

# Stadt der Zukunft – auf dem Weg zur Morgenstadt

Städte und Kommunen spielen bei der Planung, Umsetzung und Begleitung von langfristigen Projekten der Energiewende eine entscheidende Rolle. Der Umbau der Energiesysteme in Richtung einer zuverlässigen und nachhaltigen Energieversorgung muss vor allem auf lokaler Ebene umgesetzt werden.

Neben den Lösungen für die großen Ballungszentren und Großstädte, gilt es auch Ansätze für die zahllosen kleinen und mittelgroßen Kommunen in Deutschland zu finden, wenn das Gesamtziel beim Ausbau der erneuerbaren Energien und der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht werden soll. Selbst in den stark städtisch geprägten Ländern Zentraleuropas leben etwa 40 % der Bevölkerung in Städten und Kommunen mit weniger als 100.000 Einwohnern (Eurostat 2012), in Deutschland gibt es etwa 12.000 Städte und Kommunen mit weniger als 100.000 Einwohnern (Bullinger et al. 2011).

Ebenso wie Großstädte sehen sie sich den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gegenüber. Klimaschutz und die Anpassung an bereits zu beobachtende Klimaveränderungen stellen für viele Akteure und Entscheidungsträger hier neue Aufgaben dar, die in ihren Kernbereichen städtebaulicher Entwicklungsaufgaben bislang kaum zu berücksichtigen waren. Viele Städte und Kommunen stehen zusätzlich vor dringlichen Herausforderungen, wie prekären Haushalten, einer hohen kommunalen Verschuldung, Leerständen und Sanierungsstaus bei öffentlichen und privaten Gebäuden sowie den Herausforderun-

gen des demografischen Wandels mit einer teilweise gravierenden Abwanderung und Überalterung der Bevölkerung.

Für ein Gelingen der Energiewende vor diesem oftmals schwierigen Hintergrund gilt es, geeignete Strategien zu entwickeln und kommunale Entscheidungsträger bei der Umsetzung möglichst profitabler und auf Synergieeffekte ausgerichteter Maßnahmen zu unterstützen.

Da es sich bei den verantwortlichen Entscheidungsträgern in aller Regel nicht um Energiefachleute handelt, ist eine strategische Unterstützung bei innovativen und anspruchsvollen Vorhaben besonders wichtig. Hier kommt der Entwicklung von geeigneten Planungswerkzeugen in Zukunft eine entscheidende Bedeutung zu.

Der Fortschritt in den verschiedenen Technologiefeldern schreitet in unterschiedlichen Geschwindigkeiten voran. Während sich im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie in den vergangenen Dekaden grundlegende und umfassende Entwicklungen ereignet haben, ist der Bausektor in Bezug auf seine Veränderungsrate durch Um- und Neubauten ein eher konservativer und träger Sektor. Dies gilt es zu berücksichtigen, wenn es darum geht, Synergieeffekte und technologische Innovationen in der Energieversorgung von Gebäuden zu erschließen (Abbildung 1). Gleichzeitig können sich durch eine gemeinsame Betrachtung verschiedener Sektoren



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

**Fraunhofer ISE**  
Gerhard Stryi-Hipp  
gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

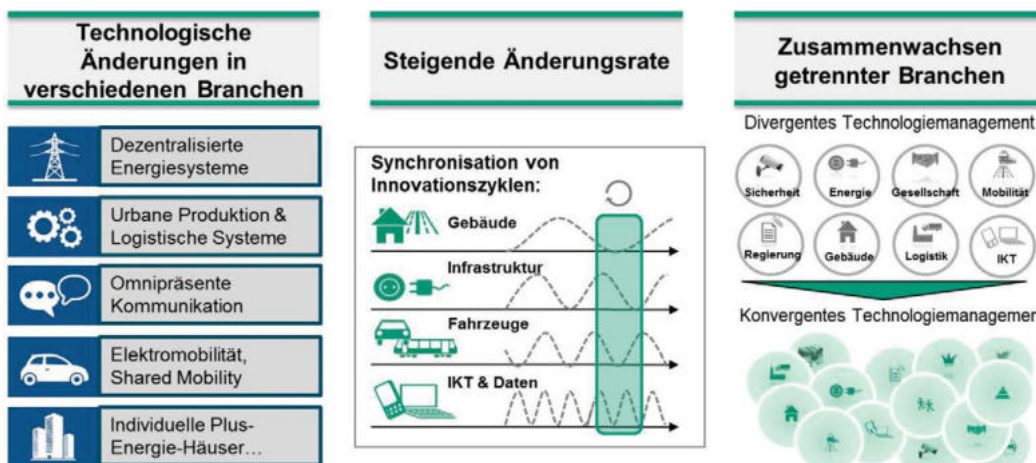


Abbildung 1  
Innovationszyklen  
in verschiedenen  
Sektoren

aber auch neue Entwicklungsfelder auf, wie beispielsweise in der Weiterentwicklung von Plus-Energie-Häusern, die Gebäude zu Energiekonsumenten und -produzenten machen.

Gegenüber dem Stromsektor ist in den vergangenen Jahren der Beitrag der erneuerbaren Energien für die Wärmebereitstellung nur in geringerem Umfang gewachsen. Gleichzeitig wird für die kommenden Jahrzehnte nur ein deutlich geringeres Wachstum als im Stromsektor erwartet (Nitsch et al. 2012). Der Gebäudebestand weist aktuell nur eine relativ geringe Erneuerungsrate von jährlich etwa einem Prozent des Bestandes auf, dies ersetzt in etwa die Abbruchquote. Und auch die energetische Sanierungsrate liegt unter einem Prozent pro Jahr. Gleichzeitig hat der Wärmesektor einen erheblichen Anteil von rund einem Drittel am gesamten Endenergiebedarf (AGEB 2014). Insbesondere bei den privaten Haushalten macht die Wärme den größten Anteil an diesem Bedarf aus.

Der Wärmebedarf der Haushalte ist im Gegensatz zum Prozesswärmebedarf der Industrie auf ein geringes Temperaturniveau beschränkt, da lediglich der Raumwärmebedarf von ca. 21 °C und der Trinkwarmwasserbedarf von 45 °C gedeckt werden muss (Abbildung 2). Zur Deckung bietet sich die Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energiequellen an, da diese auch häufig in großen Mengen auf einem niedrigen Temperaturniveau zu erschließen sind. Auf diese Weise ließe sich der Anteil der erneuerbaren Energien auch in der Wärmeversorgung deutlich steigern. Die benötigten Technologien sind überwiegend vorhanden.

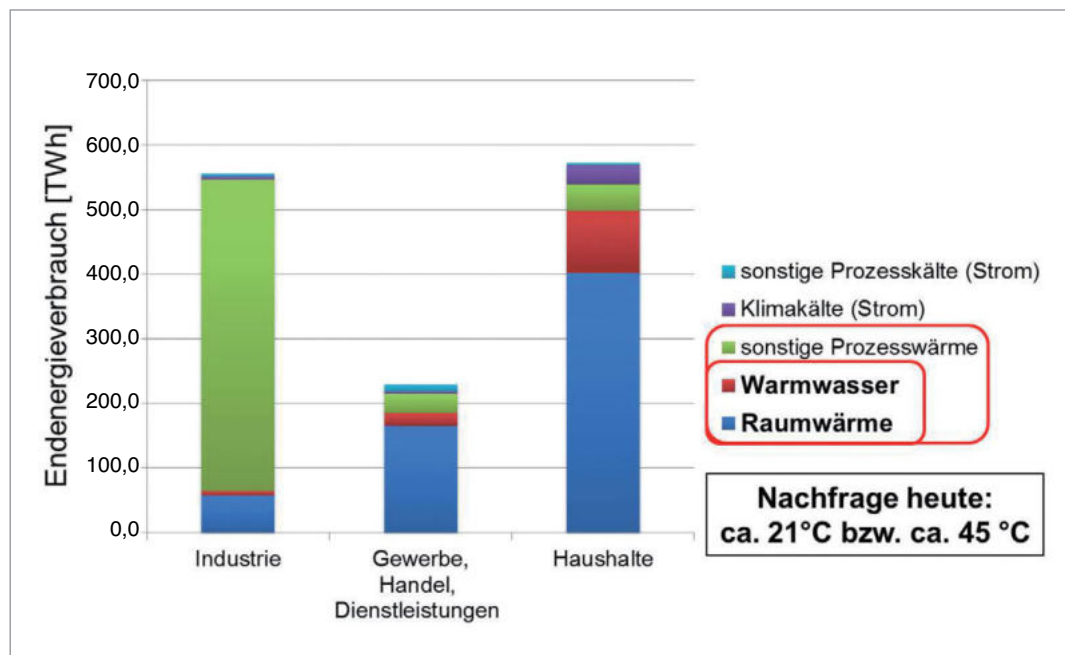
Für eine zukunftsweisende und innovative Energieversorgung auf Stadt- bzw. vor allem Quartiersebene, müssen darum die Versorgungsseite und die Energieabnehmer stärker als integrales System gedacht werden.

Städte und Kommunen sind in Bezug auf ihre Potenziale und ihre lokalen Voraussetzungen unterschiedlich aufgestellt. Während ländliche Kommunen häufig über ein ausreichend großes Potenzial an Biomasse und Flächen zur erneuerbaren Stromerzeugung verfügen, können größere Städte für ihre Strategie nur auf begrenzte Flächenressourcen und biogene Potenziale zurückgreifen. Um dennoch eine hohe Deckungsrate durch erneuerbare Energien zu erreichen, sind diese Städte auf Kooperationen mit ihrem Umland sowie die besonders effiziente Ausnutzung bestehender Ressourcen wie beispielsweise Abwärmequellen angewiesen.

Für die bessere Ausnutzung der vorhandenen erneuerbaren Wärmepotenziale in Städten und Kommunen empfehlen sich auf den verschiedenen Maßstabsebenen unterschiedliche Lösungen. Während es auf der Ebene der Einzelgebäude noch vor allem um eine Optimierung der vorhandenen Flächen für PV-Anlagen und thermische Solaranlagen und die optimierte Eigenstromnutzung geht, stehen auf Quartiersebene bereits eine deutlich größere Zahl von technologischen Ansätzen zur Verfügung.

Eine wesentliche Herausforderung der Energiewende stellt der Wandel von einer zentralen zu einer dezentralen elektrischen Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien dar. Die steigende fluktuierende

Abbildung 2  
Endenergieverbrauch  
im Sektor Wärme  
(heute)



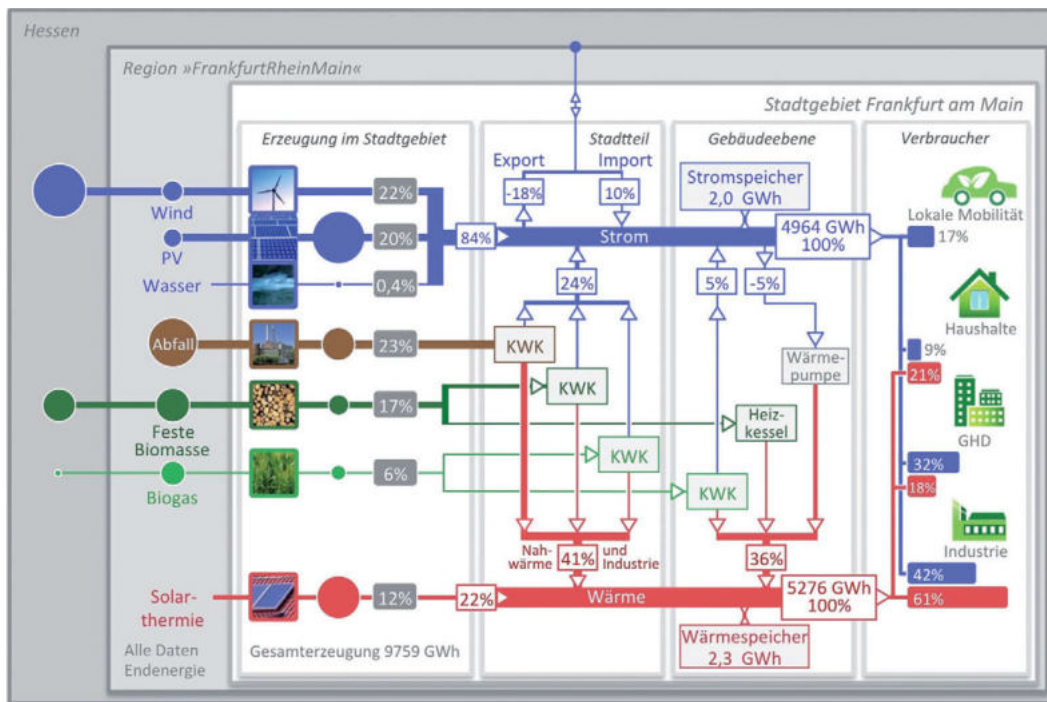


Abbildung 3

Struktur eines optimierten Energiesystems für die Stadt Frankfurt am Main im Jahr 2050 für eine Eigenversorgung mit 95% regional erzeugten erneuerbaren Energien.

(Fraunhofer ISE)

Einspeisung führt zu einer Belastung der Stromnetze und erfordert ein effizientes Lastmanagement. Hierfür müssen Erzeugungsspitzen gespeichert werden, um sie bei Bedarf wieder abrufen zu können, was über Speicherkraftwerke oder dezentrale Batteriespeicher erfolgen kann. Dies stellt eine noch teure und mit Verlusten verbundene Strategie dar und kommt derzeit nur in geringem Umfang zum Einsatz. Eine kostengünstigere Lösung könnte die Nutzung von Überschussstrom für die Wärmebereitstellung sein, die im engeren Sinne keine Speichertechnologie darstellt, aber dazu beitragen kann, konventionelle fossile Energieträger im Wärmebereich durch erneuerbaren Strom zu ersetzen. Während die meisten elektrischen Anwendungen keine zeitliche Flexibilität aufweisen, sind thermische Prozesse in Gebäuden aufgrund ihrer Trägheit gut geeignet, mit ihren Toleranzen eine Lastverschiebung zu ermöglichen. Eine optimale Lastverschiebung erfolgt in diesem Fall mittels Wärmepumpen im Demand-Side-Management.

Über Wärmenetze kann auf Quartiersebene eine Optimierung der Rücklauftemperaturen erreicht werden. Hierzu werden im Nahwärmenetz die Abnehmer entsprechend ihrer Temperaturanforderung gestaffelt versorgt, so dass der Wärmestrom optimal ausgenutzt wird. Auf Quartiersebene ist auf diese Weise auch eine Nachverdichtung eines bestehenden Versorgungsnetzes möglich. Auch lokale Abwärmequellen, z. B. aus Kühl- oder Industrieprozessen können in ein solches flexibles Nahwärmenetz integriert werden, so dass sich auch bei der Wärmeversorgung eine Verschiebung realisieren lässt.

Engagierte Kommunen setzen sich häufig ambitionierte energetische Ziele, die bis zu einer Vollversorgung aus erneuerbaren Energien als Zielszenario reichen. Die Abschätzung der Potenziale und die Auslegung eines Energiesystems, welches die verschiedenen Energiequellen aus fluktuierenden Erneuerbaren und lokalen Residualkraftwerken zu einem komplexen lokalen Energiesystem verbindet, erfordert eine zeitlich hoch aufgelöste Simulation als Grundlage für die Planung und den Betrieb, um eine sichere Versorgung zu jeder Stunde im Jahr zu gewährleisten. Die mathematische Optimierung ermöglicht es durch die Abbildung aller dynamischen Effekte der verschiedenen Technologien und ihrer Wechselwirkungen die kostengünstigste Energiesystemstruktur inklusive der benötigten Speicher und des verbleibenden, über Importe zu deckenden Energiebedarfs zu ermitteln.

Abbildung 3 ist eine grafische Darstellung der Simulation am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main, die sich das Ziel gesetzt hat, sich im Jahr 2050 allein mit erneuerbaren Energien zu versorgen.

Die Stadt Frankfurt am Main entwickelt und setzt bereits seit 1990 Energiekonzepte um. Schwerpunkte waren und sind Energieeffizienz, Nutzung vorhandener erneuerbarer Energiepotenziale und die Kraft-Wärme-Kopplung. Um die Bekanntheit der Stadt nicht nur als Stadt der Kultur und der Museen zu voranzutreiben, will Frankfurt „Green City“ werden und hat sich im Jahr 2011 für den Titel der „Europäischen Umwelthauptstadt“ des Jahres 2014 bewor-

ben. Diese Bewerbung wird nicht allein von der Stadt getragen, sondern auch durch eine Vielzahl von Bürgern, Vereinigungen und Unternehmen.

Auf Basis der BMU-Förderung „Masterplan 100 % Klimaschutz“ ergab sich 2013 die Möglichkeit, den Herausforderungen der Jahrhundertaufgabe der urbanen Transformation – Energiewende und 100 % Klimaschutz – mit geballter Kraft und unter Einbezug des bestmöglichen externen Know-Hows zu begegnen. Das Ziel des „Masterplans 100 % Klimaschutz“ der Stadt Frankfurt ist es, aufbauend auf den bisherigen Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen der Stadt Maßnahmen zur Energie- und CO<sub>2</sub>-Reduzierung zu entwickeln. Der Fokus liegt dabei auf dem Bereich der Wärmeversorgung und damit verbundenen Nutzung von Abwärme, Kraft-Wärme-Kopplung, Verdichtung der Fernwärme, Interaktion Strom-Wärme. Parallel dazu wird auch ein Mobilitätskonzept entwickelt, das Maßnahmen in den Sektoren Strom und Verkehr für die Stadt beschreibt.

Im Auftrag der Stadt Frankfurt am Main haben die Fraunhofer-Institute IBP und ISE berechnet, ob und wie eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2050 möglich wäre. Dies erfolgte auf Basis eines Modells, welches die Anforderungen einer Vollversorgung mit möglichst geringen Kosten optimiert. Im Ergebnis stellt sich die Frage des Einzugsgebiets der erneuerbaren Energien als entscheidende Größe heraus. Die erneuerbaren Energiepotenziale auf der Fläche der Stadt Frankfurt reichen nicht aus, um den Energiebedarf der Stadt vollständig zu decken. Dies überrascht für eine Großstadt wie Frankfurt auch nicht. Wenn jedoch Solarstrom-, Biomasse- und Windpotenziale der Region Frankfurt Rhein-Main und bezüglich Wind und Biomasse anteilig aus Hessen genutzt werden, ist eine Vollversorgung mit regionalen erneuerbaren Energien möglich. Aus Kostengründen wird jedoch empfohlen, noch 10 % (erneuerbaren) Strom von außerhalb Hessens zu importieren. Großstädte wie Frankfurt benötigen im Energiebereich eine Energiekooperation mit der Region.

Eine hohe Eigenversorgung hat nicht das Ziel, sich abzukoppeln, sondern mehr Selbstbestimmtheit und Nachhaltigkeit in der Energieversorgung insgesamt zu erreichen. Dies umfasst eine optimale Balance zwischen Eigenversorgung und Energieaustausch mit der Region und darüber hinaus.

Für Frankfurt ergibt sich hieraus eine Handlungshierarchie:

1. Effizienzsteigerung (KWK, Verbrauch)
2. Maximale erneuerbare Energienutzung vor Ort
3. Energiekooperation mit der Region
4. Smart Grid, Speicher, E-Mobilität ...

Diese Prioritäten gelten im Wesentlichen für Städte und Kommunen in allen Größenklassen. Die Stadt der Zukunft ist in Deutschland eine bereits weitgehend gebaute Stadt. Im Gebäudebestand liegt das wesentliche Potenzial für die Umsetzung der Energiewende. Je nach lokalen Randbedingungen kann die Schwerpunktsetzung unterschiedlich aussehen, sie erfordert jedoch immer neben dem Stromsektor auch den Bereich der Wärmeversorgung stärker in den Blick zu nehmen und optimierte Lösungen für das gesamte Energiesystem zu finden.

Insbesondere kleine und ländliche Kommunen haben oft die Möglichkeit, ihren Energiebedarf rechnerisch vollständig lokal zu decken. Für sie stellt sich zukünftig verstärkt die Frage, inwiefern sie über eine Systemoptimierung zukünftig als Exporteure für eine Stadt-Land-Kooperation auftreten können.

Die Nutzung vorhandener, insbesondere thermischer Energiepotenziale ist ein wesentlicher Baustein zur Integration aller Teilsysteme in ein ganzheitliches dezentrales Versorgungssystem. Hier liegen noch erhebliche Potenziale für die „Morgenstadt“. Für eine integrale Betrachtungsweise der verschiedenen Sektoren fehlt es jedoch noch an validierten Planungswerkzeugen, die es erlauben eine ganzheitliche Optimierung und Entwicklungsstrategie vorzunehmen.

## Quellen

- AGE (2014): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2013. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V., zuletzt geprüft am 21.10.2011.
- Bullinger, Hans-Jörg; Edenhofer, Ottmar; Höppner, Dörte; Kleiner, Matthias; Maubach, Klaus-Dieter; Requardt, Hermann (2011): Bericht der Promotorengruppe Klima/Energie. Empfehlungen zu den Zukunftsprojekten »Die CO<sub>2</sub>-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadt« und »Intelligenter Umbau der Energieversorgung«. Roadmaps und Handlungsempfehlungen. Hg. v. Promotorengruppe Klima/Energie der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft.
- Eurostat (Hg.) (2012): Eurostat regional yearbook 2012. European Union.
- Nitsch, Joachim; Pregger, Thomas; Naegler, Tobias; Heide, Dominik; Luca de Tena, Diego; Trieb, Franz et al. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. Hg. v. Naturschutz und Reaktorsicherheit Bundesministerium für Umwelt (BMU – FKZ 03MAP146).