2050 sollen erneuerbare Energien 60 Prozent des Bruttoendenergieverbrauchs und 80 Prozent des Stromverbrauchs decken. Die Treibhausgasemissionen sollen bis 2050 gegenüber 1990 um mindestens 80 Prozent sinken. 40 Prozent der Energie verbrauchen wir in Deutschland fürs Wohnen. Der Wärmebedarf des Gebäudebestandes soll bis 2020 um 20 Prozent sinken. Bis 2050 sollen Häuser nahezu klimaneutral sein, also den eigenen Bedarf nur aus erneuerbaren Energien decken.

Deutschland hatte im Jahr 2015 einen Primärenergieverbrauch von 13.293 Petajoule (vgl. Abb. Seite 7 oben). Davon wurden ca. 87 % durch Energieträger aus Georesourcen bereitgestellt. Der Wärmesektor macht etwa die Hälfte des Endenergiedecks in Deutschland aus (vgl. Abb. Seite 7 unten). Dabei werden nur ca. 13 %⁵ der Wärme aus erneuerbaren Ressourcen – im Wesentlichen Biomasse – erzeugt. Dieser Anteil stagniert seit Jahren auf einem Niveau von ca. 10 bis 13 %.

Die Energiewende kann nur erfolgreich sein, wenn auch eine Wärmewende erfolgt und die Wärme- und Kälteversorgung tatsächlich als integraler Bestandteil des gesamten Energieversorgungssystems neu gedacht und strukturiert werden. Die Dominanz der fossilen Energieträger im Wärmesektor ist durch Verfügbarkeit, vorhandene Technologien sowie durch gewachsene Vertriebs- und Infrastrukturen und gute Skalierbarkeit historisch bedingt. Es hat sich ein stark heterogener Wärmemarkt ausgeprägt, der von einer Mischversorgung ländlicher Haushalte bis zur Zentralversorgung urbaner Stadtquartiere reicht.

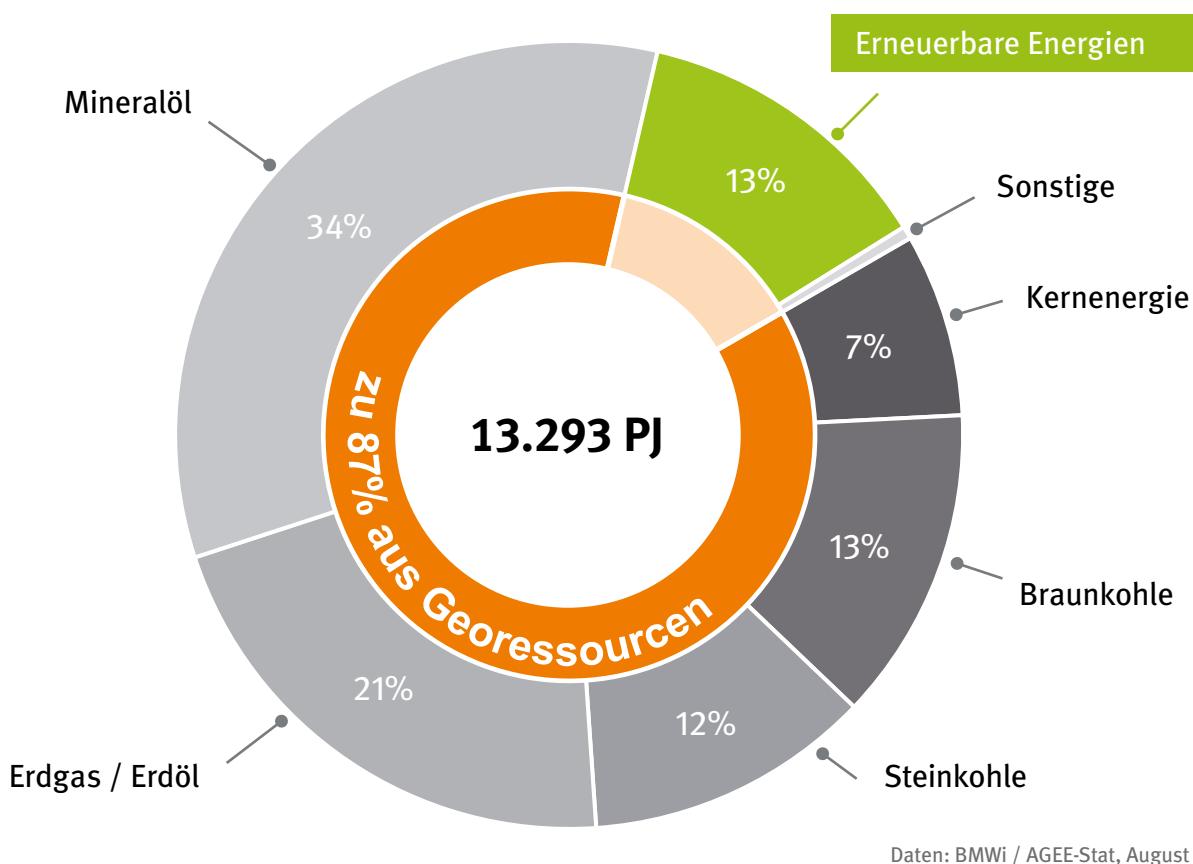
Eine Energiewende auf dem Wärmemarkt muss dieser Heterogenität gerecht werden. Erfolgreiche Konzepte für eine Wärmewende müssen daher systemischen Charakter haben. Die optimale Kombination und Integration bereits vorhandener Technologien ist im Hinblick auf die Marktimplementierung nicht minder wichtig. In urbanen Räumen stellt die emissionsneutrale Wärmeversorgung eine große Herausforderung dar. Stadtquartiere in Deutschland und besonders in Ostdeutschland sind überwiegend durch eine fossile und zentrale Wärmeversorgung geprägt. Wie kann dieser große Gebäudebestand in eine Wärmewende einbezogen werden? Die Versorgung von Gebäudekomplexen oder Quartieren aus regenerativen Ressourcen führt zu technischen Fragestellungen der Prozessintegration wie Verfügbarkeit, Wärmetransport und Lastmanagement. Andererseits erfordert die Nutzbarmachung regenerativer Ressourcen die Etablierung neuer Geschäftsmodelle, zu deren Implementierung eine Akzeptanz bei den Handlungsträgern wie der Wohnungswirtschaft inklusive der Wohnraum-Nutzer, der Energie- und Finanzwirtschaft sowie der Politik notwendig ist. Neben den nötigen technischen Voraussetzungen ist die Herbeiführung einer Implementierungsakzeptanz daher eine wesentliche Fragestellung bei einer Strategieentwicklung zur Wärmewende.

Das GFZ hat die Bedeutung einer Wärmewende für das Gelingen der Energiewende bereits im Jahr 2012 identifiziert und als erste Forschungseinrichtung in Deutschland maßgeblich sichtbar gemacht. Zu damaliger Zeit wurde die Energiewende im Wesentlichen als „Stromerzeugungswende“ diskutiert. Als gestalterischen Impuls hat das GFZ daraufhin federführend ein Konsortium aus Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Kommunen initiiert und sich mit dem Ansatz „Masterplan Energiewende – Wärme neu gedacht!“ um ein Großprojekt beworben. Daraus sind das Projekt „Wärme neu gedacht!“ (FKZ:03ZZF61) sowie das „Zwanzig20-Forum Wärmewende“ entstanden. Das Forum hat sich erfolgreich als eine neue und eigenständige Organisationsform etabliert. Ausgewählte Ergebnisse aus dem Projekt werden in dieser Broschüre dokumentiert.

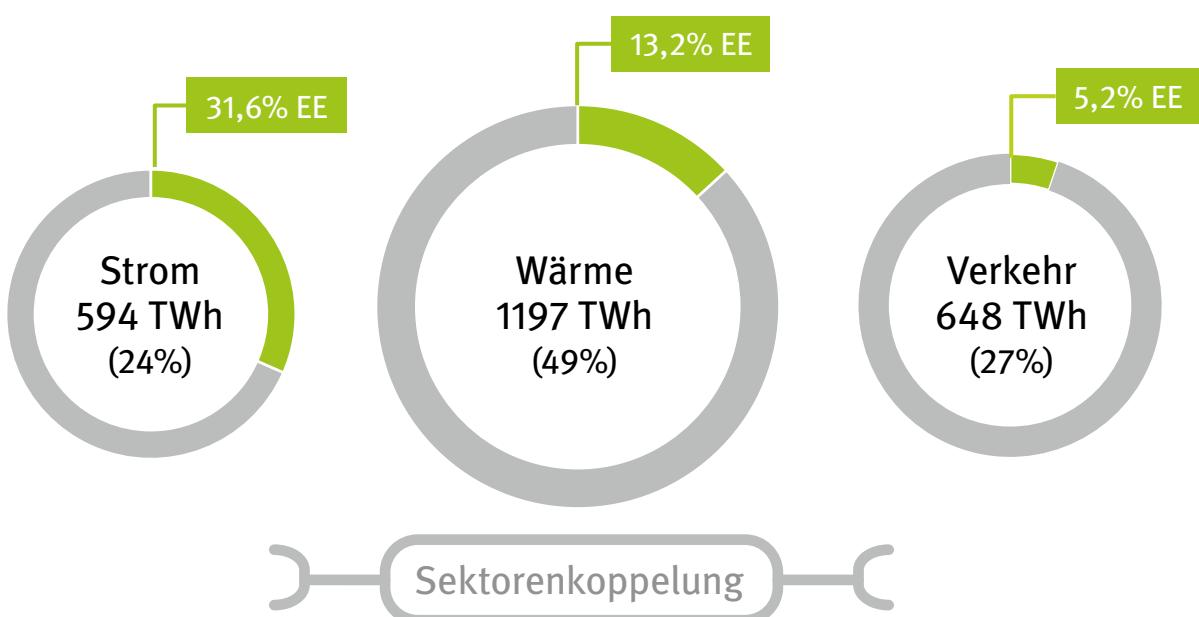
⁴ https://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Fragen-Antworten/1_Allgemeines/1_warum/_node.html

⁵ BMWi, Stand 2016

Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Deutschland (2015)



Marktgrößen und Anteile Erneuerbarer Energien (EE) 2015



Das Zwanzig20-Forum Wärmewende

Das Zwanzig20-Forum Wärmewende ist eine offene Cluster-Struktur unter Federführung des Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ. Das Forum versteht sich als thematischer Marktplatz für Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Verbände sowie Kommunen und Landkreise. Es vereint wissenschaftliche, technologische und unternehmerische Kompetenzen. Es ist eng vernetzt mit bestehenden Innovationsnetzwerken wie z. B. dem gemeinsamen Cluster Energietechnik der Länder Berlin und Brandenburg⁶. Anerkannte Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft unterstützen das Forum als Beirat.

Das Zwanzig20 Forum Wärmewende entwickelt Strategien für den zukünftigen Einsatz innovativer Technologien zur Realisierung einer Wärmewende. Dabei steht eine effiziente Wärmeversorgung urbaner Räume aus heimischen, regenerativen Energiequellen im Vordergrund. In Kooperation mit Partnern aus Energiewirtschaft und Kommunen werden anhand von Studien ausgewählte, lokale Integrationsansätze im Quartiersmaßstab entwickelt. Bei der Vorbereitung derartiger Demonstrationsvorhaben werden mit den technologischen Lösungsansätzen gleichzeitig Akzeptabilität und sozio-ökonomische Rahmenbedingungen einer Markteinführung überprüft. Demonstrationsvorhaben können den beteiligten kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) als In-situ-Testlabor für eigene Entwicklungen dienen und eröffnen vielfältige Möglichkeiten für Begleitforschung im Verbund.

Zukünftig soll die Vernetzung der lokalen Akteure mit der Wissenschaft und mit technologisch innovativen Firmen weiterhin im Fokus des Forums stehen, und zwar entlang der gesamten Kette – Erzeugung, Transport und Nutzung von Wärme und Strom. Dabei soll sich die Strategie entlang folgender Bedürfnisfelder orientieren:

- Vernetzung der Handlungsträger in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft
- Entwicklung von Innovationsstrukturen und Stärkung der Wirtschaft
- Wissensvermittlung in die Öffentlichkeit
- Wir zeigen wie es geht! – Vorbereitung zukünftiger Demonstratoren

Durch eine neuartige, an den obigen Punkten orientierte Zusammenarbeit werden Wertschöpfungs- und Innovationszusammenhänge identifiziert, die es den beteiligten Partnern ermöglichen, Ziele, Standards oder Schwerpunkte zu entwickeln. Durch den Einsatz diskursiver Methoden wird zwischen nationalen Zielen und konkreten „Bottom-Up“-Ansätzen moderiert. Es werden interdisziplinäre Zusammenschlüsse stimuliert, die dem multidisziplinären Charakter des Themas gerecht werden und Grenzen durchbrechen. Dadurch wollen wir die Mitwirkenden befähigen, sich auf Leitmärkten mit neuen Produkten und Dienstleistungen als starke Anbieter nachhaltig zu positionieren, vorerst national – das Potential ist global.

⁶ www.energiotechnik-bb.de

Exkurs: Warum Technologie-Demonstration so wichtig ist

Demonstration ist wichtig für den Erfolg der Energiewende. Diese Kernaussage war frühzeitig Konsens und begleitet die Aktivitäten im Forum bis heute. Die Bedeutung von Demonstration wird anhand unterschiedlicher Argumentationslinien abgeleitet. Einerseits ist der Transformationsprozess Energiewende hochkomplex, multidimensional und trotz aller Erfolge im Stromsektor aktuell noch ergebnisoffen. Charakteristisch für den Transformationsprozess ist, dass eine Vielzahl von Akteuren permanent interveniert, bewusst und unbewusst. Dabei treten Zielkonflikte auf. Es findet eine Verzahnung zwischen technischer Entwicklung, politischer bzw. regulatorischer Gestaltung, organisatorischer Anpassung sowie entsprechender Verhaltensanpassung von Individuen, Unternehmen und anderen Akteuren statt. Demonstration hilft, diese Prozesse lösungsorientiert zu gestalten und fördert die gesellschaftliche Akzeptanz.

Weiterhin trifft zu, dass bei der Wärmenutzung oft der in der Regel elektrische Hilfsenergiebedarf übersehen wird. Durch diesen sind die Sektoren notwendigerweise gekoppelt. Die Erfahrung zeigt, dass nur in Demonstrationsprojekten das Ausmaß der Hilfsenergie wirklich sichtbar wird. Zudem werden nur bei der Demonstration die innovationshemmenden Widerstände greifbar und angreifbar.

Andererseits erfordert eine regenerative WärmeverSORGUNG zusätzliche Investitionen. Sie muss sich als neue Teilnehmerin in einem etablierten und gedeckten Wärmemarkt behaupten. Kostendruck und Konkurrenzstellung liefern dabei wenig Anreize für Versorger und Verbraucher, regenerative Technologien zu implementieren. Die politischen Zielvorgaben zur Energiewende müssen daher durch staatliche Förderprogramme stimuliert werden. Dabei spielen erfolgreiche Demonstratoren eine Schlüsselrolle. Integrierte Verbundprojekte zwischen der Wärmewirtschaft und öffentlichen Forschungsinstitutionen liefern gute Voraussetzungen für eine Förderfähigkeit. Das Projekt "Wärme neu gedacht!" zielt auf die Entwicklung solcher Verbundprojekte zum Thema Wärmewende. Diese werden im Weiteren als Studien zur Entwicklung von Demonstratoren bezeichnet.

Die Studien im Forum Wärmewende zur Entwicklung von Demonstratoren

Ziel der Studien ist die Entwicklung von Demonstrationsvorhaben für die Wärmewende. Demonstriert werden soll ein schrittweiser Umbau der Energieinfrastrukturen unter Anwendung inkrementeller Innovationen. Erfolgreiche Studien können den Standort und die Akteure zum Reallabor Wärmewende im Sinne einer *best practice* qualifizieren. Durch die Einbindung konkreter Planungsarbeiten konnten Praxiserfahrungen gesammelt und im Rahmen der Strategieentwicklung ausgewertet werden.

Die Auswahl der Studien erfolgte auf Basis eines internen Wettbewerbs anhand von Eignungskriterien⁷, Wertungskriterien⁸ und der Leitfrage, wie Bestandsquartiere mit derzeit fossiler Zentralversorgung in die Wärmewende einbezogen werden können. Die transparente Beschreibung des Auswahlverfahrens als auch die Einbindung eines unabhängigen Expertengremiums haben innerhalb des Forums sowohl zu Beteiligung als auch zu großer Akzeptanz geführt. Die Ergebnisse der Studien werden nachfolgend kurz zusammengefasst, während eine detailliertere Darstellung im hinteren Teil dieser Broschüre zu finden ist.

Energieautarkes Wohnquartier in Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf

Das Konzept für diese Studie basiert auf einer Initiative der Siedlervereine Eichkamp e.V. und Heerstraße e.V. in Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf. Die Siedlervereine verfolgen das Ziel, ihre Quartiere autark mit Wärme und Strom aus regenerativen Energiequellen zu versorgen. Die Quartiere sind in den Jahren 1920 bis 1940 als Gartenstadt entstanden und weisen ca. 775 Gebäude auf. Mit der Studie wurden Grundlagen und technologische Lösungen für den Transformationsprozess erarbeitet. Es wurden Beteiligungsprozesse für die Eigentümer etabliert und die technologischen Lösungen unter Einbeziehung der Genehmigungsbehörden auf Machbarkeit

und Wirtschaftlichkeit geprüft. Mit den Fachämtern der zuständigen Bezirke und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt wurden rechtliche Fragestellungen wie etwa die privatwirtschaftliche Verlegung von Medienträgern im öffentlichen Raum geklärt. Die Vereine haben sich zu einer Bürgerenergievereinigung zusammengeschlossen. Im nächsten Schritt sollen ein Sanierungsmanager eingestellt und Insellösungen umgesetzt werden. Die Gründung einer Bürgerenergiegenossenschaft ist vorbereitet.

Aquiferspeicher-gestützte, solarthermische Wärmeversorgung von Bestandsquartieren

Grundlage für diese Studie war ein wissenschaftliches Konzept zur Einbindung eines solarthermischen Heizwerks und eines Aquiferspeichers in bestehende FernwärmeverSORGUNGSstrukturen. Für verschiedene Standorte in Brandenburg wurde die Machbarkeit hinsichtlich Versorger- und Abnehmerstruktur, Sanierungsbedarf, Flächenverfügbarkeit, Eigentums- und Akteursstruktur analysiert und bewertet. Als implementierungsfreudlich eingestuft und letztendlich ausgewählt wurde ein Versorgungsgebiet bestehend aus zwei Quartieren und einem Krankenhaus im Norden der Innenstadt von Eberswalde. Zusammen mit Stadt und Versorger wurden Varianten für ein zukünftiges FernwärmeverSORGUNGSkonzept erarbeitet und den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Für die Weiterverfolgung einer Implementierung wurde ein Projektkonsortium gebildet und das Vorhaben „Effiziente und regenerative Wärme für Quartiere – Ablösung der fossilen Versorgung in Eberswalde“ vorbereitet. Dieses Vorhaben sollte als Leuchtturmpunkt im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“ (BMWi & BMBF) beantragt werden. Herausgearbeitet wurden neben technologischen Lösungen ebenfalls die Herausforderungen, Risiken und Hemmnisse für die lokalen Akteure bei derartigen Vorhaben.

⁶ A) Demonstrator für regenerative und effiziente Wärmeversorgung, B) Region: Ostdeutschland, C) Dimension: Quartier nach Definition KfW, D) Bestandsgebäude, E) KMU Beteiligung, F) Mitglied im Projektkonsortium, G) Beitrag zur Strategieentwicklung für eine Wärmewende in Deutschland

⁷ Innovationspotential, Technologie, Akzeptanz, Relevanz und Signifikanz

Umbau der Fernwärme auf regenerative Energien am Beispiel der Bauhausstadt Dessau

Die von einem Stadtwerk getriebene Studie adressiert typische Herausforderungen von Kommunen und Energieversorgern in Ostdeutschland. Das bestehende Fernwärmennetz muss im Kontext sinkender Einwohnerzahlen umgebaut werden. Der Kraftwerkspark ist veraltet, die Betriebserlaubnis für das Kohleheizkraftwerk erlischt 2023, die Gasturbinenanlage hat noch ca. 20.000 Stunden Lebensdauer und hohe Wartungskosten. Die Effizienz der gesamten Anlage ist nicht zeitgemäß. Der Strom-Fremdbezug ist preiswerter als der Betrieb der eigenen Gas- und Dampfturbinen-Anlage. Die Abnahme aus dem Fernwärmennetz sinkt infolge des demographischen Wandels, durch Nutzungsänderung, den Rückbau von Gebäuden, aber auch durch effizienzverbessernde Maßnahmen an den Gebäuden. Ausgewählt wurde die Studie auch, weil eine besondere „Strahlkraft“ innovativer Ansätze im Hinblick auf die im Jahr 2019 anstehende 100-Jahr Feier zum Bauhaus Dessau gesehen wurde. Erarbeitet wurden technologische Lösungen und ein Maßnahmenkatalog für den Umbau des Fernwärmeareals 24 - „Schaftrift“. Der Gebäudebestand stammt aus den 1980er Jahren in Form von 23 WBS70-Plattenbauriegeln, einer Turnhalle, einer Kaufhalle und einer Kindertagesstätte.

W4 - Wohnen, solare Wärme, Wärmepumpe und Wärmespeicher

Die Studie beschäftigt sich mit der effizienten Versorgung eines Quartiers in Potsdam mit Wärme aus regenerativen Energiequellen. Dabei sollen eine solarthermische Anlage mit einem Erdspeicher, dem so genannten „e-Tank“, und einer Wärmepumpe kombiniert werden. Die erzeugte Energie soll zwei Wohngebäude mit insgesamt 62 Wohneinheiten versorgen, die sich im Besitz einer kommunalen Wohnungsbaugesellschaft befinden. Erarbeitet wurden technologische und wirtschaftliche Lösungen auf Gebäudeebene. Die Wohnungsbaugesellschaft wird Teilergebnisse der Studie im Jahr 2017 baulich umsetzen.

Wärmewende in einem Quartier am Beispiel der Eberswalder Innenstadt

In dieser Studie wurde untersucht, wie sich die Zielwerte des Energie- und Klimaschutzkonzepts in der Eberswalder Innenstadt erreichen lassen. Eberswalde steht dabei exemplarisch für weitere Städte. So gibt es allein in Brandenburg 25 und deutschlandweit rund 600 Städte mit ähnlichen Merkmalen. Charakteristisch sind eine Bausubstanz, die aus unterschiedlichen Epochen stammt, und die Mischung gewerblicher, privater und öffentlicher Verbraucher mit jeweils spezifischen Wärmebedarf. Ausgewählt wurden im Innenstadtbereich vier repräsentative Quartiere unterschiedlichen Typs. Für diese Quartiere wurden strukturiert Daten erhoben, zunächst die Gebäude selbst, dann der Sanierungsstand, der Wärmeverbrauch und der Einsatz von Primärenergieträgern. Dann wurden Verbrauchergruppen klassifiziert, das Nutzerverhalten durch Befragungen analysiert und unter Annahmen zur soziodemografischen Entwicklung in die Zukunft prognostiziert. Daraus wurde der zukünftige Wärmebedarf abgeleitet und ermittelt, welche Faktoren den Verbrauch signifikant in privaten Haushalten beeinflussen. Für die Quartiere wurden anschließend Energieversorgungskonzepte in zwölf Varianten gerechnet und miteinander verglichen. Insgesamt wird als Ergebnis ein sukzessiver Umbau favorisiert. Dieser Umbau sollte durch die Stadtentwicklung, den Energiedienstleister sowie die Hauseigentümer begleitet werden und sich an den Zielstellungen des Klimaschutzkonzeptes orientieren.



Mit eigenen Veranstaltungen und der Beteiligung an bestehenden Formaten agieren die Akteure des Forums als Teilnehmer einer öffentlich geführten Debatte. Diese diskursiven Formate haben neue Gedanken und Kernaussagen zur Wärmewende hervorgebracht. Dabei werden selbst wesentliche Aussagen in der Regel nie von allen Akteuren gleichermaßen getragen. Zudem variiert die Pointierung durch die jeweilige Rolle der Akteure und im Zeitkontext des Transformationsprozesses. Trotzdem lassen sich Kernaussagen identifizieren, die übereinstimmend bei unterschiedlichsten Akteuren immer wieder auftauchen und als bedeutend für den Erfolg einer Wärmewende angesehen werden. Diese werden nachfolgend als Thesen⁹ vorgestellt.

⁹ Diese Thesen stehen bewusst teilweise im Widerspruch zueinander und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Energiewende benötigt eine Wärmewende.

Bislang lag der Fokus bei der Energietransformation auf dem Ausbau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten. Wir müssen weg von einer Stromerzeugungswende hin zu einer echten Energiewende. Ohne die Einbeziehung aller

Sektoren – Wärme, Strom und Verkehr – ist eine Energiewende nicht zu realisieren. Eine Wärmewende gelingt durch die Steigerung der Energieeffizienz und des Anteils der erneuerbaren Wärme sowie durch die Sektorenkopplung. Je mehr der Energieverbrauch reduziert wird, desto weniger muss durch erneuerbare Energiequellen bereitgestellt werden. Effizienzmaßnahmen haben somit Vorrang, stoßen aber an technische, architektonische und wirtschaftliche Grenzen. Es gibt kein Patentrezept, die Wärmewende muss technologieoffen gestaltet werden. Im Wärmesektor besitzen erneuerbare Energien ein hohes Entwicklungspotential. Im Transformationsprozess spielen Akzeptanz, Demografie und strukturierte Stadtentwicklung eine Schlüsselrolle. Deshalb sind die technologischen Lösungsansätze in eine holistische Sichtweise zu integrieren. Bei der Wärmewende sollten Lösungen ab der Dimension „Quartier“ vorrangig umgesetzt werden. Quartiere können im Vergleich zu Einzelhäusern effizienter geheizt werden.

Gesellschaftliche Akzeptanz ist eine Schlüsselgröße für den Erfolg der Energiewende. Bisher wurden die Anforderungen an unser Energiesystem mit folgenden Begriffen beschrieben: Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Klima- bzw. Umweltverträglichkeit. Diese Darstellung unterschätzt die Bedeutung der Gesellschaft bei Transformationsprozessen in demokratischen Systemen und muss folgerichtig um ein vierstes Element ergänzt werden, die gesellschaftliche Akzeptanz. Ziel ist es, beim Transformationsprozess – einhergehend mit der Einführung von etwas Neuem – positive Reaktionen bei den Betroffenen zu erreichen. Für das Erreichen von Akzeptanz im Veränderungsprozess ist es förderlich, wenn folgende fünf Aspekte attraktiv beschrieben werden können: Warum ist die Veränderung notwendig, warum jetzt, wohin führt die Veränderung, was bedeutet die Veränderung für den Einzelnen, was sind die nächsten konkreten Schritte? Diese Fragen an den Gesamtprozess Energiewende können im Allgemeinen nur unzureichend beantwortet werden. Sehr viel einfacher ist dieses jedoch auf der Ebene von konkreten Demonstrationsprojekten. Ausgehend von technologischen Lösungen bauen sichtbare und erfolgreiche Demonstrationsprojekte Vorbehalte ab und schaffen Blaupausen für erfolgreiches Handeln. Dabei vernetzen sie lokale Akteure und verhelfen Innovationen zum Markteintritt. Demonstratoren bedürfen durch den in der Regel vorwettbewerblichen Rahmen einer Stimulation durch Förderung. Demonstration hilft, die Implementierungskzeptanz zu steigern.

Demonstration schafft Akzeptanz.



Netze sind die Integrationsplattform von morgen.

versorgung. In der Zukunft sind Netze die Infrastrukturen, die eine Integration von technologischen Innovationen ermöglichen, also von Lösungen, die wir heute noch nicht kennen. 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 muss¹⁰.

Städte sind stark verdichtete Lebensräume des Menschen. Um zukünftig mehr regenerative Wärme in diesen Lebensräumen zu nutzen, ist Geothermie – die Nutzung von Erdwärme – unverzichtbar. Das Potential für die Nutzung tiefer Erdwärme ist trotz unterschiedlicher natürlicher Gegebenheiten vielfach vorhanden. Erdwärme ist eine saubere, CO₂-arme und vor allem heimische Energiequelle. Der Flächenbedarf ist gering. Erdwärme kann über Wärmenetze in das Energieversorgungssystem integriert werden. Die Erkundung, Erschließung und Integration sind lösbare Aufgaben. Die Akzeptanz durch die Bürger ist notwendig und erreichbar. Geowissenschaften im Verbund mit anderen Disziplinen können hier einen wertvollen Beitrag liefern.

In den Städten der Zukunft ist die Nutzung von Erdwärme unverzichtbar.

Abwärme wird morgen recycelt.

Wirf keine Wärme weg! Bei vielen technologischen Prozessen fällt Abwärme an, die vielfach ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird. Die Stadt der Zukunft heizt und kühl mit Abwärme und regenerativ erzeugter Wärme. Geospeicher unter der Stadt und die Betonteile der Gebäude sind die neuen Energietanks. Die Analogie zur Abfallwirtschaft ist offensichtlich. Sie geht so weit, dass man auch bei der Wärme „Recycling“ und „Downcycling“ unterscheiden kann. „Downcycling“ bedeutet, dass Abwärmeströme bei Temperaturen näher an der Umgebungstemperatur genutzt werden – nur Wärmeübertrager sind als Technologie nötig, aber die thermodynamische Wertigkeit nimmt ab. „Recycling“ bedeutet, dass die Wärme aufgewertet wird, bevor sie als solche genutzt wird. Hierzu ist eine zusätzliche Technologie nötig: Wärme-pumpen, Kältemaschinen, Wärmetransformatoren. Die Abwärme wird sozusagen veredelt.

Die Energiewende braucht sozial- und umweltverträgliche Lösungen. Es wird auch morgen noch konventionelle Kraftwerke geben. Die konventionelle Versorgung hat im Transformationsprozess eine Brückenfunktion. Im ersten Schritt

können Kohle und Öl durch Gas und erneuerbare Energien substituiert werden. Jenseits des Ausbaus von Wärmenetzen mit erneuerbaren Energien sind auch „niedrig hängende Früchte“ zu nutzen. Hierzu zählen vor allem Energieeffizienzmaßnahmen. Während diese bei Neubauvorhaben vielfach Anwendung finden, bestehen bei den Bestandsgebäuden Abhängigkeiten von langfristigen Sanierungszyklen. Studien erachten aktuelle Trends bei der energetischen Gebäudesanierung als unzureichend und eine Steigerung der Sanierungsrate auf 2 % pro Jahr als notwendig¹¹. Insgesamt muss Deutschland also bei der energetischen Sanierung deutlich nachlegen. Die Energiewende braucht dabei Lösungen, die gesellschafts- und sozialverträglich finanzierbar sind.

Wärme-, Kälte- und Gasnetze bringen erneuerbare Energien in die Städte. Daher werden sie in urbanen Zentren erhalten und ausgebaut. In Großstädten gibt es auch künftig einen substantiellen Bedarf für eine zentrale Fernwärme-

Effizienzmaßnahmen sind die greifbaren Früchte.

¹⁰ Lund et al. (2014)

¹¹ Fraunhofer IWES/IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Energiewende

Transformation ist zu gestalten, notwendig sind Innovationen und Fachkräfte.

Management den neuen Herausforderungen stellen, werden dagegen an Einfluss verlieren und Märkte einbüßen. Datenkompetenz wird bei den Versorgungsunternehmen eine stärkere Bedeutung erhalten. Technologiedienstleiter und Versorger sehen im Demand-Management das Potential, die Energiewende zum Erfolg zu führen. Ziel sei es, den Forecast der Verbräuche in das Versorgungssystem zu integrieren. Die dafür notwendigen Daten seien bei den Kunden vorhanden, jedoch bestehen erhebliche Hemmnisse, diese durch Dritte zu nutzen.

Der Fachkräftesicherung kommt eine besondere Bedeutung zu. Daher muss die Aus- und Weiterbildung im Sektor Energie- und Gebäudetechnik flächendeckend weiter entwickelt werden.

Mit der Energiewende investiert Deutschland in die Zukunft. Das Stadium der Subventionierung erneuerbarer Energien muss überwunden werden zugunsten einer durch den Markt gesteuerten Energiewende. Das Ende der Subventionierung fossiler Energieträger befördert eine flächenhafte Markteinführung der regenerativen Energiequellen.

Wärmewende ist Klimaschutz.

Auf der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 wurde von der Versammlung ein Klimaabkommen beschlossen, das die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst 1,5°C im Vergleich zu vorindustriellen Levels vorsieht (Übereinkommen von Paris). Um das gesteckte 1,5°-Ziel erreichen zu können, müssen nach einem Szenario die Treibhausgasemissionen weltweit zwischen 2045 und 2060 auf null zurückgefahren werden. Anschließend muss ein Teil des zuvor emittierten Kohlenstoffdioxids wieder aus der Erdatmosphäre entfernt werden. Erreichbar ist das gesteckte Ziel zudem nur mit einer sehr konsequenten und sofort begonnenen Klimaschutzpolitik, da sich das Zeitfenster, in dem dies noch realisierbar ist, rasch schließt (Stand 2015). Soll das 1,5°-Ziel ohne Einsatz der CCS-Technik erreicht werden, muss die Verbrennung fossiler Energieträger bis ca. 2040 komplett eingestellt werden und die Energieversorgung – d.h. Strom, Wärme und Verkehr – in diesem Zeitraum vollständig auf erneuerbare Energien umgestellt werden. Die Bundesregierung hat 2010 beschlossen, die Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent zu vermindern. Als Langfristziel wird eine weltweite Treibhausgas-neutralität im Laufe der zweiten Hälfte des Jahrhunderts benannt. Mit dem Klimaschutzplan 2050 leitete die Bundesregierung einen Paradigmenwechsel ein: Erneuerbare Energien und Energieeffizienz werden künftig Standard für Investitionen sein.

Es muss in allen Sektoren mehr über unkonventionelle Lösungen nachgedacht werden. Mit dem neuen Stromnetz, den Möglichkeiten der Digitalisierung und beflügelt durch Innovationen wie z.B. Smart Home wird es zu gänzlich neuen Geschäftsmodellen kommen. Kleine, flexible sowie hochspezialisierte IT-Firmen werden an Einfluss gewinnen. Klassische Versorger, die sich nicht durch flexibles

Der Markt steuert die Energiewende.

Forschungsbedarf zur innerstädtischen Wärmebereitstellung

Der deutsche Wärmemarkt wird aktuell größtenteils über fossile Energieträger bedient. Wärme macht die Hälfte unseres Gesamtenergiebedarfs aus, die andere Hälfte der verbrauchten Energie wird für Strom und Verkehr benötigt. Ein wichtiges Element der Wärmewende ist die Umstellung auf erneuerbare Energieträger, besonders in den Großstädten. Bereits durch den Übergang von Kohle auf Gas lassen sich die CO₂-Emissionen auf ca. 60 % reduzieren. Wird die Wärme komplett aus solar-, bio- oder geothermischen Quellen bereitgestellt, lassen sich die Emissionen gemäß dem fünften Sachstandsbericht des IPCC auf weit unter 10 % des derzeitigen Niveaus senken. Um Transportverluste zu vermeiden, sollten die Wärmequellen innerstädtisch zur Verfügung stehen. Forschung ist unverzichtbar, um neue Ideen wie die tiefe Geothermie oder die Wärmespeicherung in Aquiferen zu erproben und bis zur Marktreife zu entwickeln. Mindestens genauso wichtig ist es aber, die bereits verfügbaren Technologien anzuwenden, beispielsweise Solarthermie, flache Geothermie, Bioenergie oder die Nutzung von Abwärme.

Ein nachhaltiger Umbau unseres Energiesystems wird zu mehr Dezentralität, Flexibilität, einer stärkeren Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und zum vermehrten Einsatz neuer stofflicher Ressourcen führen. Große wissenschaftsgetriebene Vorhaben folgen mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung bereits diesen Herausforderungen¹². Insgesamt werden weitere systemische, ganzheitliche Forschungsansätze auf folgenden Feldern und Ebenen benötigt:

- Energiesystemintegration sektorenübergreifend auf Quartiers-, Stadt- und Regionalebene
- Interaktion von Technologie, Gesellschaft und Ökonomie
- Innovationskette von Materialforschung bis zum Energiesystem

Die Schnittstellen zwischen der Gesellschaft und den neuen Technologien müssen besser verstanden werden, um Lösungen zu erarbeiten, die dem gesellschaftlichen Bedarf entsprechen. Um den Verbrauch von Res-

sourcen zu senken, sind die für die Infrastrukturen benötigten Rohstoffe in Kreisläufen zu führen.

Es müssen innerstädtische Wärmequellen identifiziert werden, die den Bedarf decken können, wenn das Einsparpotential gründlich ausgenutzt wurde. Zu diesen Quellen gehören neben einer Sektorenkopplung solarthermische Quellen, Bioenergie sowie Abwärme aus industriellen Prozessen. Unsere vielleicht einzige Zukunftsoption für eine Wärmeversorgung ohne klimaschädliche CO₂-Emisionen ruht indessen in der Tiefe. In urbanen Regionen kommt der Geothermie eine besondere Rolle zu, da andere Energieformen entweder mit großem Flächenbedarf oder mit verstärktem Transport verbunden sind.

Damit z.B. netzdienliche Gebäude flexibel und bedarfsgesteuert mit den Netzen interagieren und Erzeugungs-, Energiespeicher- und Verteilungsfunktionen im Energiesystem ausüben können, bedarf es weiterer technologischer Entwicklungen, nicht zuletzt im Bereich der Informationstechnologie.

Ein Wärmebereitstellungskonzept der Zukunft erfordert auch die Möglichkeit der Wärme- und/oder Kältespeicherung. Speicher können die zunehmend fluktuierende Energieversorgung stabilisieren. Der innerstädtische Untergrund bietet in mittlerer Tiefe die Möglichkeit der Wärme- und/oder Kältespeicherung. Das Prinzip dieser saisonalen Speicherung besteht darin, dass im Sommer überschüssige Wärme im Aquifer (einer wasserführenden Gesteinsschicht) gespeichert wird. Im Winter kann sie als Heizwärme genutzt werden. Aquiferen könnten demnach als saisonale Energiespeicher für Heiz- und Kühlzwecke genutzt werden. Die prinzipielle und technische Machbarkeit solcher Energiesysteme mit Aquiferspeichern wird in Deutschland durch einige wenige Projekte bereits erfolgreich demonstriert. Deutlich weiter ist die Technologie beispielweise in den Niederlanden verbreitet, wo bereits über 2000 Projekte realisiert wurden.

Städte haben einen großen Wärmebedarf. Durch einen Ausbau der tiefen Geothermie in den bisher fossil versorgten urbanen Bereichen kann ein wesentlicher Bei-

¹² So z.B. die vier Kopernikus-Projekte für die Energiewende (ENSURE, P2X, SynErgie, ENavi), „Energie System 2050“, die gemeinsame Initiative des Forschungsbereichs Energie der Helmholtz-Gemeinschaft, das Projekt „Energiesysteme der Zukunft (ESYS)“ oder die fünf Projekte im Förderprogramm „Schaufenster intelligente Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG). Ziel des ostdeutschen Schaufensters „WindNODE“ ist das effiziente Zusammenspiel von erneuerbaren Erzeugungskapazitäten, Stromnetzen und Energienutzern auf Basis einer digitalen Vernetzung.

trag zur Energiewende erreicht werden. Geothermische Quellen können vertikal unter den Nutzern erschlossen werden und weisen einen geringen Flächenbedarf auf. Zudem zeichnet sich Geothermie durch ständige Verfügbarkeit aus. Um Erdwärme zu nutzen, benötigt man elektrische Hilfsenergie, beispielsweise um heißes Tiefenwasser mittels Pumpen zu fördern oder die Heiztemperatur mit Wärmepumpen zu erhöhen. Damit stellt Geothermie eine sehr effiziente Form von Power-to-Heat dar. Ziel ist es, von der vorwettbewerblichen Demonstration zu einer breiteren Marktdurchdringung zu kommen. Ein Schlüsselthema besteht darin, die Erkundungsmethoden zu verbessern, um die spezifischen Gesteins- und Reservoir-eigenschaften genauer vorhersagen zu können. So wird das Risiko minimiert, kein heißes Wasser zu finden. Zudem müssen Methoden entwickelt werden, um das Reservoir so zu behandeln, dass heißes Wasser nachhaltig gefördert werden kann.

Geothermische Wärmequellen sowie saisonale thermische Speicherung sind also wesentliche Lösungen in Richtung einer kohlenstoffarmen, nachhaltigen Wärmebereitstellung in der Zukunft. Was wir dringend benötigen, ist eine fundierte Strategie, um diese Nutzungsoptionen in den Innenstädten zu erkunden und zu erschließen. Durch gezielte Forschungsvorhaben müssen wir erreichen, dass eine umweltfreundliche und nachhaltige Nutzung gewährleistet werden kann. Dabei steht der Schutz der Trinkwasserleiter besonders im Fokus. Angesichts existierender Vorbehalte im Zusammenhang mit der Nutzung des Untergrundes (Schutz des Trinkwassers, induzierte seismische Erschütterungen) können wissenschaftlich begleitete Demonstrationsprojekte die Diskussion versachlichen und Bedenken ausräumen. Des Weiteren müssen behördlich erzeugte Hemmnisse und unsachlich geführte öffentliche Debatten vermieden werden. Sie könnten zu einer Entwicklung führen, die uns dieser wichtigen und vielleicht einzigen Zukunftsoption einer dekarbonisierten Wärmeversorgung beraubt.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für den Umbau urbaner Wärmebereitstellung

Für die Integration neuer Wärmequellen und -speicher in das Energiesystem ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Kommunen notwendig. Damit verbunden ist ebenfalls die Weiterentwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Simulation und integralen Planung von Gebäuden, Quartieren und Städten.

Die heterogene Struktur des angestrebten Energiesystems erfordert dabei die Entwicklung von Methoden für individuelle, standortangepasste Lösungen, um vom Prototypenstadium zur breiten Anwendung zu gelangen.

- **Stabilisierung der Rahmenbedingungen** – Verlässliche, weniger komplizierte und harmonisierte Rahmenbedingungen sind in vielen Bereichen notwendig, um neue Konzepte auch wirtschaftlich und praxistauglich zu machen, etwa im Bereich der Baugesetzgebung. Auch die Netzentgelte für die Erbringung dezentraler Netzdienstleistungen sollten harmonisiert werden.
- **Im Technologiesektor** – Hier stehen die kostengünstige Erschließung von erneuerbaren Energiequellen, die Übertragung und Verteilung von Strom und Wärme, die Erforschung von neuartigen Speicherkonzepten sowie innovative Technologien zur Sektorenkopplung im Vordergrund. Dies beinhaltet neue Netztechnologien. Hinter der technologischen Entwicklung steht der Anspruch, die Energie- und Ressourceneffizienz zu steigern und die gesamte Innovationskette von der Materialforschung bis hin zum Energiesystem abzudecken.
- **Steigerung der Sanierungsrate** – Bei der Gebäudesanierung geht es in Zukunft vor allem um kostengünstige und minimal invasive Sanierungskonzepte. Nur so kann die notwendige Sanierungsrate erreicht und der gesamte Gebäudebestand in der Bilanz nahezu klimaneutral werden.
- **Vernetzung von Gebäuden und Quartieren** – Ein Feld mit erheblichem Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist die intelligente Vernetzung von Gebäuden und Quartieren mit Strom- und Wärmenetzen. Gebäude sollten flexibel und bedarfsgesteuert mit den Netzen interagieren. Sie sollten außerdem eine Erzeugungs-, Energiespeicher- und Verteilungsfunktionen im Energiesystem ausüben können.
- **Auf Quartiersebene** – Hier sind lokal angepasste, dezentrale Wärmeversorgungslösungen zu entwickeln. Die Integration erneuerbarer Wärme ist zu erproben – technisch, organisatorisch und ökonomisch.
- **Planungsmethoden und Tools** – Bei der Planung und beim Betrieb vernetzter Gebäude und Quartiere sind neue Planungsmethoden, Tools und Beteiligungsprozesse erforderlich, um die Effizienzpotentiale tatsächlich und qualitätsgesichert nutzen zu können. Angepasste Planungshilfen müssen die gesamte Pro-

zesskette von der Erzeugung über die Verteilung bis zur Haustechnik berücksichtigen.

- *Betriebstemperaturen der Wärmeverteilsysteme* – Es sollten Strategien entwickelt werden, um die Temperaturen in Wärmeverteilsystemen und -übergabestationen zu reduzieren. So könnte signifikant mehr Wärme aus geothermischen oder solarthermischen Quellen bzw. aus Abwärme von Industrieprozessen zur Nutzung gebracht werden.
- *Auslegung von Wärmeübertragern* – Wärmenutzung erfordert immer Wärmeübertragung. Wärmeübertrager sind spezifisch teure Komponenten. Deswegen werden sie gerne unterdimensioniert. Dadurch sinkt die Effizienz, und der Hilfsenergiebedarf steigt. Die genaue Auslegung von Wärmeübertragern ist nach wie vor eine anspruchsvolle Aufgabe mit großem Forschungsbedarf. Für die weitergehende Wärmenutzung durch Aufwertung sind Wärmetransformationsysteme nötig, die wiederum aus Wärmeübertragern bestehen. Auch in diesem Feld besteht noch großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.
- *Wärmepumpentechnologie* – Optimierung in Bezug auf große Leistungen, große Temperaturspreizungen quellenseitig und große Temperaturhübe senkenseitig.
- *Monitoring* – Kontinuierliche, flächendeckende und erschwingliche Funktionsüberwachung und Ertragskontrolle. Optimierung in Bezug auf Technik, Normung und Zertifizierung sowie gesetzliche Regelungen.
- *Einbindung unterirdischer Wärmespeichersysteme in die nationale Energiesystemtransformation* – Aufbau und Betrieb eines numerischen Modellwerkzeugs zur Quantifizierung z.B. des 70/70-Konzeptes unter Berücksichtigung verschiedener Speicheransätze bei der nationalen Energiesystemtransformation und der zeitlichen und räumlichen Transienz des Transformationsprozesses, insbesondere zur Bewertung des Potentials unterirdischer Speichersysteme. Die Bewertung der Speichersysteme muss unter Berücksichtigung der infrastrukturellen und geologischen Randbedingungen erfolgen.
- *Entwicklung von Modellen zum Grundwasser- und Wärmemanagement im geologischen Untergrund* – Aufbau und Betrieb eines numerischen Simulationswerkzeugs und einer entsprechenden Datenbank zum Grundwasser- und Wärmemanagement für ausgewählte Großstädte unter Berücksichtigung des zeitlich und räumlich hinreichend aufgelösten Wärmebe-
- darfs zum Kühlen und Heizen für verschiedene Stadien des Umbaus des Energiesystems.
- *Erforschung der Auswirkungen von Wärmespeicherprozessen auf Umwelt und Lebensqualität* – Entwicklung und Erprobung von numerischen Modellwerkzeugen zur Bewertung der Auswirkung von großflächigen Wärmetauschern in Stadtzentren.
- *Technologieentwicklung, Erprobung und Monitoring realer kombinierter, oberirdischer und unterirdischer Wärmeversorgungssysteme* – Aufbau und Betrieb eines großflächigen Wärmeversorgungs- und -verteilungssystems auf einem geeigneten Temperaturlevel. Aufbau eines realen Grundwasser- und Wärmemanagements und eines entsprechenden Monitoring-systems in einer noch auszuwählenden Großstadt. Ziel sollte die Überprüfung und Optimierung der numerischen Szenarienanalysen und wirtschaftlichen Bewertungen sein.
- *Entwicklung bzw. Optimierung von tragfähigen wirtschaftlichen Konzepten zum Management des unterirdischen Raumes bei der städtischen Wärmeversorgung* – Aus den Analysen sind Empfehlungen im Hinblick auf notwendige rechtliche Rahmenbedingungen zur Nutzung des unterirdischen Raumes abzuleiten.
- *Erarbeitung von Vorschlägen zur rechtlichen Gestaltung der Nutzung des unterirdischen Raumes zur Wärmeversorgung* – Analyse, Vergleich und rechtliche Bewertung der bisherigen rechtlichen, inhaltlich z.T. divergierenden Vorgaben zum Klima- und Grundwasserschutz und zur Nutzung des unterirdischen Raumes. Erarbeitung von Konzepten, wie rechtliche Rahmenbedingungen zur Nutzung des unterirdischen Raumes unter Wahrung des vorsorgenden Schutzzugangs geschaffen werden können.
- *Akzeptanz- und vergleichende Risikoanalyse zur städtischen Wärmeversorgung bei Nutzung des unterirdischen Raumes* – Analyse des derzeitigen Akzeptanzverhaltens und Erarbeitung von proaktiven Kommunikationsstrategien für einen Dialogprozess mit der betroffenen Bevölkerung. Erarbeitung von vergleichenden Risikoanalysen zu alternativen Technologien zur städtischen Wärmeversorgung im Hinblick auf Kühlen und Heizen.



Die Studien im Detail

Das Zwanzig20-Forum Wärmewende hat insgesamt sechs Studien durchgeführt. Alle Studien liefern Beiträge für eine effiziente und nachhaltige Wärmeversorgung urbaner Räume. Fünf der sechs Studien haben das Ziel verfolgt, Demonstrationsvorhaben für die Wärmewende zu entwickeln. Diese Projekte sollen zeigen, wie die vorhandene Energieinfrastruktur durch den Einsatz inkrementeller Innovationen umgebaut werden kann.

Mit der sechsten Studie wurde der Prototyp für ein kommunales Planungsinstrument entwickelt und auf verschiedene Modellkommunen angewendet. Mit dem Instrument lassen sich energetische Quartierskonzepte bewerten und entsprechende Handlungsempfehlungen für Kommunen ableiten.

Die Studien werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt:

- **Energieautarkes Wohnquartier in Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf**
- **Aquiferspeicher-gestützte, solarthermische Wärmeversorgung von Bestandsquartieren**
- **Umbau der Fernwärme auf regenerative Energien am Beispiel der Bauhausstadt Dessau**
- **W4 - Wohnen, solare Wärme, Wärmepumpe und Wärmespeicher**
- **Wärmewende in einem Quartier am Beispiel der Eberswalder Innenstadt**
- **Quartierskonzepte: Herausforderung Wärmelösungen in Kommunen**

Energieautarkes Wohnquartier in Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf

Seit 2012 verfolgen die Siedlervereine Eichkamp e. V. und Heerstraße e. V. in Berlin Charlottenburg-Wilmersdorf die Vision, ihre Quartiere eigenständig und nachhaltig mit Energie zu versorgen. In ihrem Projekt haben sie es sich zum Ziel gesetzt, den Energiebedarf der Wohngebäude zu senken. Zudem sollen die Siedlungen langfristig autark werden, was Strom und Wärme betrifft, und sie sollen sich durch regenerative Energiequellen versorgen. Für dieses Projekt haben sich die beiden Siedlervereine zu einer „Bürgerenergievereinigung“ zusammengeschlossen.

Vorgehen

Die Siedlungen Eichkamp und Heerstraße dienen als Modellprojekt. Sie haben den Charakter einer Gartenstadt und sind typisch für viele innerstädtische Quartiere. Die fast ausschließlich von den Eigentümern selbst genutzten Gebäude stammen überwiegend aus den 1920er bis 1940er Jahren. Um die Ausgangssituation vollständig zu erfassen, wurden von den Bewohnerinnen und Bewohnern mittels Fragebögen Daten erhoben. Die Planer benötigten Informationen zur derzeitigen Energie- und Wärmeversorgung und zu bereits durchgeführten energetischen Maßnahmen. Zudem wurde abgefragt, wie hoch die Bereitschaft zu Sanierungsmaßnahmen ist und ob Interesse besteht, sich einem Nahwärmenetz anzuschließen. Aus einer Rücklaufquote von über 22 % ergab sich eine hinreichend fundierte Datenlage zu den circa 775 Gebäuden.

In der Machbarkeitsstudie¹ wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Städtebauliche, bauliche und energetische Analyse der beiden Siedlungen
- Ermittlung des Sanierungspotentials abhängig vom Gebäudetyp sowie Betrachtung von Szenarien
- Erstellung von Energie- und CO₂-Bilanzen
- Ermittlung zukünftig erforderlicher Wärmemengen
- Entwicklung mehrerer Varianten zu wirtschaftlich und technisch umsetzbaren Nahwärmenetzen
- Mehrstufiges Beteiligungsprogramm, um die Bewohner zu motivieren, zum Beispiel durch Diskussionsrunden.

Ein zentraler Baustein des Partizipationsprozesses waren Bürgerveranstaltungen, etwa eine öffentliche Auftaktveranstaltung, zwei Runde Tische zu den Themen „Gebäudesanierung“ und „Dezentrale Energieversorgung“ und eine Abschlussveranstaltung. So wurden die Bewohner aktiv in den Prozess eingebunden.

Begleitend wurde die Webseite „energie-eichkamp-heerstraße.de“ eingerichtet. Dort erhielten die Bewohner die Möglichkeit, sich über den aktuellen Stand des Projektes zu informieren und die Veranstaltungen zu reflektieren.

¹ Elbing, C. et al.: Energetische Stadtanierung in den Siedlungen Eichkamp und Heerstraße (Berlin-Charlottenburg), Schlussbericht. Berlin. 2016. (unveröffentlicht)



Doppelgiebelhaus in der Siedlung Heerstraße in Berlin-Charlottenburg (Foto: DSK)

Die Fachämter der zuständigen Bezirke und die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt unterstützten das Projekt.

Ergebnisse

Städtebaulich sind in den Siedlungen kaum Veränderungen möglich. Auch der Ensembleschutz in der Heerstraßensiedlung schränkt die Möglichkeiten zur energetischen Sanierung ein. Allerdings stellte sich durch Analysen und anhand von thermografischen Aufnahmen heraus, dass bei den Gebäudehüllen ein erhebliches Sanierungspotential besteht. Gleiches trifft überwiegend für die Heizanlagen zu. Als Ergebnis erhielten die Bewohner einen Maßnahmenkatalog mit Empfehlungen für ihr Objekt bzw. den jeweiligen Gebäudetyp. In verschiedenen Szenarien wurden anschließend mögliche Einsparungen beim Energiebedarf und beim CO₂-Ausstoß ermittelt.

Ein wichtiger Teil des technologischen Konzeptes ist ein neues Nahwärmenetz, das die Haushalte in Zukunft mit Wärme versorgen soll. Um die Wirtschaftlichkeitsgrenze dieses Wärmenetzes zu ermitteln, wurden die aus

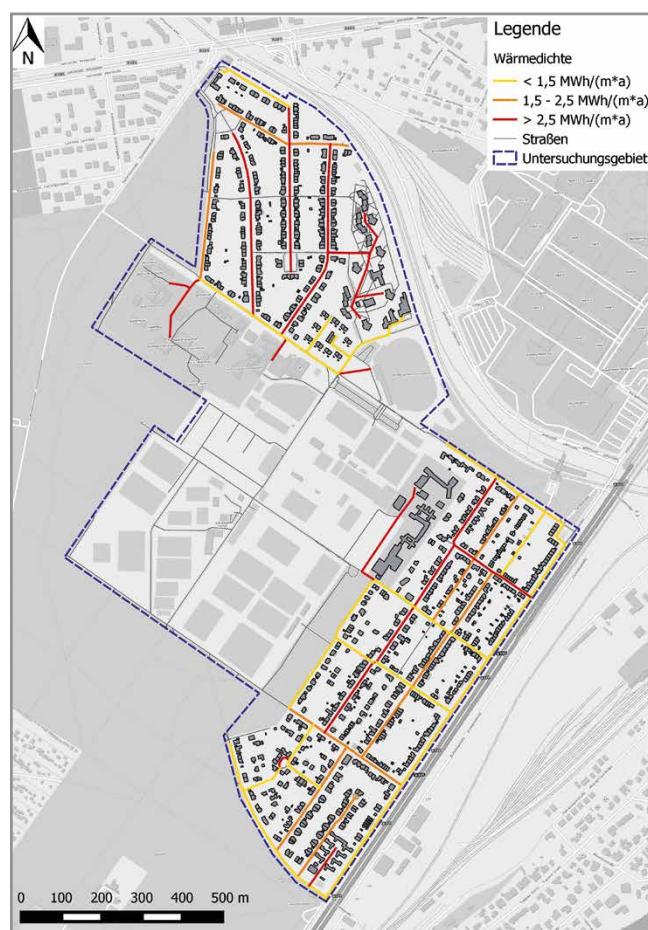


Abb. 1: Wärmedichte je Straße in den Siedlungen Heerstraße und Eichkamp



Abb. 2: Quartierslösung Siedlung Heerstraße inklusive öffentlicher Liegenschaften

den Szenarien prognostizierten Wärmebedarfe ange- setzt und das Wärmenetz mit unterschiedlichen Tem- peraturen betrieben (vgl. Abb. 1).

Um die Machbarkeit eines Nahwärmenetzes zu beurtei- len, wurden verschiedene Varianten der Energieversor- gung technisch konzipiert und wirtschaftlich bewertet. Die Studie betrachtete dabei unterschiedliche Konzepte auf Quartiers-, Insel- und Nachbarschaftsebene. Es stellte sich heraus, dass alle Konzepte bei hohen Anschlussquoten technisch machbar und wirtschaftlich umsetzbar sind. Als „wirtschaftlich“ werden dabei Vari-

anten mit einem wettbewerbsfähigen Wärmepreis be- wertet. Um diesen zu erzielen, müssen möglichst viele Haushalte zum Anschluss motiviert werden. Außerdem sollten sich auch benachbarte Schulen, Kitas, Sport- stätten und Studentenwohnheime beteiligen.

In allen Varianten ist geplant, die Quartiere mit Wärme aus Blockheizkraftwerken und Geothermieanlagen zu versorgen. Die Blockheizkraftwerke (BHKW) sollen dabei ein Viertel der Wärme erzeugen, die Geothermie- anlagen drei Viertel. Der in den BHKW erzeugte Strom soll Netzpumpen, Geothermieanlagen und Wärmepum-

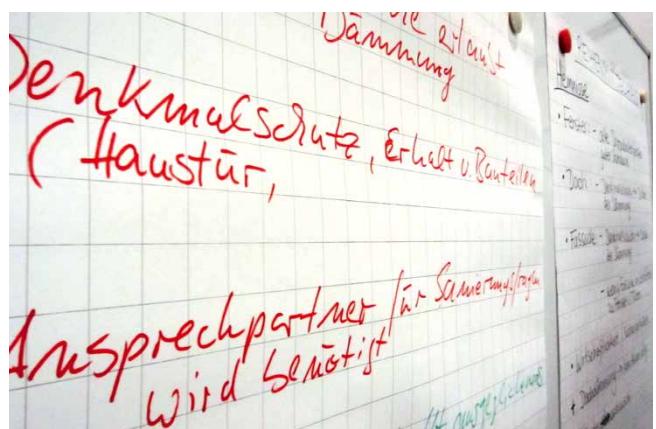


Verfahrensaufakt mit den Anwohnern (Foto: DSK)

pen betreiben. Die Geothermieanlagen sollen als Kalt- netze, gekoppelt mit Wärmepumpen betrieben werden. Neben dem Wärmenetz ist dazu auch die Verlegung eines eigenen Stromnetzes geplant.

Im Ergebnis der Studie wird auch deutlich, dass Anreiz- systeme etabliert werden müssen, um Quartierslösun- gen umsetzen zu können. Erst dadurch lassen sich Anschlussquoten steigern und hinreichend große Abnehmerstrukturen schaffen, die eine wirtschaftliche Energieversorgung ermöglichen. Für die Quartierslö- sung ist es außerdem förderlich, wenn öffentliche Gebäude mitversorgt werden. Sie können einen Teil der Wärme und des erzeugten Stroms abnehmen und sind zudem ideale Standorte für die BHKW (vgl. Abb. 2).

Auch kleine Pilotprojekte können sinnvoll sein, da sie durchaus wettbewerbsfähige Wärmepreise bieten. Klei- ne Nachbarschaftsmodelle, in denen zum Beispiel 8 bis 15 Privathaushalte mit Wärme versorgt werden, können sich ebenso rentieren wie Insellösungen, in denen ein öffentliches Gebäude und anliegende Privathaushalte versorgt werden. Ähnlich wie bei den Quartierslösun- gen ist es auch für Insel- und Nachbarschaftsmodelle hilfreich, wenn Fördermittel das Investitionsvolumen reduzieren. Diese Umsetzungspfade erscheinen realis- tisch und werden von der Bürgerenergievereinigung weiter vorangetrieben.



Die Ergebnisse der Studie sind bundesweit auf ähnliche Bestandsquartiere übertragbar. Sollten Pilotvorhaben auf Nachbarschafts- oder Inselebene realisiert werden, hätte dies Strahlkraft in die Siedlungen selbst und zudem Vorbildcharakter für Berlin. Zur Umsetzung von Insellösungen ist es geplant, einen Sanierungsmanager einzustellen. Noch größere Bedeutung und Außenwir- kung hätte die große Umsetzung auf Quartiersebene. Dazu sind jedoch weitere Anreize zu schaffen, um eine höhere Beteiligung und einen höheren Anschlussgrad zu erreichen.

Sobald die Entscheidung für eine Arealversorgung fällt, wollen die Siedlungsvereine eine Bürgerenergiegenos- senschaft gründen, um Kapital einzuwerben und die Anwohner zu beteiligen. Die Studie zeigt bereits, welche gesellschaftsrechtlichen Strukturen denkbar



Siedlung Eichkamp in Berlin-Charlottenburg

sind. Möglich erscheint ein rein genossenschaftliches Modell, aber auch eine GmbH oder GmbH & Co KG. In allen Varianten ist es sinnvoll, einen strategischen Investor aus der Energiewirtschaft zu beteiligen, um Kapital und Know-how für Betrieb und Instandhaltung zu gewinnen. Dazu wurden bereits Gespräche geführt.

Status der Umsetzung und Ausblick

Um die Pläne umzusetzen, ist es erforderlich, alle wesentlichen Akteure – also Eigentümer, Verwaltung, Politik, Energieversorger, Vereine und örtliche Initiativen – zu mobilisieren und zur Teilnahme zu verpflichten. Gleichzeitig müssen öffentliche Fördermittel und privates Investitionskapital gebündelt werden.

Für die weitere Projektsteuerung ist ein Sanierungsmanager von hoher Bedeutung. Dieser soll das Projekt weiter vorantreiben, dabei technische Expertise zur Gebäudesanierung und Arealsversorgung bieten, Schnittstellenmanager und Netzwerker sein. Erste Projekte in den Quartieren bilden die Grundlage, um mittelfristig das gesamte Areal mit nachhaltig erzeugter Wärme zu versorgen.

Durch den Austausch mit Akteuren im Forum Wärme wende konnte der Ansatz Eichkamp/Heerstraße in eine

weitere Projektskizze eingebracht werden. Diese wurde als Förderantrag „Leuchtturmprojekte – Energetische Evolution in Quartieren“ im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ eingereicht. Im Modul II werden hier interdisziplinäre Leuchtturmprojekte – „Reallabor Quartier“ über einen Zeitraum von fünf Jahren mit einer Summe von ca. 10 bis 20 Millionen Euro gefördert. Die Beantragung weiterer Fördermittel ist im Zusammenhang mit der Einrichtung des Sanierungsmanagements beabsichtigt.

Im Nachgang der öffentlichen Abschlussveranstaltung zur Studie, über die unter anderem in der Berliner Abendschau berichtet wurde, sind die Siedlervereine von Unternehmen der Energiewirtschaft kontaktiert worden. Diese zeigten Interesse an der weiteren Umsetzung.

Empfehlung an Zuwendungsgeber und Politik

Für innovative Pilotprojekte ist es wichtig, sich kontinuierlich mit Experten und Teilnehmern ähnlicher Projekte auszutauschen. Diesen Rahmen konnte das Forum Wärme wende geben. Es wäre wünschenswert, wenn das Format des Forums weiter bestehen bleibt.

Pilotprojekte mit Leuchtturmcharakter kommen meist nicht ohne Fördermittel aus. Auch in den Berliner Quar-



Doppelgiebelhaus in der Siedlung Eichkamp



Dreierreihenhaus in der Siedlung Heerstraße (Fotos: DSK)

tieren Eichkamp und Heerstraße kann ein konkurrenzfähiger Wärmepreis nur durch eine Anschubfinanzierung mit Fördermitteln erreicht werden. Daher sind Förderprogramme wichtig.

Des Weiteren wäre es wünschenswert, die Forschungsförderung für Kraft-Wärme-Kopplung und Geothermieanlagen auszubauen. Auch die Integration verschiedener Technologien und so genannte LowEx-Wärmeversorgungslösungen sollten stärker gefördert werden.

Eine weitere Empfehlung betrifft das Berliner Straßengesetz. Bis fast zum Ende des Projektes war es unklar, ob sich das Quartierskonzept in die Praxis umsetzen lassen würde, da für das Nahwärmenetz Leitungen im öffentlichen Raum verlegt werden müssten. Da laut Berliner Straßengesetz keine privaten Leitungen auf öffentlichen Straßen verlegt werden dürfen, konnte der Bezirk keine Genehmigung in Aussicht stellen. Erst nachdem die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt das Konzept intensiv geprüft hatte, gab es kurz vor Ende der Machbarkeitsstudie doch noch grünes Licht.

Es wäre wünschenswert, wenn das Straßengesetz so geändert würde, dass innovative Projekte zum Klimaschutz künftig leichter umgesetzt werden können.

U. Bogner¹, U. Bauer², Ch. Voigt³, D. Bock³, C. Elbing⁴, J. Schabos⁴

1) Bürgerenergievereinigung Eichkamp/Heerstraße, Siedlerverein
Eichkamp e.V.

2) Bürgerenergievereinigung Eichkamp/Heerstraße,
Siedlerverein Heerstraße e.V.

3) DSK Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH

4) infas enermetric Consulting GmbH

Aquiferspeicher-gestützte, solarthermische Wärmeversorgung von Bestandsquartieren

Grundlage für diese Studie war ein wissenschaftliches Konzept^{1,2} zur Einbindung eines solarthermischen Heizwerks und eines Aquiferspeichers in bestehende Fernwärmeversorgungsstrukturen. Für verschiedene Standorte in Brandenburg wurde die Machbarkeit hinsichtlich Versorger- und Abnehmerstruktur, Sanierungsbedarf, Flächenverfügbarkeit, Eigentums- und Akteursstruktur analysiert und bewertet. Als implementierungsfreundlich eingestuft und letztendlich ausgewählt wurde ein Versorgungsgebiet im Norden der Innenstadt von Eberswalde, bestehend aus zwei Quartieren und einem Krankenhaus. Zusammen mit der Stadt und dem Energieversorger wurden Varianten für ein zukünftiges Fernwärmeversorgungskonzept geprüft und den örtlichen Gegebenheiten angepasst.

Die Stadt Eberswalde ist die Kreisstadt des Landkreises Barnim in Brandenburg. Das Mittelzentrum³ hat ca. 41.000 Einwohner (2013) und gehört zu einem der 15 regionalen Wachstumskerne in Brandenburg. Bereits 2013 hat die Stadt ein integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept vorlegt⁴, das die Leitlinien für Maßnahmen auf den Handlungsfeldern energetische Gebäude-sanierung, klimagerechte Stadtentwicklung, erneuerbare Energien, sowie Nah- und Fernwärme zusammenfasst.

Der Energieversorger EWE betreibt in Eberswalde ein KWK-basiertes, erdgasbefeuertes Fernwärmennetz. EWE versorgt zahlreiche vergleichbare Strukturen im wirtschaftlich eher schwachen Ostdeutschland und möchte Erfahrungen für den Gesamttransformationsprozess sammeln. Best-Practice-Lösungen sollen dazu beitragen, die Risiken zu minimieren. Im Kontext dieser Studie soll untersucht werden, inwieweit CO₂-Emissionen der Fernwärmeversorgung vermindert werden können, indem das Gelände des ehemaligen Kohleheizwerks „Rosengrund“ in ein solarthermisches Heizwerk umgewandelt wird.

Betrachtet werden die Bestandsquartiere „Nordend“, „Leibnizviertel“ und das „Martin Gropius Krankenhaus“, gelegen im Norden von Eberswalde zwischen

Finow- und Oder-Havel-Kanal. Beide Quartiere sind Plattenbausiedlungen, das „Leibnizviertel“ ist bereits umfänglich saniert.

„Nordend“, „Leibnizviertel“ und „Martin Gropius Krankenhaus“ werden derzeit durch das fossile Heizkraftwerk „Nordend“ mit Fernwärme versorgt. Eine BHKW-Anlage stellt ca. 59 % der Fernwärme bereit, während ein Kessel die restlichen 41 % abdeckt. Von der so bereitgestellten Wärme gehen etwa 18 % auf dem Weg zum Kunden als Leitungsverluste verloren. Diese Verluste sind unter anderem auf die hohen Vor- und Rücklauftemperaturen (90–110 °C / 55–63 °C) im Fernwärmennetz zurückzuführen. Der derzeitige Stand der Wärmeversorgung, der Primärenergie-Einsatz sowie die CO₂-Emmissionen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Solarthermie

In dieser Studie wird die Idee verfolgt, den Einsatz fossiler Primärenergie durch solarthermisch erzeugte Wärme zu reduzieren. Es wird untersucht, wie diese erneuerbare Ressource in die bestehende, fossil-konventionelle Fernwärmeversorgung integriert werden kann.

¹ Kastner et al. (2017)

² Kastner und Huenges (2015)

³ Funktion im Kontext der Landesentwicklungsplanung Brandenburg. Eberswalde hat die Funktion eines Mittelzentrums mit Teilfunktion eines Oberzentrums.

⁴ Kommunales Energiekonzept für die Stadt Eberswalde
<https://eberswalde.de> › Stadtentwicklung › Konzepte › Klimaschutzkonzept

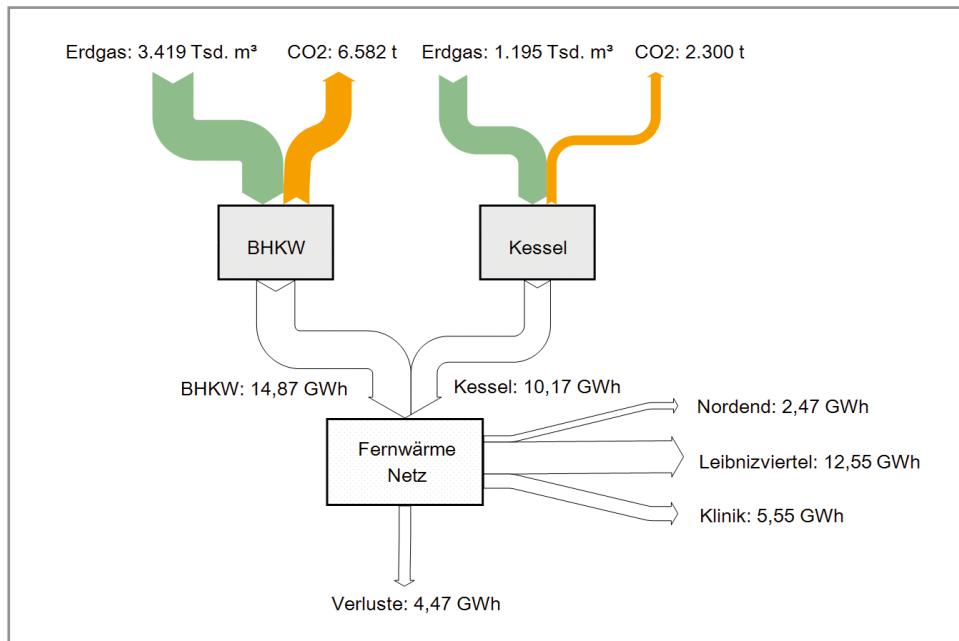


Abb. 1: Repräsentative jährliche Wärmeproduktion im Heizkraftwerk „Nordend“ und Wärmeverteilung (Status quo)
(Abb.: ISFH, GFZ)

Wird Solarthermie zur Wärmeversorgung genutzt, ergibt sich ein Problem: Die Wärme wird vor allem im Sommer produziert, der Bedarf ist jedoch im Winter am höchsten (vgl. Abb. 2). Das Konzept sieht vor, Wärme saisonal im geologischen Untergrund zu speichern, um diese Diskrepanz aufzulösen.

Die wichtigsten Parameter für eine solarthermische Anlage sind:

- Geografische und klimatische Gegebenheiten (Jahressonnenstunden, Abschattung etc.)
- Nutzbare Fläche und Neigungswinkel (sie bestimmen die Leistung)
- Kollektortechnologie (sie bestimmt die erreichbare Temperatur und den Wirkungsgrad)
- Temperaturniveau (ist entscheidend für die Einbindung in das Wärmesystem)

In der Studie haben die Projektpartner die für solarthermische Wärmegewinnung verfügbare Fläche ermittelt und den Ertrag prognostiziert. Sie haben dabei angenommen, dass etwa 24.000 m² zur Verfügung stehen – nämlich das derzeit brachliegende Gelände des ehemaligen Kohleheizwerks „Rosengrund“ und angrenzendes Gelände. Das Einstrahlungspotential auf dieser Fläche beträgt etwa 24 GWh/Jahr. Für die Untersuchung wurde der simulierte Ertrag von vier verschiedenen Flach- und

Vakuumröhrenkollektoren verglichen⁵. In Abbildung 3 werden die monatlichen Bruttowärmeerträge und der Wärmebedarf im Lauf eines Standardjahres gegenübergestellt. Die Bruttowärmeerträge wurden mit Hilfe der Simulationssoftware TRNSYS ermittelt. Zu erkennen ist, dass der Vakuumröhrenkollektor der Firma Ritter mit etwa 5,3 GWh/Jahr den höchsten Ertrag erzielt. Das entspricht etwa 21 % des Wärmebedarfs. Die weiteren Rechnungen gehen daher vom Einsatz dieses Kollektortyps aus.

Abbildung 3 zeigt außerdem, dass der monatliche Wärmebedarf fast ganzjährig über dem solarthermisch erzielbaren Ertrag liegt. Lediglich im Sommer erreichen beide ungefähr das gleiche Niveau.

Thermische Aquiferspeicher

Wärmespeicher sind bei der solarthermischen Wärmeproduktion von besonderer Bedeutung. Man unterscheidet zwischen Kurz- und Langzeitspeichern. Bei Kurzzeitspeichern handelt es sich in der Regel um oberflächige Pufferspeicher. Sie dienen dazu, solarthermische Leistungsspitzen im Tages- bis Wochenverlauf auszugleichen.

⁵ Kastner, O., Park, S.: Geospeicher-unterstützte solare Fernwärme in Eberswalde, Bericht Teilstudie Solarthermie. Emmerthal. 2016. (unveröffentlicht)

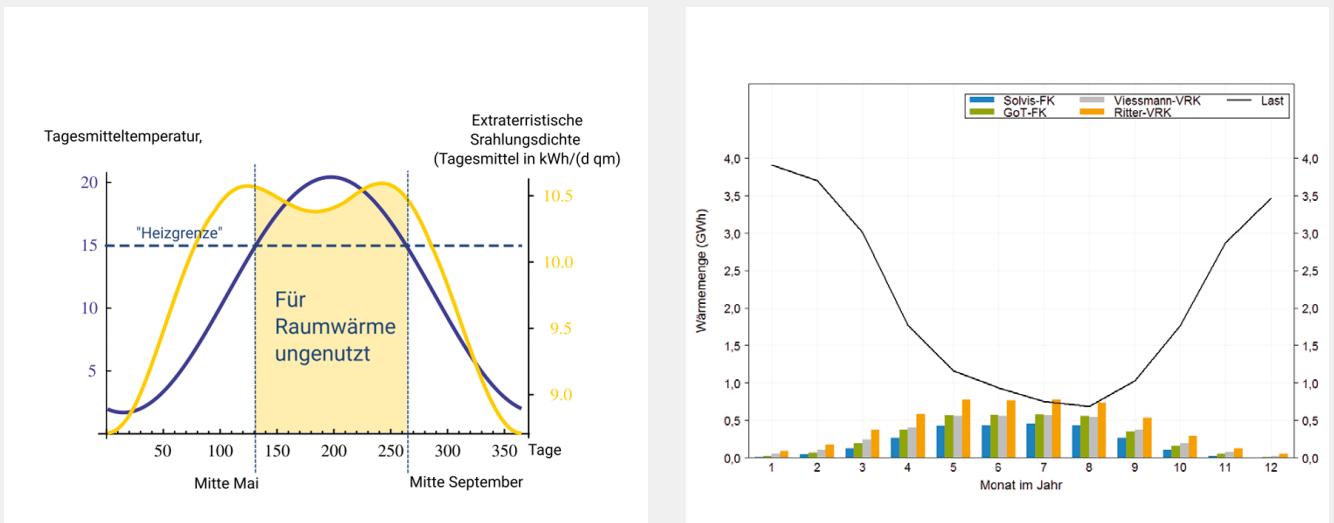


Abb. 2: Mittlere Außentemperatur (blaue Kurve) und solares Wärmedargebot auf eine geneigte Kollektorfläche (gelbe Kurve) im Jahresverlauf. Bei einer Heizgrenze von 15 °C besteht Raumwärmeverbrauch etwa zwischen Mitte September und Mitte Mai. (Abb.: ISFH, GFZ)

Um die solare Wärme effizient nutzen zu können, muss diese indessen auch über mehrere Monate gespeichert werden können (vgl. Abb. 4). Eine Möglichkeit dafür sind so genannte thermische Aquiferspeicher (ATES⁶). Als Aquifer wird Locker- oder Festgestein bezeichnet, in dessen Poren- und/oder Klufträumen sich Grundwasser befindet und bewegen kann. Meist handelt es sich um weitflächig verbreitete Sand-, Kies-, Sandstein- oder Kalksteinschichten im Untergrund. Für ihre Nutzung als Wärmespeicher ist es günstig, wenn sie nach oben und unten durch geringdurchlässige Schichten, so genannte Aquitarde, abgeschlossen sind. Das Grundwasser dient in diesen natürlichen Gesteinsschichten direkt als Wärmeträgermedium. Die Speicherung der Energie erfolgt aber nicht nur im Grundwasser, sondern zu wesentlichen Teilen auch in der Gesteinsmatrix. Soll ein geeigneter Aquifer als Wärmespeicher genutzt werden, wird er üblicherweise durch zwei Bohrungen erschlossen. Dabei hängt es vom erforderlichen Speichervolumen ab, wie weit die Bohrungen unter Tage voneinander entfernt sein müssen.

Eine Speicherformation ist geeignet, wenn sie die folgenden Eigenschaften aufweist:

- Ausreichende hydraulische Permeabilität der Gesteinsmatrix
- Ausreichende Mächtigkeit

Abb. 3: Monatliche Bruttokollektorerträge und Lastprofil am Standort unter der Annahme einer optimistischen Flächennutzung. Temperatur am Kollektoreintritt/-austritt: 70/90 °C. (Abb.: ISFH, GFZ)

- Vertikale Eingrenzungen durch gering durchlässige Schichten
- Möglichst homogene Struktur
- Moderate relative Höhenunterschiede
- Bekannte/geringe Grundwasserfließgeschwindigkeiten
- Geringe chemo-physikalische Fluid/Gesteinswechselwirkungen (z.B. Lösung/Fällung von Mineralien).

Thermische Aquiferspeicher folgen dem Arbeitsprinzip einer Brunnendublette. Im Einspeicherbetrieb wird durch die „kalte Bohrung“ das natürliche Formationswasser an die Oberfläche gefördert. Dort nimmt es in einem Wärmeübertrager Wärme auf. Anschließend wird das erwärmte Wasser in die „warne Bohrung“ reinjiziert. Während der Einspeicherung wird das kalte Formationswasser in der Nähe der Speicherbohrung nach und nach durch warmes Wasser verdrängt. In der Umgebung der warmen Bohrung bildet sich daher ein warmer Bereich aus, auch „Wärmeblase“ genannt. Im Ausspeicherbetrieb wird die Strömungsrichtung umgekehrt: Die warme Flüssigkeit wird durch die warne Bohrung zurück zur Oberfläche gefördert und nach Entzug der Wärme in die kalte Bohrung reinjiziert.

In Raum Eberswalde existieren nicht alle potentiellen Speicherhorizonte, die im Nordostdeutschen Becken gewöhnlich vorhanden sind. Ein konkretes Abbild der Beckenfüllung im Raum Eberswalde vermittelt die nahe gelegene Tiefbohrung EbFi 1/87, die östlich der Stadt

⁶ Aquifer Thermal Energy Storage

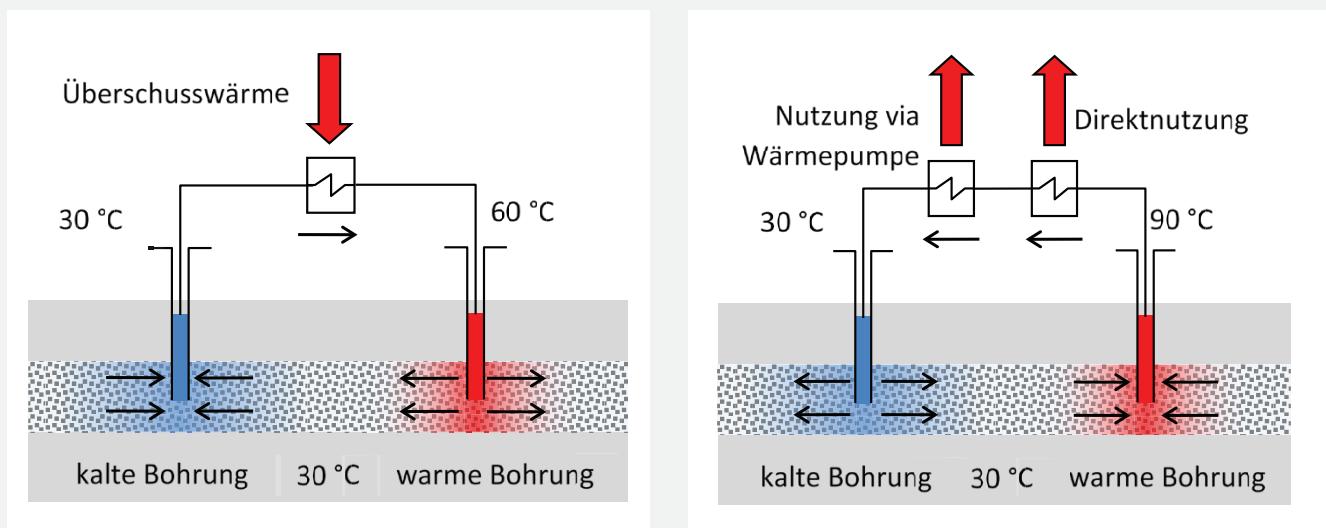
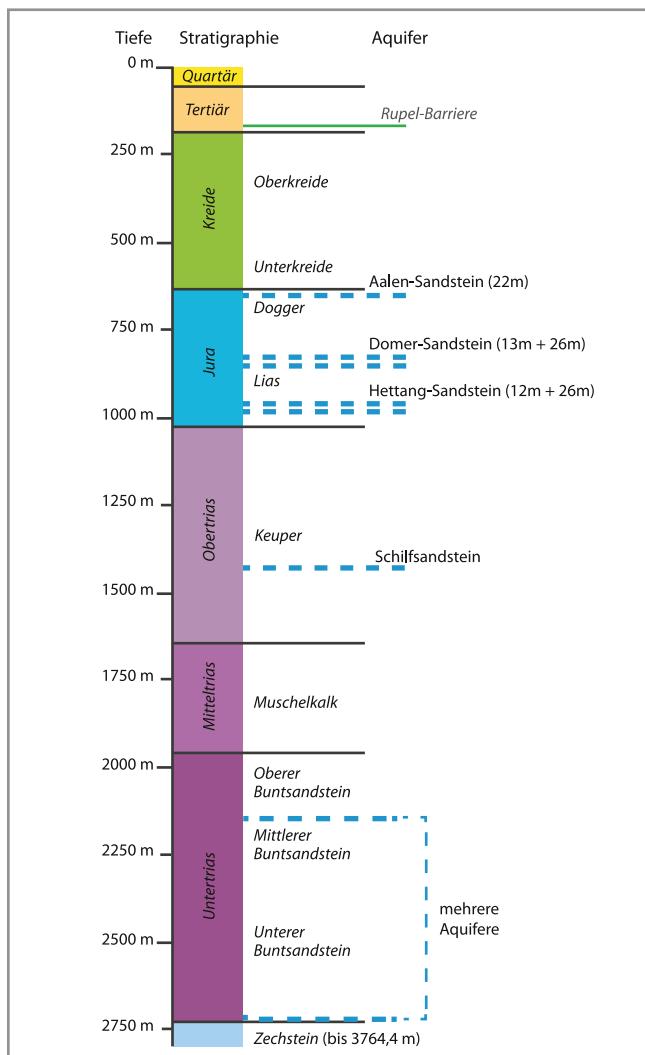


Abb. 4: Prinzip der saisonalen Wärmespeicherung in Aquifern (Temperaturangaben sind beispielhaft):
links – Einspeicherung, rechts – Ausspeicherung

abgeteuft wurde (vgl. Abb. 5). Die für die Wärmespeicherung geeigneten Sandsteinhorizonte sind hervorgehoben. Wie auch in anderen Teilen Norddeutschlands kommt hier den jurassischen Sandsteinen aus den Erdzeitaltern Lias und Dogger eine besondere Bedeutung zu. Sie werden zum Beispiel im geothermischen Speicher Neubrandenburg genutzt. In Eberswalde befinden sich diese potentiellen Speicherhorizonte in weniger als 1000 m Tiefe und sind somit gut erreichbar. Tiefere Aquifere empfehlen sich wegen der mit der Tiefe exponentiell steigenden Bohrkosten nicht als Speicher.

Die vorliegende Studie geht daher von zwei Bohrungen aus, die den Speicherhorizont im porösen Dogger-Sandstein in 650 m Tiefe erschließen. Angenommen wird, dass die Temperatur dort 30 °C beträgt, dass sich die Bohrungen nicht gegenseitig thermisch beeinflussen und dass es keine natürliche Grundwasserströmung gibt. Wegen geochemischer Risiken wird die Injektionstemperatur auf 60 °C begrenzt.

Abb. 5: Aquifere (blau gestrichelt) in der Bohrung Eberswalde-Finow 1/87. Stark generalisiertes Bohrprofil mit Stratigraphie und regionaler Unterteilung auf Grundlage des Schichtenverzeichnisses. Quelle: „Studie zu Rahmenbedingungen für ‚Aquifer Thermal Energy Storage‘ (ATES) am Beispiel von zwei Standorten in Brandenburg“, Stackebrandt (unveröffentlicht)



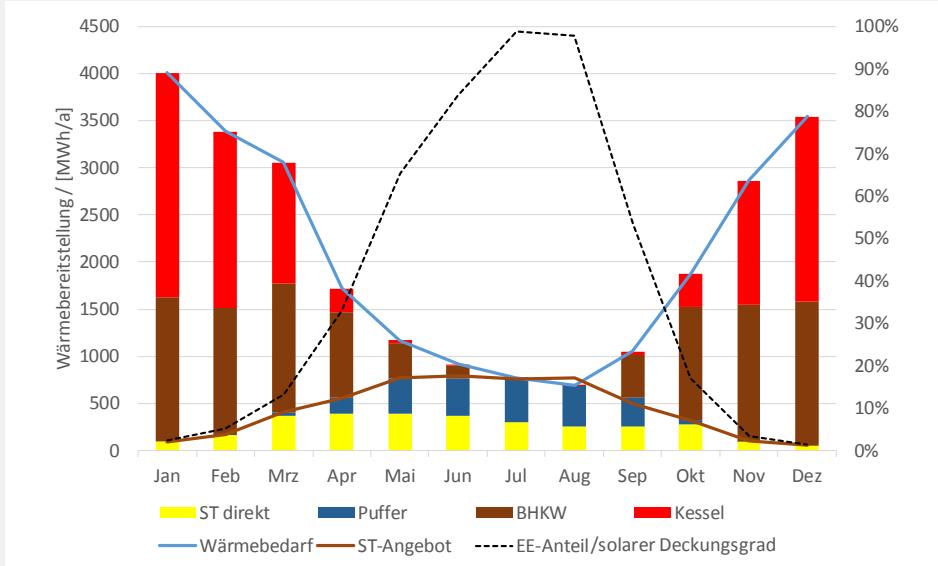


Abb. 6: Monatlicher Wärmebedarf und Wärmebereitstellung im Szenario 1 (Direkte Einspeisung in das Fernwärmennetz). Deckung durch Solarthermie (direkt und gepuffert), BHKW und Kessel. Simulation über ein Jahr. (Abb.: ISFH, GFZ)

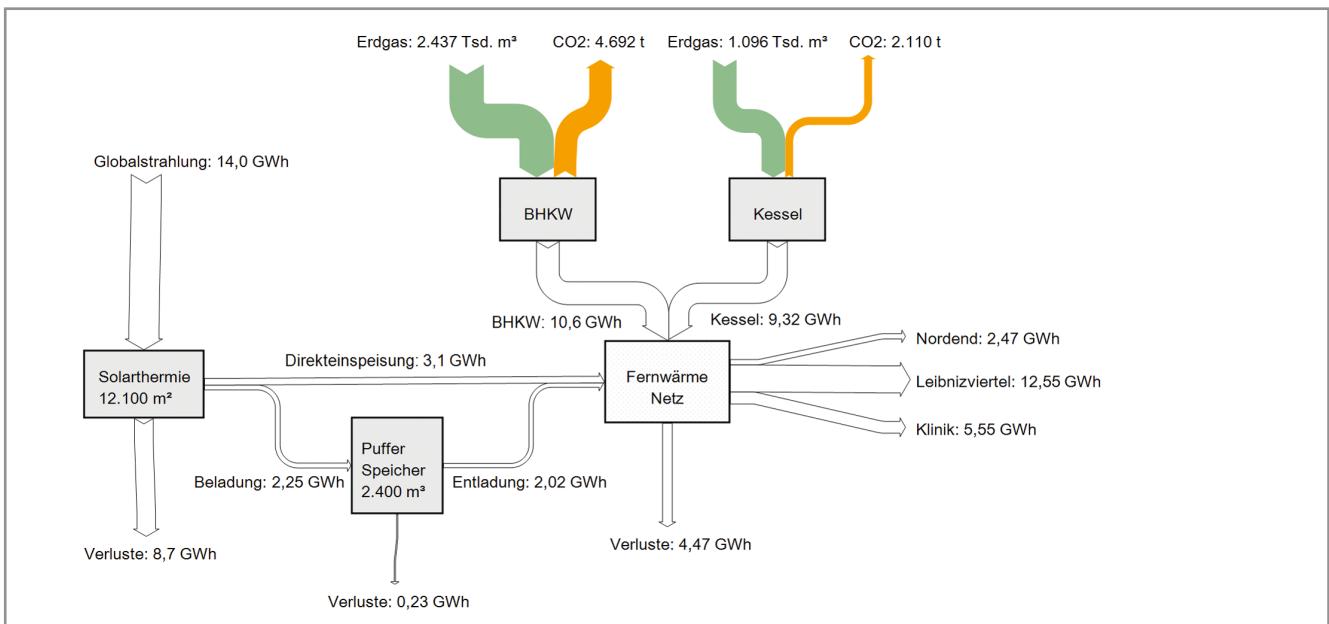


Abb. 7: Energieflussdiagramm für das Integrationsszenario 1 (Direkte Einspeisung in das Fernwärmennetz). (Abb.: ISFH, GFZ)

Integration

Die Integration von solarthermisch erzeugter Wärme in das bestehende FernwärmeverSORGUNGSSYSTEM wurde anhand von zwei alternativen Versorgungsszenarien mittels numerischer Simulation untersucht:

- Szenario 1 – direkte Einspeisung von zentral produzierter Solarwärme
- Szenario 2 – indirekte Einspeisung über einen Aquiferspeicher.

Integrationsszenario 1 (Solarthermie)

Die solarthermisch erzeugte Wärme wird direkt in das Fernwärmennetz eingespeist und hat dabei Vorrang vor BHKW und Kessel. Damit die direkte Einspeisung möglich ist, wird die Solarthermie-Anlage mit entsprechend hohen Kollektortemperaturen (95°C im Vorlauf und 70°C im Rücklauf) betrieben. In der Anlage kommen Kurzzeit-Pufferspeicher mit einem Volumen von 2.400 m^3 zum Einsatz⁷.

⁷ Verwendete Software: Modelica/DYMOLA

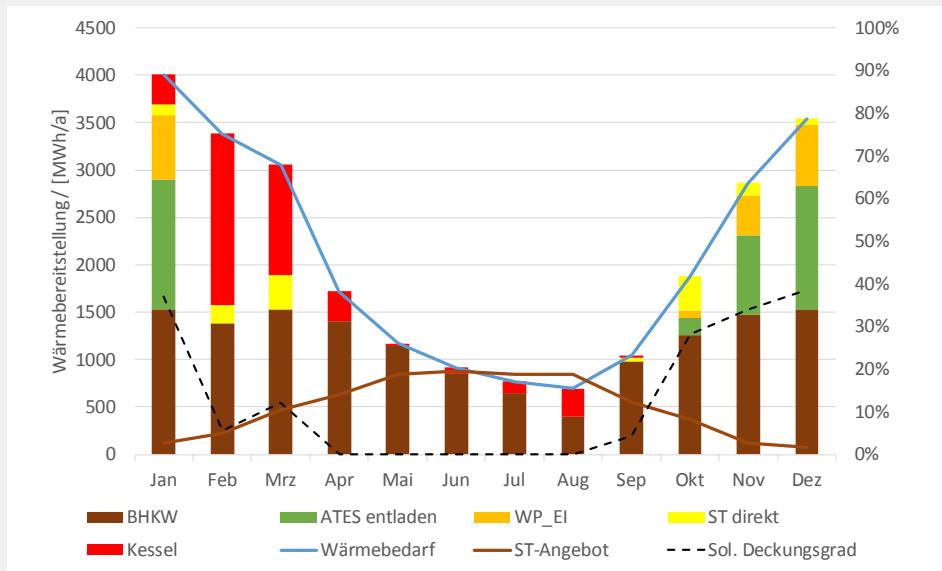


Abb. 8: Monatlicher Wärmebedarf und Wärmebereitstellung im Szenario 2. Deckung durch BHKW, ausgespeicherte Wärme aus dem Aquifer, Wärmeeintrag durch die Wärmepumpe (WP_EI) und Kessel. Simulation über zehn Jahre, dargestellt ist das zehnte Jahr. (Abb.: ISFH, GFZ)

Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der Simulation. Es ist zu sehen, wie sich die monatliche Wärmeversorgung auf Solarthermie, BHKW und Kessel aufteilt. Die Simulation bestätigt, dass die solarthermische Wärmeproduktion am Standort Eberswalde den Bedarf in den Sommermonaten Juni, Juli und August nahezu abdecken kann. In diesen Monaten ersetzt die Solarthermie fast vollständig die BHKW-Wärme. Deren Anteil sinkt dadurch um fast ein Drittel auf 41 % des Jahresbedarfs, während der Anteil der Kesselwärme sich nur unwesentlich auf 38 % verringert. Mit der angenommenen Puffergröße kann die Solarthermie Wärme zu 95 % genutzt werden.

Abbildung 7 zeigt, wie in diesem Szenario die Energieflüsse aussehen.

Insgesamt kann die Solarthermie **20 % des Jahresbedarfs** an Wärme decken. Dadurch können **23 % des Brenngases** und der **CO₂-Emissionen** eingespart werden.

Integrationsszenario 2 (Solarthermie + ATES)

Hier wird die solarthermische Wärme durch einen Aquiferspeicher (ATES) ergänzt.

Im Szenario 1 wird im Sommer ein geringer Überschuss solarthermischer Wärme erzeugt, der lediglich bei 1,2 % des Jahresbedarfs liegt (vgl. Abb. 6) Würde lediglich dieser Überschuss im ATES ein- und ausgespeichert, wäre der Effekt kaum bemerkbar: Die zusätzliche

CO₂-Ersparnis läge gerade mal bei einem Prozentpunkt. Daher wird im Szenario 2 in der ertragreichen Zeit von April bis September die solarthermisch erzeugte Wärme komplett in den ATES eingespeist. Die Vorlauftemperatur wird gegenüber dem Szenario 1 auf 60 °C abgesenkt. Dadurch erhöht sich der solarthermische Jahresertrag auf etwa 24 % des Wärmebedarfs. Die Ausspeicherung und Einspeisung in das Fernwärmennetz erfolgt dann bei Bedarf in der ertragsarmen Zeit.

Um die Wärme aus dem Aquiferspeicher auf Netzttemperatur zu bringen, wird eine Wärmepumpe benötigt. Dazu kühlt sie das geförderte Reservoirfluid bis auf die natürliche Reservoirtemperatur aus und gibt die Wärme auf einem höheren Temperaturniveau an das Fernwärmennetz ab. Die Pumpe hat eine angenommene Leistungszahl von 3. Ferner wird angenommen, dass sie mit regenerativ-erzeugtem elektrischem Strom CO₂-neutral betrieben werden kann. Ausgespeichert wird, wenn Bedarf besteht und solange die Ausspeichertemperatur des Aquifers über 40 °C liegt. Solarthermische Wärme, die im Winterbetrieb anfällt, wird parallel dazu direkt ins Fernwärmennetz eingespeist. Dabei hat das BHKW Vorrang vor solarthermischer Wärme.

Dieses Szenario wurde über einen Zeitraum von zehn Jahren simuliert. Dieser Zeitraum schließt die Aufwärmphase des Speichers ein. Die für das zehnte Jahr berechneten Größen sind in Abbildung 8 dargestellt.

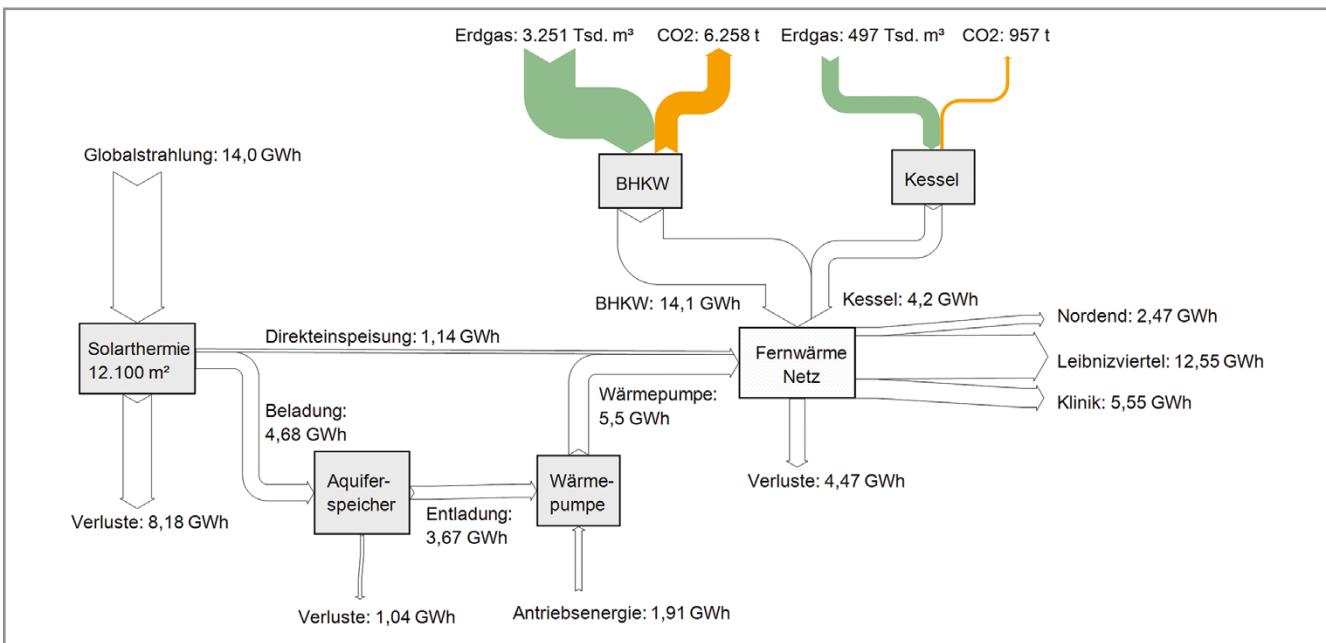


Abb. 9: Energieflussdiagramm für das Integrationsszenario 2 (indirekte solarthermische Einspeisung in das Fernwärmennetz über einen saisonalen Aquiferspeicher). (Abb.: ISFH, GFZ)

Die Simulation zeigt, dass die Wärme aus dem Aquifer-Speicher über die Wärmepumpe den Kessel von Oktober bis Januar nahezu vollständig ersetzen kann. Unter den getroffenen Annahmen können über den gesamten Zeitraum **78 % der gespeicherten Wärme** zurückgewonnen werden.

Die im Winterbetrieb direkt genutzte solarthermische Wärme deckt immerhin 5 % des Jahresbedarfs. Die wieder ausgespeicherte Solarwärme deckt 14 % des Bedarfs. Durch zusätzlichen Wärmeeintrag der Wärmepumpe werden weitere 7,5 % des Bedarfs gedeckt. Der **solare Anteil** der Wärmeversorgung beträgt also **19 %**, der **regenerative Anteil liegt bei 26,5 %**⁸. Dadurch sinkt der Anteil des Kessels auf 17 % des Jahresbedarfs bei unverändertem BHKW-Anteil.

In diesem Szenario werden **18 % der CO₂-Emissionen vermieden**. Trotz des zusätzlichen Wärmeeintrags durch die Wärmepumpe fällt die CO₂-Einsparung geringer aus als im Szenario 1, da die Solarthermie dort eher das BHKW verdrängt, statt wie hier den Kesseleinsatz zu reduzieren. Da die produzierte elektrische Energie nicht berücksichtigt wird, fällt der BHKW-Einsatz beim CO₂-Ausstoß stärker ins Gewicht. Allerdings wird das BHKW durch die höhere Last im Sommer und die geringere Last im Winter gleichmäßiger ausgelastet als im Szenario 1. Würde durch eine veränderte Einspeisepriorität im Szenario 2 stattdessen die solarthermische

Wärme dazu genutzt werden, den Einsatz des BHKW zu verringern, belief sich die CO₂-Einsparung auf 34 %.

Fazit

Diese Studie quantifiziert rechnerisch das erhebliche Potential, das Solarthermie für die Wärmeversorgung der Stadt Eberswalde bietet. Die Einbindung einer Solarthermie-Anlage mit einer Kollektorfläche von 24.000 m² könnte den CO₂-Ausstoß im betrachteten Gebiet bei direkter Nutzung um 23 % senken (Szenario 1). Die Speicherung der solarthermischen Wärme in einem thermischen Untergrundspeicher während des Sommers und ihre Nutzung in der Heizperiode könnte den Einsatz des Heizkessels deutlich reduzieren und so die CO₂-Emissionen um 18 % verringern (Szenario 2). Wird die Wärmepumpe mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben, erreicht der regenerative Versorgungsanteil 27 %. Dieser Anteil kann weiter erhöht werden, wenn die Wärmepumpe im Gesamtprozess stärker zum Einsatz kommt. Dies kann zum Beispiel erreicht werden, indem die Einspeisetemperatur des Aquifer-Speicher gesenkt wird. Diese Option wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht, illustriert jedoch das Entwicklungspotential der Technologie.

⁸ Unter der Annahme, dass die Wärmepumpe mit Strom aus erneuerbaren Energien versorgt wird.

	Status quo	Szenario 1	Szenario 2
Solarer Deckungsgrad	0 %	20 %	19 %
Anteil BHKW	60 %	41 %	56 %
Anteil Kessel	40 %	39 %	17 %
Brenngaseinsatz/[Tsd. m³/a]	4613	3533	3748
CO ₂ -Emission	100 %	77 %	82 %

Tabelle 1: Szenarienvergleich, „Solarer Deckungsgrad“ beinhaltet die aus Puffer und ATES ausgespeicherte solare Wärme.

Diese Studie betrachtet nur Maßnahmen auf der Erzeugerseite. Festzuhalten bleibt, dass der Beitrag der Solarthermie ungefähr die Verluste des Fernwärmenetzes kompensiert. Das weist auf ein erhebliches Optimierungspotential hin. So könnte beispielsweise die Netztemperatur gesenkt werden, um die Verluste zu verringern. Außerdem ließe sich der Bedarf bei den Verbrauchern reduzieren, etwa durch weitere Effizienzmaßnahmen. Bei einer wirtschaftlichen Bewertung sollten diese Faktoren ebenfalls berücksichtigt werden.

Auf Basis dieser Studie wurde ein Projektkonsortium gebildet und ein Vorhaben „Effiziente und regenerative Wärme für Quartiere – Ablösung der fossilen Versorgung in Eberswalde“ vorbereitet. Dieses Vorhaben sollte als Leuchtturmprojekt im Rahmen der Förderinitiative „Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt“ (BMWi & BMBF) beantragt werden. Bei dem Vorhaben wurden neben technologischen Lösungsansätzen ebenfalls die Herausforderungen, Risiken und Hemmnisse für die lokalen Akteure bei derartigen Vorhaben adressiert. Letztendlich wurde kein Förderantrag eingereicht, das

Vorhaben wird aktuell nicht weiterverfolgt. Die Risiken waren für die Investoren zu groß. Es lassen sich drei wesentliche Gründe benennen. Zum einen sind Investitionen in Energieversorgungsinfrastrukturen in der Regel mit langen Abschreibungszeiten verbunden. Das gilt für Erzeugeranlagen, für Netze und im Besonderen auch für unterirdische Infrastrukturen wie Aquiferspeicher. Dem gegenüber stehen ökonomische Unsicherheiten, wie z.B. die sich ändernden regulatorischen Rahmenbedingungen. Letztere sind jedoch entscheidend für eine langfristig geplante und notwendige Wertschöpfung bei einem stabilen und für die Kunden attraktiven Wärmepreis. Der dritte Grund sind die aktuell geringen Preise fossiler Energieträger, welche die etablierten Energieversorgungssysteme stützen und eine Integration erneuerbarer Quellen behindern.

H. Francke¹, A. Saadat¹, O. Kastner², S. Park², O. Ruch³, H. Seelig³, D. Acksel¹

¹⁾ Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

²⁾ Institut für Solarenergieforschung GmbH, ISFH

³⁾ EWE VERTRIEB GmbH

Umbau der Fernwärme auf regenerative Energien am Beispiel der Bauhausstadt Dessau

Die Umrüstung eines Fernwärmennetzes auf erneuerbare Energien ist eine komplexe Herausforderung. Das gilt auch für die Stadt Dessau in Sachsen-Anhalt, wo die gleichnamigen Stadtwerke ein Fernwärmennetz betreiben und gleichzeitig daran arbeiten, ihre Energieversorgungsinfrastruktur weiterzuentwickeln. Die Studie zeigt Wege auf, wie besonders verlustbehaftete Areale zu ermitteln sind, geeignete Anschlussmöglichkeiten für regenerative Wärme gefunden werden können und wie eine Integration in Abhängigkeit vom Temperaturniveau möglich wird. Es werden Versorgungsoptionen abgeleitet und hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten, des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen untersucht. So können die Stadtwerke zielgerichtet Entscheidungen für den anstehenden Umbau treffen.

Vorgehen

Die Stadtwerke Dessau stellten für die Studie¹ Verbrauchs- und Temperaturdaten der Wärmeübergabestation und der Hausstationen im Fernwärmegebiet Schafftrift („WÜST24“) zur Verfügung. Zusätzlich wurden Geräte zur Temperaturmessung montiert. Das Netz wurde auf Basis dieser Daten systematisch analysiert. Anschließend entwickelte das Projektteam verschiedene technische Ansätze und Konzepte, die mit Unterstützung von Software untersucht wurden. So entstand eine Vorgehensweise zum Umbau der Fernwärme auf erneuerbare Energien.

Ergebnisse

Ein systematisches Vorgehen und ein Vergleich der betriebswirtschaftlichen und klimarelevanten Zielparameter können es Fernwärmeerzeugern erleichtern, die komplexen Entscheidungsprozesse für einen Umbau zu einer dekarbonisierten Wärmeversorgung zu treffen. Dabei sind die angewandten Simulationsverfahren mit Parameterstudien bzw. Optimierungsfunktionalität² hilfreich.

Energiebedarfs- und Netzanalyse

Am Anfang steht die Energiebedarfs- und Netzanalyse. Durch die neu entwickelte Methode der Netzanalyse ist es möglich, diejenigen Verbraucher und Teile der Trasse aufzuspüren, in denen ein ungünstiges Verhältnis von Nutzwärme zu Verteilverlusten besteht. Außerdem ergeben sich Hinweise auf erfolgversprechende Eingriffsschnittstellen, und es zeigt sich, wo Änderungen im Netzdesign sinnvoll sind, beispielsweise eine Teilnetzabtrennung.

Um den aktuellen Bedarf des Quartiers abschätzen zu können, wurde exemplarisch ein dynamisches Gebäudesimulationsmodell gemäß den Anforderungen der Richtlinie VDI 6020 erstellt. Das Modell wurde mit den realen Abrechnungsdaten plausibilisiert. Anhand der technischen Spezifikationen der Fernwärmerohre wurden die spezifischen Verteilverluste ermittelt. Außerdem wurden die Netz- und die Verbraucherstruktur in einem Modell abgebildet. Trennt man einen Verbraucher ab (also einzelne Häuser oder Areale), nimmt für alle vorangehenden Stränge im Fernwärmennetz die sogenannte Liniendichte ab, d.h. die in diesem Segment transportierte Wärmemenge. Daher muss so vorgegangen werden, dass die Zweige sukzessive abgekoppelt werden. Dabei beginnt man in der Peripherie. Anschließend lassen sich dann für das verbleibende Netz die resultierenden Verteilverluste ortsbezogen

¹ Viernickel, M. et al.: Fernwärme 2.0 – Umbau der Fernwärme auf regenerative Energien am Beispiel Dessau, Schlussbericht. Berlin. 2016. (unveröffentlicht)

² Polysun, TOP-Energy, EnergyPlus mit OpenStudio und jEPlus



Typische Bebauung mit WBS-70 Wohnblöcken (Foto: M. Viernickel)

bewerten. Für den Energieversorger bleibt allerdings die Unsicherheit, wie sich der Bedarf künftig entwickeln wird. Der Rückbau von Gebäuden oder die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen können die Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmennetzes in Frage stellen. Eine Bedarfsprognose ist daher von besonderer Bedeutung. Ihre Konsequenzen können mit der beschriebenen Methode beurteilt werden.

Technische Maßnahmen zur Integration erneuerbarer Energien

Erneuerbare Energien stehen innerstädtisch hauptsächlich in Form von solarer Strahlung und von Umweltwärme aus Luft und Erdreich zur Verfügung. Technologisch können darüber hinaus Effizienzvorteile erreicht und Synergien genutzt werden.

Solarenergie kann mit Hilfe isolierter Kollektoren direkt als Wärme genutzt werden, ist jedoch nicht immer in der Lage, die geforderten Temperaturen zu liefern. Eine Alternative ist die Kombination von Solarthermie mit Photovoltaik (PV), deren Elektroenergie geregelte Wärmepumpen antreibt. Damit ist es jederzeit möglich, die gewünschte Nutztemperatur bereit zu stellen. Das Verfahren bietet in Zeiten solarer Überschüsse zudem die Möglichkeit, die Elektroenergie anderweitig zu verwenden.

In der Studie wurde die Deckungsrate sowohl für solarthermische als auch PV-Wärmepumpenkombinationen mit einer kombinierten Gebäude-, Anlagen- und Solarsimulation jeweils in Abhängigkeit von der Anlagengröße ermittelt. Bei den hier vorliegenden hohen Nutztemperaturen ergab sich ein maximaler solarer Deckungsgrad von 27 % des Gesamtjahreswärmebedarfs.

Die Erdkruste ist eine nachhaltige Energiequelle, die dauerhaft Wärme bereitstellen kann. Oberflächennah besteht jedoch aufgrund des in unseren Breiten geringen terrestrischen Wärmestroms nur ein relativ geringes Potential für einen nachhaltigen Wärmeentzug. Dennoch ermöglicht die oberflächennahe Geothermie nahezu verlustfreie saisonale Wärmespeicherung, wenn die Speichertemperaturen nicht wesentlich von der ungestörten Temperatur des Untergrundes abweichen ($5^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$).

Bei der saisonalen Speicherung unterhalb von 20°C ist es möglich, eine direkte Kühlung für Raumkonditionierung und Prozesse leicht und ohne Kompressionskältemaschinen energiesparend zur Verfügung zu stellen. Die Nutzung und Verteilung von Umweltwärme in „Kaltnetzen“ ermöglicht Synergieeffekte zwischen Kühl- und Heizbedarfsstrukturen an verschiedenen Orten, d.h. gebäude- oder quartiersübergreifend. Zudem kann die Verteilung von Umweltwärme auch in nicht isolierten Rohren nahezu verlustfrei stattfinden.

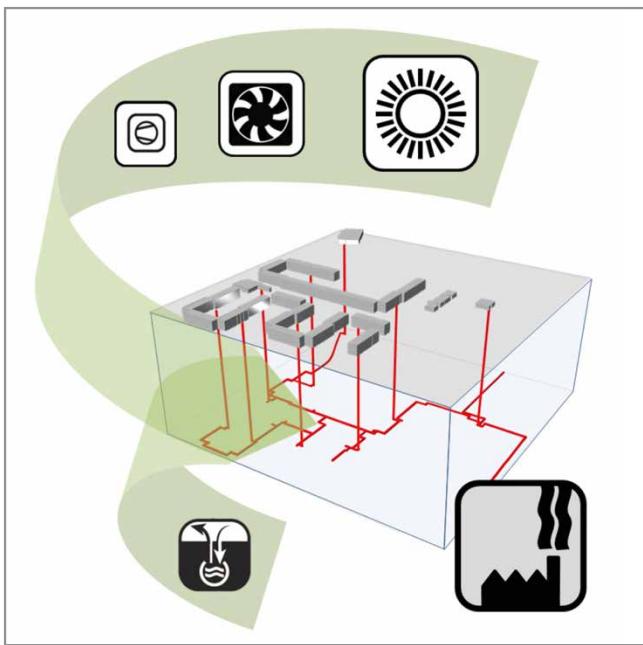


Abb. 1: Die Dekarbonisierung der Fernwärme erfordert den Einsatz erneuerbarer Energien. (Grafik: Geo-En)

Kraft-Wärme-Kopplung ist zwar keine erneuerbare Energie, gilt aber aufgrund des besseren Nutzungsgrades des eingesetzten Energieträgers ebenfalls als vorteilhaft für das Klima (vgl. Abb. 1).

Identifizierung möglicher Schnittstellen für die Einspeisung

Die Wirtschaftlichkeit und das Potential erneuerbarer Energie hängen vor allem von den geforderten Temperaturen ab. In einem Fernwärmennetz sind daher die Einspeisepunkte von entscheidender Bedeutung.

Je näher am Heizkraftwerk man sich befindet, desto höher sind die Systemtemperaturen. Im sogenannten Primärnetz kommen daher Tiefengeothermie, Direktstromnutzung oder Hochtemperaturwärmepumpen in Frage, im Sommer auch hochgedämmte Solarkollektoren.

Im so genannten Sekundärnetz, auf der Ebene von Wärmeübergabestationen für einzelne Unterquartiere, sind zwar ebenfalls noch relativ hohe Temperaturen erforderlich. Allerdings gibt es hier bessere Möglichkeiten, regenerative Wärme einzuspeisen, da die Temperaturen insbesondere im Sommer niedriger sind als im Primärnetz. So würde z.B. auch ein hydraulischer Eingriff mit Rücklaufauskühlung des Primärnetzes zu einer verbesserten Brennstoffnutzung im Heizkraftwerk führen oder andernorts die Einspeisung erneuerbarer Wärme in den nun kühleren Primärkreisrücklauf erleichtern.

Die saisonale Abtrennung von einzelnen Netzsegmenten ist möglich, wenn im Sommer ausreichend Umweltenergie zur Verfügung steht. Sie kann den dann noch bestehenden Wärmebedarf zur Trinkwarmwassererwärmung decken.

Am effektivsten ist es, regenerativ erzeugte Wärme direkt bei den Nutzern einzuspeisen. So könnte zum Beispiel das Trinkwarmwasser durch regenerative Energiequellen mindestens vorgewärmt werden. Dazu wäre es hilfreich, die Systemtemperaturen durch verbesserte Regelungstechnik in den Haushalten zu senken. Solche dezentralen Maßnahmen erfordern Eingriffe in die Hausanschlusstationen und bedürfen unter Umständen der Zustimmung der Gebäudeeigentümer. Auch weitere sinnvolle Maßnahmen wie ein hydraulischer Abgleich und die Umrüstung auf Niedertemperatursysteme benötigen deren Kooperation.

Ein weiteres Szenario sieht vor, das Fernwärmennetz in ein so genanntes Umweltwärmennetz umzurüsten, in dem die Netztemperaturen zwischen 5 und 20 °C liegen. Die niedrigen Systemtemperaturen würden es erheblich erleichtern, erneuerbare Energien auch aus flächenhaft verteilten Installationen einzuspeisen, etwa aus solarthermischen oder geothermischen Anlagen. Ein Umweltwärmennetz bietet sich vor allem dann als technische Lösung an, wenn Wärmequellen und Wärmesenken lokal getrennt liegen. Das betrifft Wärme- und Kältebedarf, Abwärmequellen, Solarthermie und Geothermie.

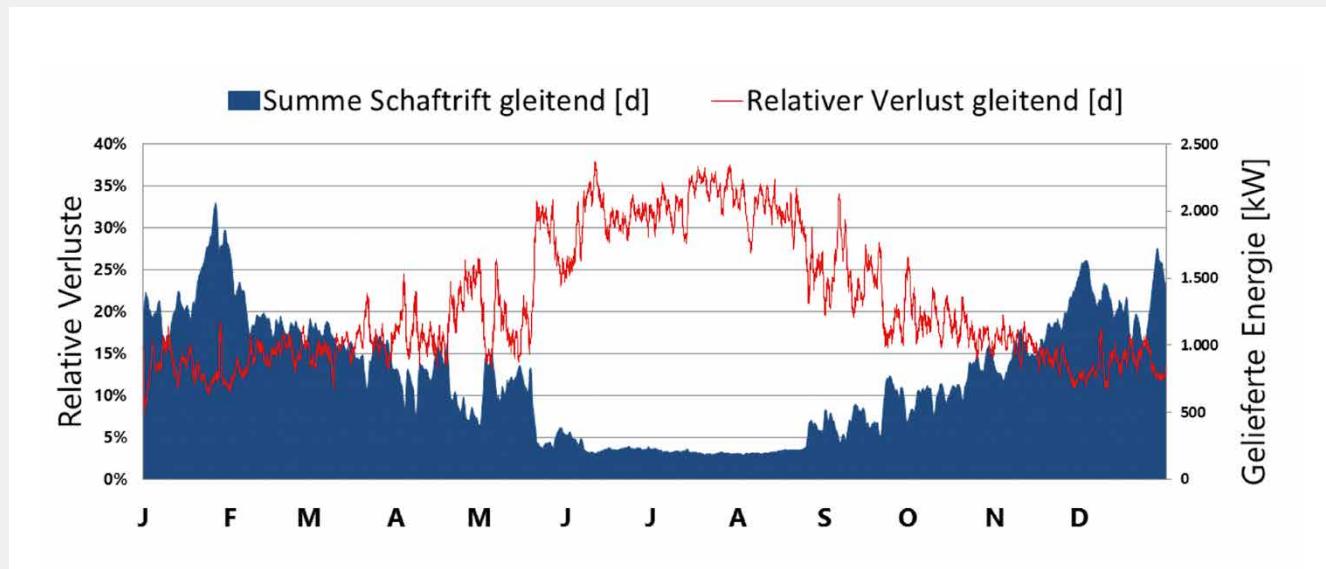


Abb. 2: Wärmelieferung und relative Netzwärmerverluste im Jahresgang

Bewertung der Konzepte

Das Potential verschiedener Technologien und ihrer Integration muss je nach Temperatur und Jahreszeit bestimmt werden. Anschließend müssen die Konzepte einer Kosten-Nutzen-Analyse unterzogen werden, die zwischen Lebenszykluskosten, CO₂-Emission und Primärenergieeinsparung abwägt.

Die Zahl möglicher Maßnahmen ist groß: Denkbar sind beispielsweise hydraulische Eingriffe zur temperaturoptimierten Umweltwärmennutzung auf der Abnehmerseite. Die Einspeisung erneuerbarer Energien könnte aber auch durch Rücklaufanhebung erleichtert werden. Oder es wäre möglich, ein abgekoppeltes Fernwärmearrealnetz geothermisch zu stützen und mit dezentraler Hochtemperatur-Wärmepumpentechnik auf Nutztemperaturniveau zu bringen. Auch die Umgebungsvariablen und Rahmenbedingungen sind vielfältig und müssen jeweils zeitlich hoch aufgelöst in einem Referenzjahresgang untersucht werden. Dazu sind Parameterstudien und Optimierungstools erforderlich.

Um exemplarisch die Vorgehensweise bei der Szenarienauswahl zu erproben, wurden Fernwärme, Gasverbrennung, eine Kombination aus BHKW und Wärmepumpe, eine Kombination aus Geothermie und Wärmepumpe und eine Kombination aus BHKW und Gaskessel anhand von Simulationen und Parameterstudien miteinander verglichen.

Zusammenfassend ergab sich für die Fernwärme die höchste CO₂-Emission. Im Hinblick auf die eingesetzte Primärenergie waren die elektrischen Wärmepumpen und die KWK am günstigsten zu bewerten. Seitens der Betriebskosten stellte sich die Kombination aus BHKW und Wärmepumpe am günstigsten dar. Allerdings ist diese Betrachtung stark von der Gaspreisentwicklung, der Einspeisevergütung und der KWK-Zulage abhängig.

Fazit

Auf Basis der entwickelten Vorgehensweise gewinnt der FernwärmeverSORGER Sicherheit bei Investitionsentscheidungen. Er kann Energiekonzepte nicht nur nach den oben genannten Kriterien bewerten, sondern auch danach beurteilen, wie flexibel sie sind, wie gut Komponenten zurückgebaut oder wiederverwertet werden können, wie gut ihr Potential zur Stabilisierung des Stromnetzes ist und ob die Betriebskosten unabhängig von den Energiepreisen sind.

Die Erzeugung erneuerbarer Energien und ihre Verteilung geschehen zunehmend strombasiert. Die lokale Nutzung von Umweltwärme ist häufig durch die deutlich höheren Temperaturanforderungen eingeschränkt, so dass hier der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich wird. Diese können wiederum mit Strom oder Gas



Abb. 3: Projektierungsablauf zur Integration erneuerbarer Energien in Fernwärmesysteme und Einflussfaktoren

betrieben werden. Da Biogas nur in sehr beschränktem Umfang zur Verfügung stehen wird und synthetische Gase aufwändig in der Herstellung sind, sollte die Nutzung von Gas Anwendungen mit hohen Speicheranforderungen vorbehalten bleiben, z.B. dem Verkehr. Für die stationäre Wärme- und Kältebereitstellung und die Nutzung von Umweltwärme mit Wärmepumpen wird daher das Stromnetz eine zunehmende Rolle spielen.

Aktuell entwickeln sich Photovoltaik-Wärmepumpenkombinationen zu einer Alternative zur Solarthermie. Mit beiden technologischen Verfahren kann in Hochtemperaturnetzen aus technischen Gründen allerdings nur maximal ca. 27 % des Wärmebedarfs gedeckt werden.

Im untersuchten Gebiet betragen die Netzverluste zeitweilig über 30 % (vgl. Abb. 2). Um die vergleichsweise teure erneuerbare Energie optimal zu nutzen, sollten Übertragungsverluste vermieden werden. Dazu ist die Energieverteilung über Strom und Gas besser geeignet als Hochtemperaturwärme. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen erscheint es deshalb weniger sinnvoll, an zentralen Knoten hochtemperierte Umweltenergie einzuspeisen und zu speichern.

Alternativ ergibt sich insbesondere bei weniger dichter Bebauung die Empfehlung, Fernwärmesysteme in „kalte“ Umweltwärmesysteme umzuwandeln, die erneuerbare Wärme und Kälte nahezu verlustfrei verteilen. Bei einer solchen Umwidmung ist zu beachten, dass die Übertragungskapazität in Umweltwärmesystemen aufgrund der geringen Temperaturspreizung deutlich geringer ist als in Fernwärmesystemen. Dem ist durch Dezentralisierung zu begegnen. Das heißt, die Energiegewinnung wird kleinteiliger und näher am Verbraucher stattfinden. Die Wärme sollte nicht sternförmig verteilt werden. Stattdessen können Areale zum Beispiel in Form maschenförmiger Netze verbunden werden.

Umweltwärmesysteme eignen sich aufgrund ihrer niedrigen Temperaturen von ca. 10 °C sehr gut zur preiswerten und klimaschonenden Kühlung. Dies ist von besonderer Bedeutung, da der Bedarf an Kühlung weiter zunehmen wird. Die abgeführte überschüssige Wärme kann den Wärmedarf an einer anderen Stelle des Netzes decken und damit Synergien schaffen. Sie kann aber auch dazu dienen, den geothermischen Saisonalspeicher nachzuladen.

Die Planung der Umstellung zur Wärmeversorgung auf erneuerbare Energie erfordert einen ganzheitlichen Ansatz. Darin sollten Effizienzmaßnahmen, wie z.B. Maßnahmen der Gebäudedämmung, gegen technische Versorgungssysteme und den Einsatz von Umweltenergien abgewogen werden, und zwar sowohl im Hinblick auf die Klimawirkung als auch auf die Wirtschaftlichkeit. Die Vielzahl der möglichen Kombinationen und ihre jeweilige Dimensionierung erschweren die Bewertung und Auswahl von Maßnahmen. Ein schwankender Bedarf im Jahresgang und diskontinuierliche Erträge aus Solarenergie und Umweltwärme können mit statischen Betrachtungen nicht mehr bewertet werden. Daher sind komplexe Simulationen erforderlich. Werden bewährte Konfigurationen verglichen, die anhand von modellbasierten Parameterstudien ausgelegt wurden, erhält man in einem iterativen Arbeitsablauf eine valide Entscheidungsgrundlage (vgl. Abb. 3).

Status der Umsetzung und Ausblick

Aus vorgenannten Überlegungen könnte sich ein Paradigmenwechsel in der FernwärmeverSORGUNG ergeben: Statt zentraler Heizwerke entstehen dezentrale Umweltenergieanlagen, etwa Photovoltaik-Anlagen und Solarkollektoren. Statt hochtemperierter Wärme werden niedrigtemperierte Abwärme und Umweltwärme verteilt. Verbrauchernahe Wärmepumpen oder Kraft-Wärmekopplungsanlagen erzeugen die benötigten Temperaturen vor Ort. Wärmeversorger können dabei ihr Geschäftsmodell um Energiedienstleistungen erweitern, indem sie beispielsweise ihre Kunden beraten und gemeinsam einen Sanierungsfahrplan entwickeln.

In künftigen Forschungsvorhaben könnte diese Vorgehensweise in konkreten Projekten erprobt werden. Dabei lassen sich Anlagenkonfigurationen mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis ermitteln. Anhand solcher Standardlösungen ließe sich der künftige Planungsaufwand erheblich reduzieren.

Die Studie wurde von den Stadtwerken Dessau positiv aufgenommen. Nun wird erkundet, welches Areal für ein Demonstrator-Vorhaben am besten geeignet wäre.

Empfehlung an Zuwendungsgeber und Politik

In internationalen Klimaschutzvereinbarungen stehen die CO₂-Emissionen im Mittelpunkt. Diese klare Ausrichtung sollte sich auch in den Vorschriften zur energetischen Versorgung niederschlagen. Zugleich muss eine Abwägung zwischen Wärmeschutz und Versorgungstechnik stattfinden, anstatt die Anforderungen an die Transmissionswärmeverluste immer weiter zu steigern.

Dem heute bereits bestehenden Fachkräftemangel muss mit Nachdruck begegnet werden, da die derzeitigen Fachkräfte bereits eine relativ geringfügige Zunahme der Sanierungsrate nicht mehr bewältigen werden können.

Um eine saisonale Umweltwärmespeicherung zu ermöglichen, muss die oberflächennahe Geothermie gestärkt werden. Bei der geothermischen Nutzung des Untergrunds sollten hohe Qualitätsstandards eingehalten werden.

Die Energiewende wird nur möglich, wenn Klimaschutz, Naturschutz, Ressourcenschutz und Wirtschaftlichkeit sowie Ästhetik im Stadtbild und Wohnkomfort in Einklang gebracht werden. Da dies entscheidend für die Akzeptanz in der Bevölkerung ist, sollte auch von Seiten der Genehmigungsbehörden eine Abwägung dieser Aspekte stattfinden.

M. Rath¹, M. Viernickel¹, Th. Zänger², R. Ewald³

1) Geo-En Energy Technologies GmbH

2) Dessauer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH

3) FernwärmeverSORGUNGS-GmbH Dessau



Klima, das sich rechnet.



Anprechpartner: Michael Viernickel • GEO-EN Energy Technologies GmbH • Michael.Viernickel@GEO-En.de • www.geo-en.de



W4 - Wohnen, solare Wärme, Wärmespeicher und Wärmepumpe

Diese Studie beschäftigt sich mit der effizienten Versorgung eines Quartiers in Potsdam mit Wärme aus regenerativen Energiequellen. Dabei sollen eine solarthermische Anlage inklusive Erdspeicher, dem so genannten „e-Tank“, und eine Wärmepumpe kombiniert werden. Die erzeugte Energie soll zwei Wohngebäude mit insgesamt 62 Wohneinheiten versorgen, die sich im Besitz einer kommunalen Wohnungsbaugesellschaft in Potsdam befinden.

Vorgehen

Das hier konzipierte System zur regenerativen WärmeverSORGUNG¹ arbeitet nach dem Prinzip „Verbrauch vor Speicherung“. Es besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: einer solarthermischen Anlage, bestehend aus Flachkollektoren auf den Dächern der Gebäude, einer Wärmepumpe, die im Sommer gegebenenfalls zur Kühlung genutzt werden kann und einem Erdwärmespeicher. Dieser „e-Tank“ ist ein neuartiger Wärmespeicher. Er wird im oberflächennahen Erdreich errichtet und ist an den Seiten sowie oben gedämmt. Nach unten ist der Tank offen. Das solarthermisch erhitzte Wasser wird durch Heizschlangen innerhalb des Tanks geleitet und gibt somit die erzeugte Wärme an die Erde ab. Ein solcher Speicher hat viele Vorteile: Er stellt kaum Anforderungen an den Baugrund und ist meist nur anzeigenpflichtig. Da die Tiefe des Speichers nur etwa 1,5 m beträgt und die Heizschlangen mit Wasser betrieben werden können, ist der Einsatz auch in Wasserschutzgebieten möglich. Zudem nimmt die Speicherfähigkeit mit der Zeit nicht ab, die Zahl der Lade- und Entladezyklen ist unbegrenzt. Die Ladung und Entladung des Speichers kann im Tageszyklus erfolgen. Das Temperaturniveau bewegt sich zwischen 6 °C und 23 °C. Die natürliche Temperatur unterhalb des e-Tanks liegt zwischen 6 °C im Winter und 12 °C im Sommer. Das niedrige Temperaturniveau erhöht die Effizienz aller Komponenten.

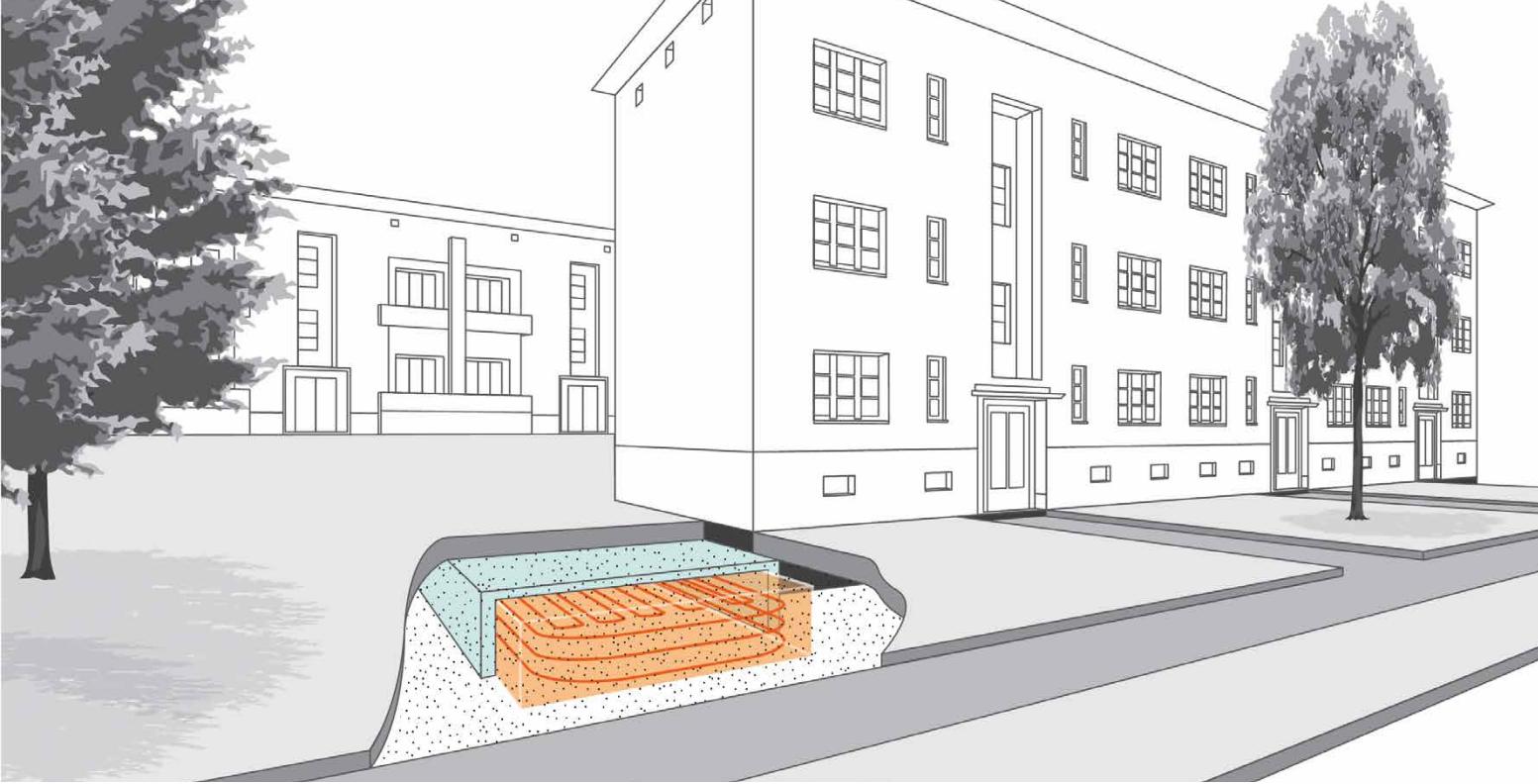
Weiterhin gehört eine Abluftwärmepumpe zum System, die einen großen Teil der Heizwärme über die kontrollierte Wohnungslüftung zurückgewinnt.

Die Regelung, Steuerung und das Monitoring der Anlage erfolgen über eine Software, den sogenannten dynamischen Energiemanager. Dieser sorgt dafür, dass die Wärme bedarfsgerecht über verschiedene technologische Pfade zur Verfügung gestellt wird. Ist der Ertrag der Kollektoren gering, kommt die Wärmepumpe zum Einsatz, und die Wärme wird ins Heizsystem oder in den e-Tank gespeist. Wird mehr Wärme mit hohen Temperaturen erzeugt, wird direkt ins Heizsystem bzw. in den Pufferspeicher eingespeist. Durch den Energiemanager sind eine externe Betriebsführung und -überwachung möglich. Für das beschriebene System wird eine primärenergiebezogene Anlagenaufwandszahl von kleiner als 0,5 erwartet.

Ergebnisse

Ein Team von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin hat eine dynamische Simulation mit der Software IDAICE durchgeführt. Im Gegensatz zu einer statischen Berechnung, wie sie beispielsweise zur Ausstellung von Energiebedarfsausweisen angewandt wird, berücksichtigt die dynamische Simulation das thermische Speichervermögen der Gebäudemasse. Im Winter führt dies zu meist zu deutlich geringeren Heizlasten. Das heißt, dass die Heizung für ein Gebäude kleiner geplant werden kann. Die dynamische Simulation ergab eine spezifische Heizlast von 24 W/m² und einen spezifischen Heizenergiebedarf von 26 kWh/m²a. Die Berechnung nach der Energieeinsparverordnung ergab einen Wert von

¹ Hartmann, U. et al.: W4 - Wohnen, solare Wärme, Wärmepumpe und Wärmespeicher, Endbericht. Berlin. 2015. (unveröffentlicht)



Der „e-Tank“ neben einem Bestandsgebäude (Abb.: DGS)

29,3 kWh/m² a. Die Gebäude werden derzeit saniert und sollen danach den KfW 55-Standard erreichen. Das heißt, dass ihr Jahresprimärenergiebedarf bei 55 Prozent eines vergleichbaren Gebäudes liegt.

Bei den weitergehenden Simulationen für das Gesamtsystem mit der Software Polysun wurden zunächst die folgenden Parameter zugrunde gelegt.

- Solarthermische Anlage, Aperturfläche 125 m².
- e-Tank, Fläche ca. 500 m².
- Abluftwärmepumpe, ca. 10 kW.
- S/W Wärmepumpe, ca. 40 kW.
- Backup Fernwärme ca. 60 kW.

Unter diesen Umständen liegt der spezifische Ertrag der Solaranlage bei etwa 533 kWh/m² a (bezogen auf die Aperturfläche), ein sehr guter Wert, der weit über den Erträgen von thermischen Solaranlagen liegt, die ohne e-Tank arbeiten. Insgesamt ergibt sich daraus eine hohe Güte der Anlage, was durch eine Anlagenaufwandszahl von 0,31 ausgedrückt wird. Die Jahresarbeitszahlen der Abluftwärmepumpe (4,66) und der S/W Wärmepumpe (3,66) bestätigen dieses Ergebnis. Entscheidungsrelevante Kriterien für die Umsetzung der im Rahmen dieser Studie vorgeschlagenen

technologischen Lösung sind die Kosten sowie die für den e-Tank verfügbare Fläche, die sich zurzeit noch als zu klein darstellt (300 m² im Hof der Gebäude).

Weitere Vorgehensweise und Empfehlungen

Die Wohnungsbaugesellschaft wird Teilergebnisse der Studie im Jahr 2017 baulich umsetzen. Die Empfehlung an das Land Brandenburg lautet, im Rahmen des REN-Programms² auch innovative Systeme wie die in dieser Studie beschriebene Anlage zur Förderung zuzulassen. Im Augenblick ist eine Förderung nicht möglich, da es sich um Wohngebäude handelt.

² Richtlinie des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten zur Förderung der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien

U. Hartmann¹, R. E. Wuest¹, F. Sick², B. Jurisch³

¹) Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin

Brandenburg e.V.

²) Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

³) Parabel Energiesysteme GmbH

Wärmewende in einem Quartier am Beispiel der Eberswalder Innenstadt

Gemeinsam mit der Stadt Eberswalde und drei Brandenburger Hochschulen hat der Energiedienstleister EWE im Rahmen dieser Studie untersucht, welche Möglichkeiten es für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung in Innenstädten gibt. Ziel war es, an einem Praxisbeispiel aufzuzeigen, wie Innenstädte umweltfreundlich, technisch modern und dennoch vor allem bezahlbar mit Wärme versorgt werden können. Im Kern hat die Untersuchung ergeben, dass es am sinnvollsten ist, Bestehendes Schritt für Schritt zu verbessern, Maßnahmen nah an den Bedürfnissen der Bürger in ihrem Umfeld zu entwickeln und sie vor allem zu koordinieren. In diesem Zusammenhang bietet sich für die Stadt Eberswalde eine Erweiterung des vorhandenen Fernwärmennetzes an.

Zielstellung

Deutschlandweit wird der Hauptanteil der eingesetzten Primärenergie im Wärmesektor benötigt. Fast 40 % des Energieverbrauchs in Deutschland gehen auf das Konto des Gebäudesektors. In Privathaushalten, im Kleingewerbe und auch in öffentlichen Einrichtungen benötigen allein Heizung und Warmwasseraufbereitung 85 % dieser Energie – deshalb gibt es hier auch die größten Einsparpotentiale. Daher ist es naheliegend aktive Maßnahmen für ein Gelingen der Energiewende im Wärmebereich – der Wärmewende – zu erarbeiten. Als wichtigster Siedlungs- und Lebensraum haben Städte dabei eine besondere Bedeutung. 2015 lebten rund 74 % der Einwohner Deutschlands in Städten. Die Wahl dieser Untersuchung fiel auf die brandenburgische Stadt Eberswalde, weil sie mit ihrem innerstädtischen Bausubstanzmix aus unterschiedlichen Epochen und ihren sehr differenzierten Wärmedarfenebnen gewerblicher, privater und öffentlicher Verbraucher exemplarisch ist. Vergleichbare Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern gibt es allein in Brandenburg 25 und deutschlandweit rund 600.

Grundlage dieses Forschungsvorhabens bildete das „Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept für die Stadt Eberswalde“ aus dem Jahr 2013. Innerhalb des Innenstadtbereiches wurden vier repräsentative Quartiere mit unterschiedlichen energetischen Stadtraum-

typen ausgewählt und als Untersuchungsraum festgelegt. Eine besondere Herausforderung bestand darin, die energetischen Lösungen, nachhaltige Energiegewinnung und -verteilung, Effizienzsteigerung und Speicherung mit städtebaulichen, denkmalpflegerischen, baukulturellen, wohnungswirtschaftlichen und sozialen Belangen in Einklang zu bringen.

Vorgehen

Zwischen Juni 2015 und Juli 2016 hat der Energiedienstleister EWE in Zusammenarbeit mit dem Stadtentwicklungsamt Eberswalde und vier Projektpartnern ein umfassendes Datenpaket zusammengestellt. Es bildete die Grundlage, um Handlungsempfehlungen für eine Wärmewende in den vier Innenstadtquartieren abzuleiten. Untersucht wurden zunächst der Sanierungsstand aller Gebäude in den vier festgelegten Quartieren (vgl. Abb. 1), der Wärmeverbrauch sowie der Einsatz der dazu notwendigen Primärenergieträger¹. Daraus ergaben sich vielversprechende Ansätze, um die Emissionsziele aus dem integrierten Energie- und Klimaschutzkonzept umsetzen zu können.

¹ Ruch, O. et al.: Wärmewende in einem Quartier am Beispiel der Eberswalder Innenstadt, Abschlussbericht. Eberswalde. 2016. (unveröffentlicht)



Blick auf ein Eberswalder Innenstadtquartier (Foto: Th. Burckhardt)

Ergebnisse

In den vier Quartieren liegt der Wärmeenergieverbrauch derzeit mit $137 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ deutlich über der Zielmarke von $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (EU-Richtlinie zur Effizienz von Gebäuden). Er liegt damit jedoch noch unter dem Eberswalder Durchschnitt von $148 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und dem Bundesdurchschnitt von ca. $169 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Daraus lässt sich für die Eberswalder Innenstadt für die CO_2 -Emissionen ein Mittelwert von 27 kg/m^2 ermitteln. Auch dieser Wert liegt deutlich über dem Zielwert von Bund und EU.

Die Datenanalyse zeigt für die Quartiere ein enormes Potential im Bereich Effizienz und beim Einsatz erneuerbarer Energie. Sie sollte als Datengrundlage für die energetische Entwicklung der Stadt Eberswalde dienen, ergänzt, sowie auf weitere Stadtgebiete erweitert werden.

Das Verbraucherverhalten hat eine besondere Bedeutung beim Erreichen der festgelegten Ziele. Es ist daher wichtig zu wissen, welche Verbrauchergruppen es in den Eberswalder Stadtquartieren gibt und welche dort in Zukunft leben werden. Im Rahmen einer eigenen Primärerhebung wurde die soziodemografische Entwicklung in den vier ausgewählten Quartieren abgebildet und mit den soziodemografischen Entwicklungen der Stadt Eberswalde und des Landkreises Barnim verglichen. Darauf aufbauend wurden Einflussfaktoren auf

den zu erwartenden Wärmeverbrauch – Heizung und Warmwasser – in privaten Haushalten untersucht und belastbare Aussagen zum prognostizierten Nutzerverhalten abgeleitet. So geht demnach von den untersuchten Quartieren eine hohe Anziehungskraft auf junge und zahlungskräftige, aber zugleich wirtschaftlich denkende, umweltbewusste und qualifizierte Personen aus. Sie favorisieren lokale, kostengünstige und nachhaltige Wärmeenergie. Auch hat die Studie gezeigt, dass die Altstadtquartiere aufgrund ihrer hohen Wohnqualität, ihrer hervorragenden infrastrukturellen Anbindung und ihrer nachbarschaftlichen Integrität auf lange Sicht stark nachgefragt werden.

Die Untersuchung belegt außerdem, dass sich die Nutzer mit der Ausgestaltung ihrer Wärmeversorgung auseinandersetzen (vgl. Abb. 2 & 3). Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit sind hier die wichtigsten Kriterien. Weiterhin zeigt sich eine hohe Akzeptanz für regionale Lösungen, einschließlich des regionalen Energieversorgungsunternehmens. Hieraus kann die Handlungsempfehlung für die Bereitstellung von Wärme abgeleitet werden, dass lokale Präsenz und Vernetzung sich vorteilhaft auf die Akzeptanz auswirken dürften. Hinsichtlich der technischen Ausgestaltung zeigt sich, dass Solarthermie und erdgasbetriebene Heizkessel zu den Technologien mit der größten Akzeptanz zählen.



Abb. 1: Gebäudeklassifizierung in den ausgewählten Eberswalder Innenstadtquartieren (Karte: Stadtentwicklungamt Eberswalde)

Die Untersuchung zum Einsatz verschiedener Technologien zur Wärmeerzeugung in den Quartieren hat ergeben, dass kurz- und mittelfristig verschiedene Optionen möglich sind.

Die zukünftige energetische Entwicklung der Quartiere wird in Realität zu Mischlösungen führen. So ist zu erwarten, dass die bauliche energetische Sanierung schrittweise erfolgt, während sich auch die Energieversorgung schrittweise verändert. Dies führt zu Überlagerungen der allgemeinen Aussagen der betrachteten Varianten. In den Quartieren sind alle relevanten, durch den Algorithmus der DIN V 18599 erfassten Bilanzanteile berechnet worden (vgl. Abb. 4 & 5).

Die **Variante 1** ist der aktuelle IST-Zustand basierend auf der Datenaufnahme vor Ort, den getroffenen Annahmen und Vereinfachungen.

In der **Variante 2** ist das gesamte Quartier baulich energetisch auf das Niveau des Referenzgebäudes der EnEV

2014 saniert worden, unter Beibehaltung der aktuellen haustechnischen Versorgung.

In den Varianten 3 bis 12 wird vorrangig nur die Energieversorgung variiert, ausgehend vom baulichen energetischen IST-Zustand. Die Varianten 10 und 11 beinhalten zusätzlich die Vollsanierung der Variante 2.

In der **Variante 3** wird ausgehend vom IST-Zustand eine 100 %-Fernwärmeversorgung bei einem Primärenergiefaktor fp von 0,7 betrachtet.

Die **Variante 4** bilanziert ein dezentrales, quartierbezogenes Nahwärmenetz mit fossilem Erdgas-BHKW mit einem Deckungsanteil für die Wärme von 50 %. Die restlichen 50 % werden über einen fossilen Erdgas-Spitzenlastkessel abgedeckt. Die Netzverluste sind mit 5 % angesetzt.

Welche grundsätzliche Wärmelösung bevorzugen Sie? (Mehrfachnennung möglich)

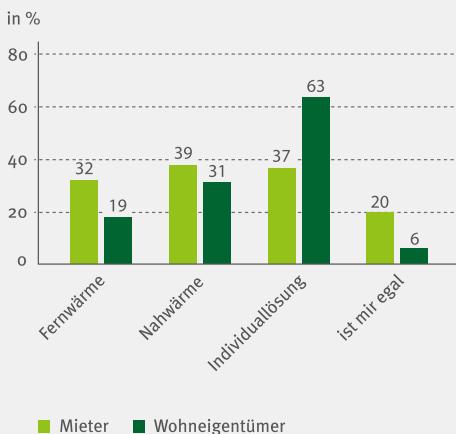


Abb. 2: Präferenz in Bezug auf den Ort der Wärmeproduktion differenziert nach Mieter und Wohneigentümern

Welchen Eigentümer würden Sie für die Anlagen, die Sie mit Wärme versorgen, bevorzugen? (Mehrfachnennung möglich)

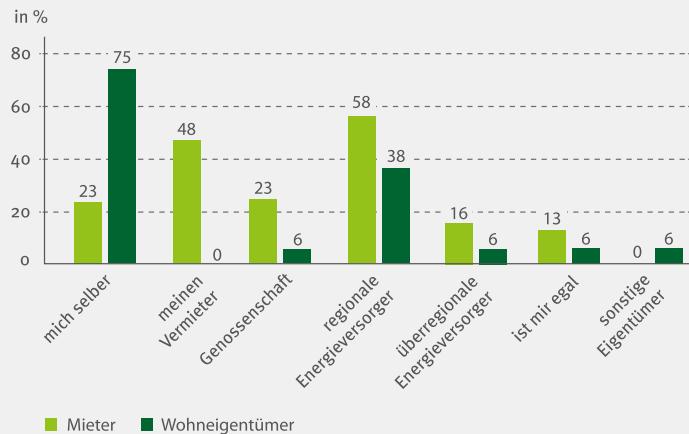


Abb. 3: Präferenz in Bezug auf den Eigentümer der Wärmeversorgungsanlagen differenziert nach Mieter und Wohneigentümer

In der **Variante 5** wird ein zusätzliches kleines, südorientiertes Solarthermie-Feld von 300 m² Kollektorfläche und 45° Neigungswinkel im Nahwärmeknoten eingekoppelt.

In der **Variante 6** wird ein zusätzliches kleines, südorientiertes Photovoltaik-Feld von 300 m² bei 30° Neigungswinkel im virtuellen Stromknoten des Quartiers eingekoppelt. In der **Variante 7** wird die Photovoltaikfläche auf 3.000 m² vergrößert.

Die **Variante 8** ist eine Lösung mit dezentralem, quartiersbezogenem Nahwärmennetz und einer Wärmeversorgung über elektrische Kompressions-Erdreich-Wärmepumpen mit einer JAZ von 4 und mit kleinem Photovoltaik-Feld von 300 m².

In **Variante 9** wird das Photovoltaik-Feld auf 3.000 m² vergrößert.

Die **Variante 10** kombiniert die notwendige bauliche energetische Sanierung mit dem Einsatz von elektrischen Kompressions-Erdreich-Wärmepumpen und dem großem Photovoltaik-Feld von 3.000 m².

In der **Variante 11** kommt eine gasbetriebene Kompressions-Erdreich-Wärmepumpe mit einer JAZ von 1,2 und einem großen Photovoltaik-Feld von 3.000 m² zum Einsatz.

Variante 12 bilanziert ausgehend von Variante 4 eine Beimischung von 20 % Biogas.

Eine quartiersbezogene innerstädtische Wärmeversorgung mit Biomasse ist nicht betrachtet worden. Weitere Varianten sind denkbar und sinnvoll. Zu einem späteren Zeitpunkt sollten insbesondere realistisch kombinierbare Varianten betrachtet werden.

Status der Umsetzung und Ausblick

Die Studie hat drei „Hotspots“ ermittelt, die in den kommenden zwei Jahren zur Umsetzung reifen könnten. Dabei steht zunächst im Innenstadtquartier „Altstadt“ die Sanierung des Rathauses im Vordergrund. In diesem Zusammenhang wurde eine gebäudeübergreifende Wärmeversorgung für die Rathauspassage und den geplanten Neubau der Töpferhöfe untersucht. Mit einer KWK-optimierten Fernwärmelösung wird der Primärenergiebedarf um mehr als 20 % gesenkt. Damit kann auch die Emissionsbelastung gesenkt werden. Der Einsatz von erneuerbaren Energien erscheint unter Berücksichtigung von städtebaulichen und mikroökonomischen Aspekten nur bedingt möglich. In Bezug auf weitere Hotspots im Villenviertel und im Gründerzeitviertel kommt die Studie zu einem ähnlichen Ergebnis.

Energetische Bewertung

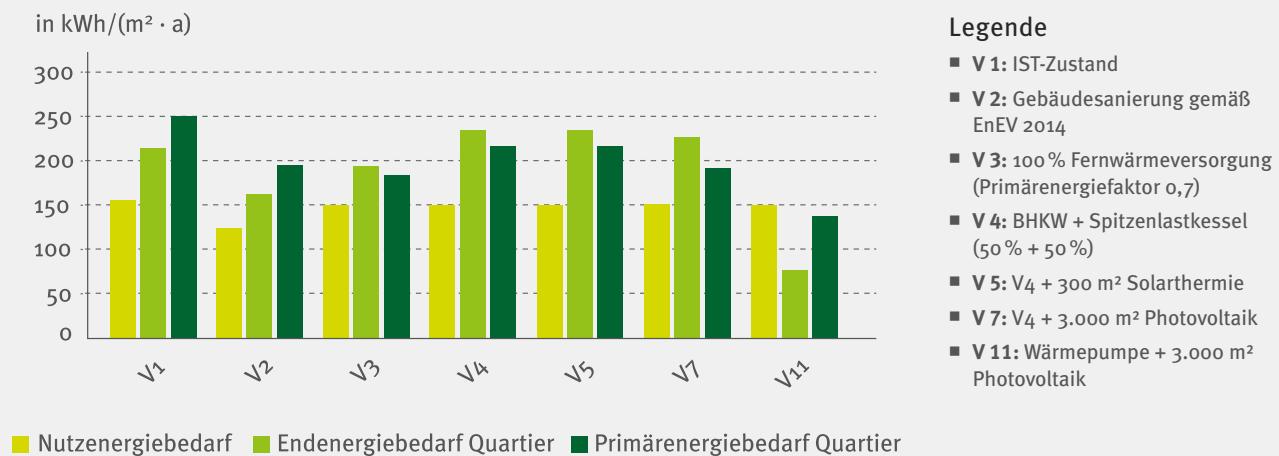


Abb. 4: Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergiebedarf ausgewählter Varianten basierend auf IST-Zustand im Quartier Zentrum (ausgewählte Varianten)

Empfehlungen

Trotz der zum Teil unterschiedlichen Nutzungsprofile in den einzelnen Quartieren sind die Aussagen zu den Bewertungsparametern Emission, Anteil erneuerbarer Energien, Energieeinsparpotentiale etc. grundsätzlich auch auf weitere Stadtgebiete übertragbar. Für die Entwicklung und Definition eines konkreten Wärmekonzeptes ist es allerdings zuerst erforderlich, die notwendigen und gewünschten Zielgrößen und Randbedingungen zu definieren und zu priorisieren. In Abhängigkeit der Vorgaben können sich verschiedene Umsetzungsszenarien ergeben. Zielgrößen und Randbedingungen sind die zu betrachtende Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie sowie der Anteil erneuerbarer Energien und die CO₂-Emissionen.

Bei den Bewertungsparametern empfiehlt es sich, vorrangig CO₂-Äquivalente zu betrachten. Dadurch wird die gesamte Klimawirksamkeit der Konzepte in Bezug auf alle Emissionen unter Einbeziehung aller Verluste bewertet. Die Entwicklung einer quartiersbezogenen optimalen Variante hängt vorrangig von den baulichen, versorgungstechnischen, nutzungsbezogenen und wirtschaftlichen Randbedingungen ab.

Neben der Definition einer Zielvorstellung ist es empfehlenswert, Konzepte zu entwickeln, die schrittweise umgesetzt werden können und zeitliche Randbedingun-

gen beachten. Der Status der baulichen wärmeschutztechnischen Sanierung ist hier entscheidend für das zu erreichende Einsparpotential. Es ist überdies wichtig für mögliche Versorgungsszenarien. Insbesondere in Bereichen, die in den letzten Jahren baulich modernisiert wurden, sind kurz- und mittelfristig keine weiteren umfangreichen baulichen und wärmeschutztechnischen Sanierungsmaßnahmen zu erwarten. Wärmeschutztechnische Maßnahmen sind vor allem in Kombination mit ohnehin notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen wirtschaftlich sinnvoll.

Die Anteile der erneuerbaren Energien und der CO₂-Emissionen korrelieren nicht zwingend. Dies ist in der Festlegung der Zielrichtung der Quartiersentwicklung zu beachten. Vor allem die Strommix-Qualität der vorgelagenen Netze und deren Bewertung in Bezug auf den Einsatz von Wärmepumpen sind wichtig für die Bewertung der einzelnen Szenarien und damit für die Gesamtbewertung. Es besteht darüber hinaus ein großes Klimaschutzpotential durch Fernwärme- und dezentrale BHKW-Lösungen, insbesondere durch die Anpassung des Energieträgermixes.

In diesem Zusammenhang bietet sich für die Stadt Eberswalde eine Erweiterung des vorhandenen Fernwärmennetzes an. Da in den Innenstadtbereichen keine infrastrukturellen Möglichkeiten zur Erzeugung und zur Speicherung für zusammenhängende Gebäudekomplexe vorhanden sind, könnte über die Einspeisung von

Spezifische CO₂-Emissionen em_{CO₂,Äq}

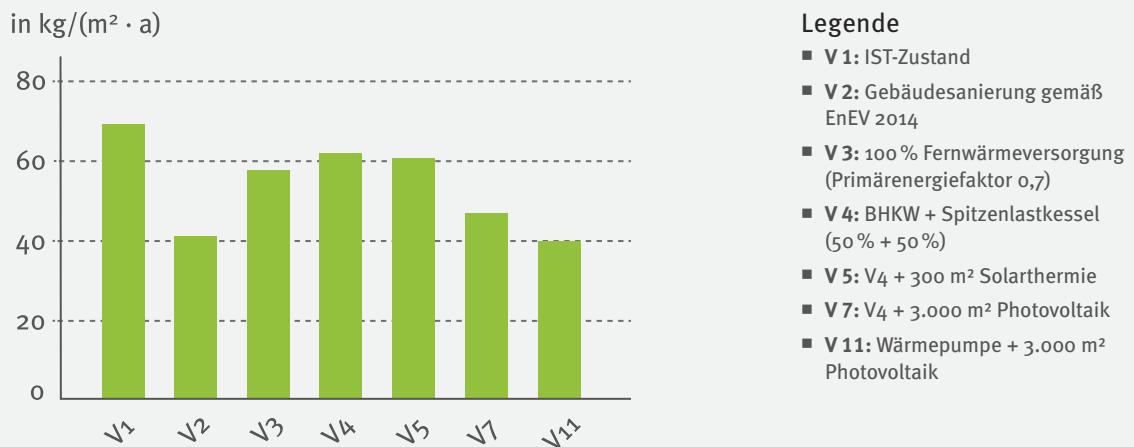


Abb. 5: Berechnete spezifische Kohlendioxidemissionen ausgewählter Varianten im Quartier Gründerzeitviertel West

erneuerbaren Energien (Bio-Erdgas, Photovoltaik oder Thermosolar) in dieses Fernwärmennetz der Anteil an fossilen Energieträgern in den Innenstadtquartieren deutlich reduziert und die Emissionsbelastung gesenkt werden.

Ein zentral gesteuerter und schrittweiser Wandel ist unter der Berücksichtigung eines Optimums an CO₂-Vermeidungskosten durchaus möglich.

O. Ruch¹, N. Auras¹, J. Mallok², Ch. Franzke², G. Hampel³, M. Vogelsang³,

L. Giese⁴, S. Fürkus⁴, F. Müsgens⁵, D. Scholz⁵

1) EWE VERTRIEB GmbH

2) Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

3) Büro für Kommunalberatung

4) Technische Hochschule Wildau, THW

5) Brandenburgische Technische Universität, BTU



Anprechpartner: Dr. Oliver Ruch • EWE VERTRIEB GmbH • oliver.ruch@ewe.de • www.ewe.de

Quartierskonzepte: Herausforderung Wärmelösungen in Kommunen

Diese Studie folgte einem anderen Ansatz als die bisher beschriebenen Studien. Ausgewertet werden sollten die Ergebnisse bisheriger Planungen und deren Übertragbarkeit auf andere Kommunen. Dabei wurde der Prototyp für ein kommunales Planungsinstrument entwickelt. Die Methode wurde auf verschiedene Modellkommunen angewendet. Mit dem Instrument lassen sich energetische Quartierskonzepte bewerten und entsprechende Handlungsempfehlungen für Kommunen ableiten.

Zielstellung

Die Strategien zur Wärmeversorgung in den Kommunen sind genauso individuell und vielfältig wie die Kommunen selbst. Sie sind meist in Konzepte eingebettet, die jeweils ein Thema adressieren, etwa Klimaschutz, Stadtentwicklung oder Energieversorgung. So werden übergeordnete Ziele für die einzelne Kommune konkretisiert. Auch energetische Quartierskonzepte sind in diesen Kontext eingebettet. Damit verbunden ist eine Reihe von Herausforderungen. So sind strukturierte Daten zu Zielwerten oder gar Ergebnisse aus den Quartierskonzepten in der Regel nicht bzw. nicht flächenhaft verfügbar. Es fehlen sowohl Methoden als auch Instrumente, mit denen dieses vorhandene Wissen aufbereitet, systematisch ausgewertet und im besten Fall auf andere Quartiere und Kommunen übertragen werden kann. Auch die Nutzungsrechte an den Daten sind häufig nicht übertragbar.

Diese Studie im Rahmen des Projektes „Wärme neu gedacht!“ hat sich dieser Diskrepanz gewidmet. So wurden in verschiedenen Quartieren in Ostdeutschland vergleichbare Daten zu Siedlungsstruktur, Demografie, Gebäudebestand und Wärmeversorgung erfasst, aufbereitet (vgl. Abb. 1, Abb. 2, Abb. 4) und systematisch ausgewertet (vgl. Abb. 3). Die Studie hat sich dabei auf konkrete, bereits vorhandene und finanzierte Projekte gestützt. Entwickelt wurde ein sogenanntes Indikato-

renmodell. Auf Basis der genannten Eingangsparameter ermöglicht dieses Modell sowohl die Darstellung des Status Quo als auch die Bewertung zukünftiger Projekte. Die Ergebnisse sollten schließlich Kommunen auf einer webbasierten Plattform zur Verfügung gestellt werden. Das Ziel bestand darin, positive Beispiele herauszustellen und anhand dieser Vorbilder Empfehlungen für Quartiere zu entwickeln, wie eine energieeffiziente, wirtschaftliche und klimafreundliche Wärmeversorgung aussehen könnte. Die Empfehlungen sollten in Handlungsleitfäden für die Kommunen überführt werden. Zudem sollten bestehende konventionelle Wärmeversorgungsstrukturen identifiziert werden, die sich als Demonstratoren eignen, um regenerative Ressourcen zu integrieren. Berücksichtigt wurden dabei städtische Kommunen in Ostdeutschland mit mehr als 15.000 Einwohnern exklusive der Hauptstadt Berlin. Die Ergebnisse sind in einer separaten Broschüre dokumentiert¹.

Begleitend zu dieser Studie wurden Dialogformate entwickelt. Die Seminarreihe „kommunale EnergieLERNtage“ richtet sich beispielsweise an kommunale Vertreter aus den Bereichen Energiemanagement, Liegenschaftsmanagement und Stadtentwicklung. Das Seminar zeigt Möglichkeiten auf, wie Kommunen Maßnahmen zur effizienteren Wärmeversorgung planen und umsetzen können.

¹ Mixdorff, U. et al. (Hrsg.): IM FOKUS: DAS ENERGETISCHE QUARTIERSKONZEPT. Dresden. 2016.

Projektkarte

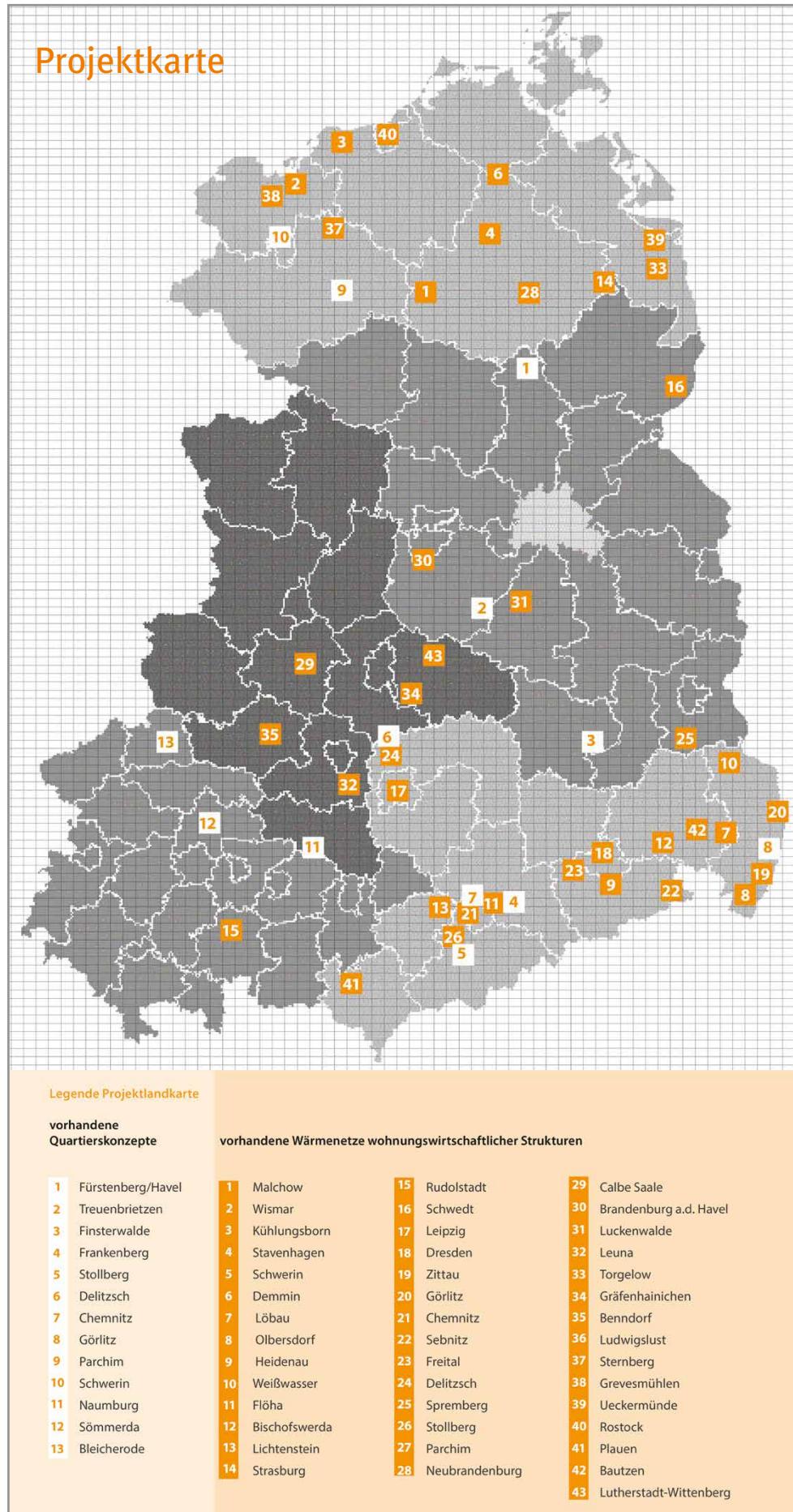


Abb. 1: Projektlandkarte.
Ausgewählte Quartierskonzepte
und Wärmenetze in
Ostdeutschland

Eingabe Vorbildkommune:

Amtlicher Gemeindeschlüssel	14521590	<- - Eingabe
oder		
Gemeindenname		<- - Eingabe

Gemeindenname	Bundesland	Amtlicher Gemeindeschlüssel (AGS)	Stadtwerke	Bevölkerung 31.12.2013	Pendlersaldo (über Gemeindegrenze)	Natürlicher Bevölkerungssaldo	Wanderungssaldo
Stollberg/Erzgeb., Stadt	Sachsen	14521590	1	11373	1467	-85	-7

Filter von Kommunen mit strukturellen Ähnlichkeiten:

Euklidische Distanz	Gemeindenname	Bundesland	Amtlicher Gemeindeschlüssel (AGS)	Stadtwerke	Bevölkerung 31.12.2013	Pendlersaldo (über Gemeindegrenze)	Natürlicher Bevölkerungssaldo	Wanderungssaldo	
TOP 1	2,01	Kamenz, Stadt	Sachsen	14625250	1	15301	1973	-93	-42
TOP 2	2,45	Löbau, Stadt	Sachsen	14626290	1	15531	1245	-100	-8
TOP 3	3,13	Grevesmühlen, Stadt	M.-Vorpommern	13074026	1	10594	690	-46	20
TOP 4	3,15	Hettstedt, Stadt	Sachsen-Anhalt	15087220	1	14665	962	-129	-3
TOP 5	4,41	Teterow, Stadt	M.-Vorpommern	13072106	1	8671	531	-48	-16
TOP 6	5,17	Pasewalk, Stadt	M.-Vorpommern	13075105	1	10470	1805	-115	-8
TOP 7	5,94	Olbernhau, Stadt	Sachsen	14521460	1	9276	-58	-121	-42
TOP 8	6,18	Pritzwalk, Stadt	Brandenburg	12070316	1	11982	873	-102	-79
TOP 9	6,23	Oelsnitz/Vogtl-, Stadt	Sachsen	14523300	1	10763	671	-82	-105
TOP 10	6,53	Schwarzenberg/Erzg.,	Sachsen	14521550	1	17542	109	-156	-43

Abb. 2: Auszug aus dem kommunalen Filter

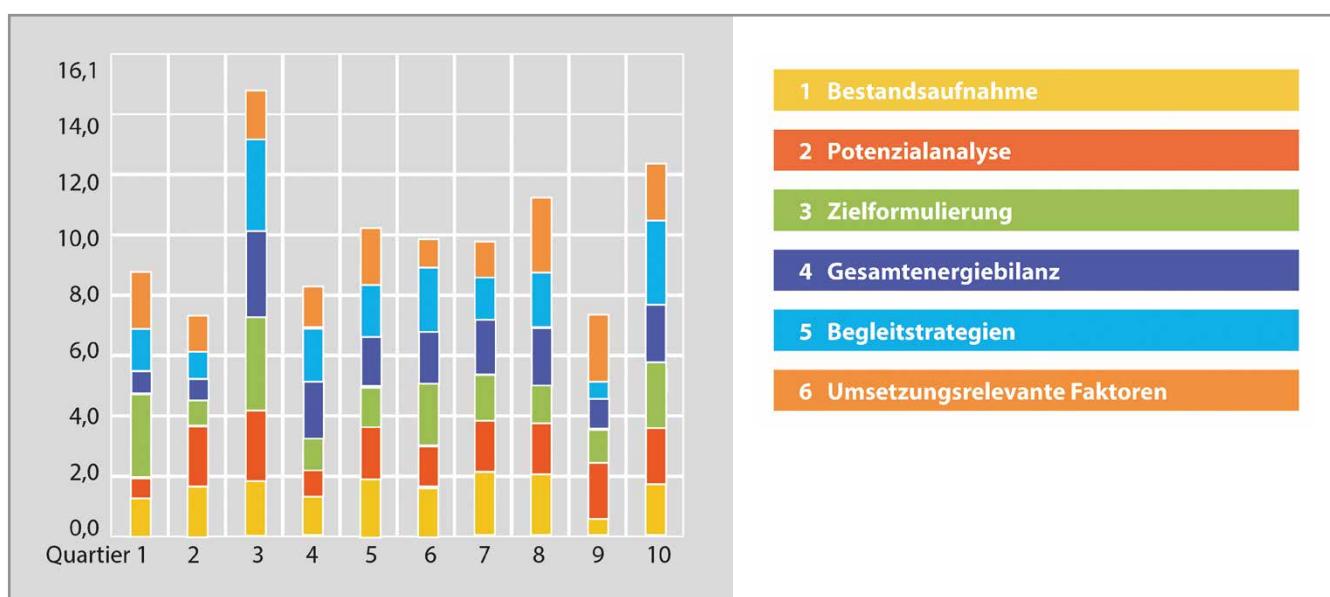


Abb. 3: Bewertung der Quartierskonzepte nach Hauptkriterien (Ordinate: Punkteverteilung gewichtet)

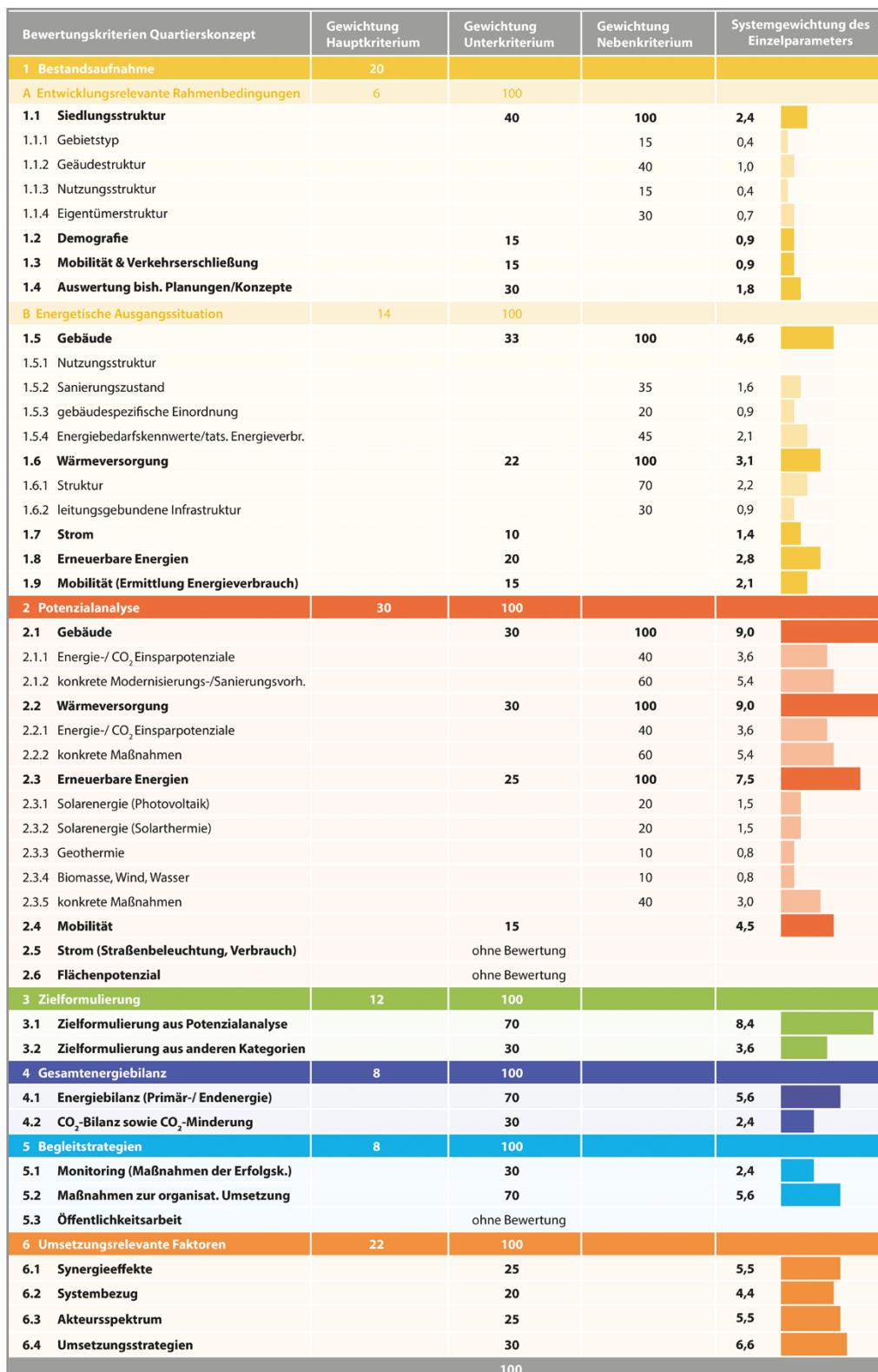


Abb. 4: Bewertungsmodell energetischer Quartierskonzepte



Wirf keine Wärme weg!

Weiterführende Literatur

Agentur für Erneuerbare Energien (2016):

Bundesländer mit neuer Energie – Statusreport Föderal
Erneuerbar 2016/17.

https://www.foederal-erneuerbar.de/tl_files/aee/FE-Report%202016/AEE_FE-Report_2016_DE_Einleitung.pdf

Agentur für Erneuerbare Energien (2016):

Metaanalyse über Instrumente und Maßnahmen für die
Wärmewende.

http://www.forschungsradar.de/fileadmin/content/bilder/Vergleichsgrafiken/meta_waermeinstrumente_2016/AEE_Metaanalyse_Waermeinstrumente_okt16.pdf

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2015):

„Wie heizt Berlin?“ – Studie zum Heizungsmarkt. Berlin.

[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/559CEC7A8718C5BFC1257F310049CB9E/\\$file/151207_Studie_Heizungsmarkt_Berlin.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/559CEC7A8718C5BFC1257F310049CB9E/$file/151207_Studie_Heizungsmarkt_Berlin.pdf)

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (Hrsg.) (2015):

„Wie heizt Brandenburg?“ – Studie zum Heizungsmarkt. Berlin.

[https://www.bdew.de/internet.nsf/id/559CEC7A8718C5BFC1257F310049CB9E/\\$file/151207_Studie_Heizungsmarkt_Brandenburg.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/559CEC7A8718C5BFC1257F310049CB9E/$file/151207_Studie_Heizungsmarkt_Brandenburg.pdf)

Breisig, V. et al. (2015):

Energiewende-Outlook: Kurzstudie Wärme.

In: PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft (Hrsg.).

<https://www.pwc.de/de/energiewende/assets/pwc-ewo-kurzstudie-waerme-2015.pdf>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016):

Klimaschutzplan 2050.

http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_kurzf_bf.pdf

Bündnis 90/Die Grünen – Bundestagsfraktion (2016):

Die neue Wärmewelt – Szenario für eine 100% erneuerbare
Wärmeversorgung.

<https://www.gruene-bundestag.de/publikationen/publikation/reader-die-neue-waermewelt/thema/energie.html>

Erhorn-Kluttig, H., Jank, R., Schrempf, L., Dütz, A., Rumpel, F., Schrade, J., Schmidt, D. (2011):

Energetische Quartiersplanung: Methoden – Technologien – Praxisbeispiele. Fraunhofer IRB Verlag.

<http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-154211.html>

Erhorn-Kluttig, H., & Erhorn, H. (2016):

Energetische Bilanzierung von Quartieren. Ergebnisse und
Benchmarks aus Pilotprojekten – Forschung zur energieeffizienten
Stadt.

<https://projektinfos.energiewendebauen.de/publikationen/publikation/energetische-bilanzierung-von-quartieren/>

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrsg.) (2015):

Forschung für die Wärmewende Beiträge zur FVEE-Jahrestagung
2015. Berlin. 111 Seiten.

<http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2015/th2015.pdf>

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrsg.) (2016):

Forschungsziele 2017 – Gemeinsam forschen für die Energie der
Zukunft. Berlin.

<http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Programmbroschuere/fz2017/fz2017.pdf>

Fraunhofer IWES/IPB (2017):

Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der
mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor.
Studie im Auftrag von Agora Energiewende.

https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf

- Heisenberg, E. et al. (2015):**
Wie Deutschland die Wärmewende schaffen kann – Eine Bestandsaufnahme. In: Stiftung Neue Verantwortung (Hrsg.) Berlin.
https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/policy_brief_emanuel_heisenberg_warmewende_1.pdf
- Hertle, H., Pehnt, M., Dingeldey, M., Gugel, B., Müller, K. (2015):**
Wärmewende in Kommunen – Leitfaden für den klimafreundlichen Umbau der Wärmeversorgung. In: Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.), Band 41. Berlin.
https://www.boell.de/sites/default/files/waermewende-in-kommunen_leitfaden.pdf
- Kastner, O., Norden, B., Klapperer, S., Park, S., Urpi, L., Cacace, M., Bloecher, G. (2017):**
Thermal solar energy storage in Jurassic aquifers in Northeastern Germany: A simulation study.
Renewable Energy 104, 290-306.
<http://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.003>
- Kastner, O., Huenges, E. (2015):**
Aquiferspeicher-gestützte solarthermische Wärmeversorgung von Bestandsquartieren – Eine Ideenskizze. GFZ, (unveröffentlicht).
- Kollatz-Ahnen, M. (Hrsg.):**
Berlin auf dem Weg zu einer Referenzmetropole für eine nachhaltige Energieversorgung.
https://www.berlin.de/sen/finanzen/vermoegen/nachrichten/papier_-_senfin_-_energie_und_netze_fur_berlin.pdf
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F., Mathiesen, B.V.:** 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy 68 (2014) 1-11.
- Nytsch-Geusen, C. et al. (2016):**
Nachhaltige und energieeffiziente Bestandsentwicklung von Stadtquartieren – Entwicklung eines Analyse- und Planungstools zur energetischen Bewertung und Sanierung von Stadtquartieren (Open eQuarter). In: Fraunhofer IRB Verlag (Hrsg.). Stuttgart.
<http://www.irbnet.de/daten/rswb/16069021760.pdf>
- Quaschning, V. (2016):**
Sektorkopplung durch die Energiewende - Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin.
<http://www.volker-quaschning.de/publis/studien/sektorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf>
- Schülecke, J., Schultz, K. (2015):**
Wettbewerb im Wärmemarkt – Ökonomisch effizient, technisch machbar, klimapolitisch sinnvoll? In: Industrie- und Handelskammer zu Berlin (Hrsg.). Berlin.
https://www.ihk-berlin.de/blob/bihk24/politische-positionen-und-statistiken_channel/innovation/Politische_Positionen/Download/2677756/88545169b428ef6417b4906411744599/Kurzgutachten-Waermemarkt-data.pdf
- Stryi-Hipp, G. et al. (2015):**
Erneuerbare Energien im Wärmesektor – Aufgaben, Empfehlungen und Perspektiven. In: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (Hrgs.). Berlin.
http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Politische_Papiere_FVEE/15.EEWaerme/15_FVEE-Positionspapier_EE-Waerme.pdf
- „Zwanzig20-Forum Wärmewende“ c/o Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ (2016):** Regenerative Wärmebereitstellung für Stadtquartiere – lokale Integrationsansätze. Potsdam.
http://media.gfz-potsdam.de/gfz/wi/Zwanzig20-Forum/GFZ-Zwanzig20_web.pdf

Danksagung

des Koordinators

Bedanken möchte ich mich sowohl bei den Projektpartnern **Wärme neu gedacht!** als auch bei allen Akteuren des Zwanzig20-Forums Wärmewende sowie bei weiteren Unterstützern. Erst durch ihre individuellen Beiträge konnten Ergebnisse erzielt und das Format mit Leben erfüllt werden.

Besonderen Dank möchte ich an den **Förderer BMBF** richten. Stellvertretend genannt werden soll Hans-Peter Hiepe, dem es gelungen ist, mit der Programmamilie *Unternehmen Region* und speziell mit dem Förderprogramm *Zwanzig20 Partnerschaft für Innovation* einen wertvollen Rahmen für eine Stärkung der Wirtschaft und neue Formen der Zusammenarbeit zu kreieren. In diesem Zusammenhang möchte ich auch Thomas Reimann, stellvertretend für den Projektträger, danken.

Reinhard Hüttl danke ich für das Geleitwort.

Ich bedanke mich bei den Mitgliedern des **Beirats**, im Einzelnen Claudia Kemfert, Uwe Lenk (bis 04/2015), Wolfgang Neldner, Siegfried Rehberg, Gerhard Stryi-Hipp und Klaus Zillich.

Bedanken möchte ich mich weiterhin für die Unterstützung durch die Mitglieder des **Arbeitskreises Strategie**, im Einzelnen Rita Ehrig, Oliver Kastner, Jörn Lauterjung, Magdalena Scheck-Wenderoth, Felix Ziegler und Burkhard Zschau. Besonders danken möchte ich Jörn für die wertvollen strategischen Impulse.

Weiterer Dank gilt den Projektpartnern sowie aktiv und passiv Assoziierten:

Götz v. Arnim, Nadine Auras, Ralph Baller, Claus Bannick, Gerd Bartsch, Ute Bauer, Wilhelm Benfer, Malin Berges, Thorsten Birth, Denise Bock, Ulrich Bogner, Wilfried Boysen, Stefan Bredel-Schürmann, Thorsten Broer, Clemens Dähne, Michael Eckart, Alexander Eichelpasch, Peter Eijbergen, Clemens Elbing, Regina Ewald, Frank Ewers, Carl-Ernst Forchert, Henning Francke, Christoph Franzke, Manfred Fricke, Sabine Frisch, Stefan Fürkus, Andre Gerstenberg, Lutz Giese, Matthias Gohla, Jenny Haberer, Gerd Hampel, Uwe Hartmann, Gregor Heilmann, Ralph Herzer, Arnd Heumann, Bernd Hirschl, Mandy Hoffmann, Christian Hoßbach, Ernst Huenges, Bernd Jurisch, Birgit Kaminski, Ingo Kapp, Oliver Kastner, Kristin Kempe, Matthias Klatt, Thorsten Kleinteich, Silke Köhler, Wolfgang Korek, Björn Koslowski, Stefan Kranz, Matthias Krienert, Olaf Kruse, Michael Kühn, Dietmar Laß, Jörg Lorenz, Kerstin Lorenz, Lutz Maicher, Jörn Mallok, Niklas Martin, Frank Mattat, Ulrich Meyer, Uwe Mixdorff, Berit Müller, Klaus Müller, Lothar Müller, Felix Müsgens, Ben Norden, Sunah Park, Gert Proba, Matthias Przywara, Randolph Radke, Michael Rath, Maria Reinisch, Sascha Rosenberg, Oliver Ruch, Petra Runge, Ali Saadat, Sebastian Saule, Johannes Schabos, Steffen Schlegl, Cordula Schmalter, Dieter Schmeißer, Uwe Schneider, Daniel Scholz, Detlev Seidler, Heiko Seelig, Friedrich Sick, Andrea Skowronek, Werner Stackebrandt, Gundula Teltewska, Birgit Urban, Antje Vargas, Julia Verlinden, Michael Viernickel, Michael Vogelsang, Bernd Vogl, Christian Voigt, Martin Willinge, Bodo Wolf, Severine Wolff, Rainer Wuest, Frank Wustmann, Thomas Zänger.

Dank gilt ebenso Ute Kehse, Pia Klinghammer, Stefan Pigur, Katja Schaar und Anna Tihonova für die Unterstützung bei der Herstellung dieser Broschüre.



Daniel J. Acksel, Potsdam, im April 2017



**Demonstration
schafft Akzeptanz!**