

# Kommunale und regionale Konzepte für die Verknüpfung von Strom- und Wärmemarkt – Beispiel Energiewende Nordhessen

## Die Relevanz des Wärmesektors

Im Hinblick auf die Energieeinsparziele der Bundesregierung und der damit verbundenen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen kommt dem Wärmesektor eine zentrale Bedeutung zu. Der Gebäudesektor macht rund 40 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland aus (s. *Abbildung 1*). Der Großteil davon (85 %) entfällt auf den Heizwärmeverbrauch (Raumwärme und Warmwasserbereitung) und wird überwiegend in den privaten Haushalten benötigt [2]. Bisher ist der Anteil erneuerbarer Energien (EE) im Wärmemarkt mit rund 9 % noch gering [3].

Nach Angaben des Bundesverbands Erneuerbare Energien sind 18 % der Heizungen in Deutschland älter als 24 Jahre, 70 % sind zwischen 10 und 24 Jahren alt [3]. Das Potenzial zur Heizungserneuerung in den kommenden Jahren ist dementsprechend hoch. Als erneuerbare Energieträger kommen hierfür neben der Solarthermie, der Geothermie und der Biomasse vor allem elektrische Wärmepumpen in Frage. Biomasse mit Temperaturen größer 100 °C wird insbesondere im Prozesswärmesektor benötigt.

Da Strom (100%-Exergie) zunehmend zur Primärenergiequelle wird und auch Teile des Bedarfs in den Sektoren Wärme/Kälte und Verkehr decken wird, ergeben sich neue Verbindungen und Abhängigkeiten zwischen den Energiesektoren. Damit werden auch die Rückwirkungen auf das Stromversorgungssystem zunehmen. Im Niedrigexergiesektor bei Temperatu-

ren um die 21 °C kann der Wärmebedarf durch elektrische Wärmepumpen effizient gedeckt werden. Über die Nutzung zusätzlicher Wärmespeicher und die Gebäudemasse wird der Stromverbrauch der Wärmepumpen geregelt und an die Fluktuationen der EE-Einspeisung im Tagesbereich angepasst. Mittels ihrer Masse können Gebäude sowie Heizungspufferspeicher tägliche Lastspitzen ausgleichen und als thermischer Speicher dienen. Auch durch die Verbindung der Klimatisierung mit der Nutzung von Kältespeichern ergeben sich wichtige Synergien für das Gesamtsystem, da dadurch die heute wie zukünftig hohen Leistungsspitzen der Photovoltaik integriert werden können. Die Spitzenlasten der Kälteerzeugung können durch neue Regelsteuerungen je nach Gebäudeart um mehrere Stunden vorgezogen werden. Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen können durch neue Regelungsmöglichkeiten ähnlich wie Batterien netzdienlich arbeiten, ohne dass dabei der Komfortanspruch sinken muss.

## Konzept Strom-Wärme-System auf kommunaler Ebene

Die kommunale Energiewende stellt für Städte und Kommunen aus folgenden Gründen eine besondere Herausforderung dar:

- Die Transformation des Energiesystems ist ein langfristiger Prozess über voraussichtlich 30 bis 40 Jahre, kommunale Entwicklungsprojekte haben aber typischerweise deutlich kürzere Laufzeiten.



*SUN – Stadtwerke Union Nordhessen/ Städtische Werke AG, Kassel*

*Dr. Thorsten Ebert  
thorsten.ebert@kvg.de*

### Fraunhofer IWES

*Katharina Henke  
katharina.henke@iwes.fraunhofer.de*

### IdE/Uni Kassel

*Prof. Dr. Klaus Vajen  
vajen@uni-kassel.de*

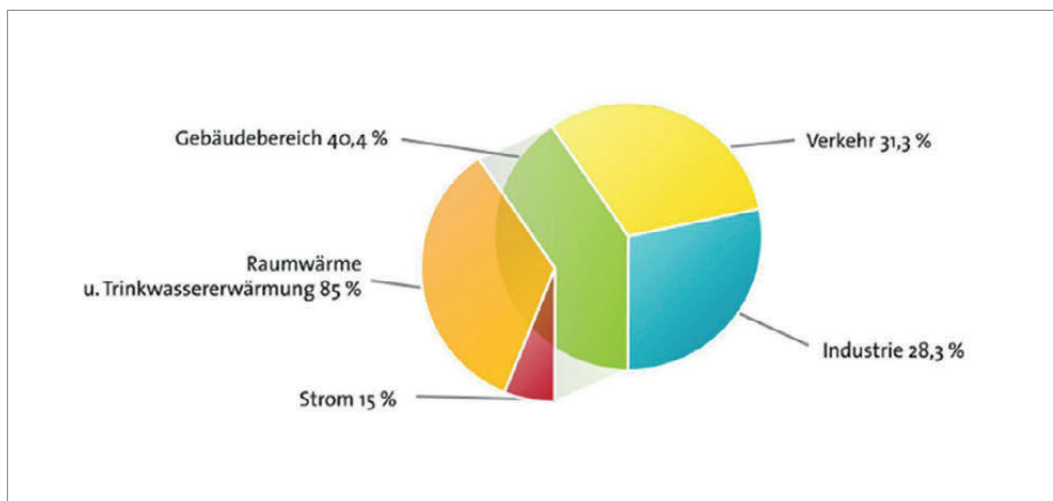
*Simon Csambor  
s.csambor@ide-kassel.de*

### Fraunhofer ISE

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

### Fraunhofer IBP

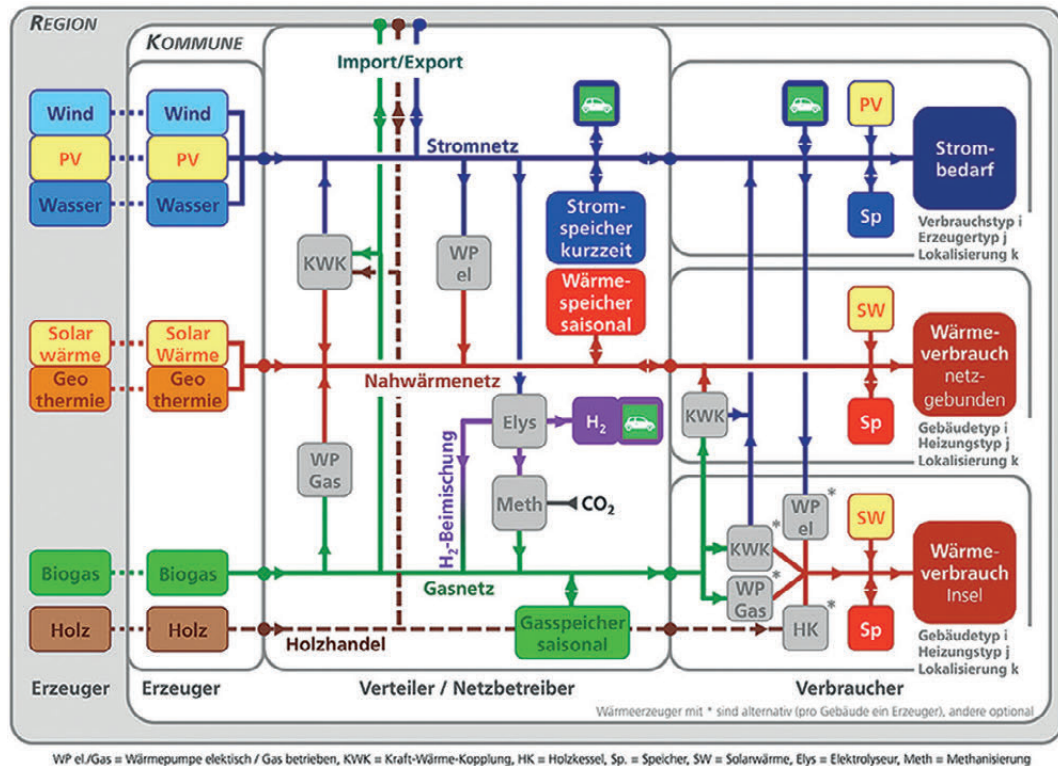
*Patrick Schumacher  
patrick.schumacher@ibp.fraunhofer.de*



*Abbildung 1*

**Endenergieverbrauch**  
Raumwärme und Trinkwassererwärmung haben einen Anteil von einem Drittel am Endenergieverbrauch.

Abbildung 2  
Kommunales Energiesystems mit 100 % EE.  
(Quelle: Fraunhofer ISE)



- In den meisten kommunalen Verwaltungen und Entscheidungsgremien ist nur eine begrenzte Kompetenz zu Energiefragen vorhanden, da die Verantwortung der Energieversorgung üblicherweise mit dem Konzessionsvertrag an Energieunternehmen weitergegeben wurde.
  - In der Fachwelt sind noch viele technologische und konzeptionelle Fragen zur Energiewende offen, was zu Verunsicherung über den richtigen Weg führt.
  - Die Transformation des Energiesystems umfasst viele Maßnahmen, auf deren Umsetzung die Kommunen keinen direkten Einfluss haben, z. B. die Dämmung von privaten Gebäuden. Dies erfordert einen klugen Maßnahmenmix aus Setzung von Rahmenbedingungen (fordern), fördern privater Investitionen, Aufklärung und Information (auch Pilotprojekte) sowie insbesondere eine kontinuierliche Motivation.
  - Die Umsetzung dieses langfristig angelegten Großprojektes ist nur bei einem breiten Konsens in Bürgerschaft und Wirtschaft erfolgversprechend, dementsprechend sind neue Partizipationsprozesse und Verfahren der Bürgerbeteiligung erforderlich für die Definition der Zielsetzung, für die Entwicklung des Fahrplans zur Umsetzung und für die Umsetzung selbst.
- Viele Städte und Kommunen in Deutschland und Europa haben sich energiepolitische Ziele gesetzt und deren Umsetzung in Angriff genommen. Einige wurden auf europäischer Ebene im »Concerto«-Programm und auf deutscher Ebene beispielsweise im »EnEff:Stadt«-Programm gefördert. Diese Pilotprojekte zeichnen sich meist durch großes Engagement der Beteiligten und individuelles Vorgehen aus. Individuell zugeschnittene Lösungsansätze sind angesichts der Vielfalt der Städte und Kommunen und ihrer Randbedingungen unverzichtbar, allerdings ist eine Systematisierung auf Basis der Erfahrungen sinnvoll, damit andere interessierte Städte und Kommunen künftig effizient und erfolgversprechend die Energiewende vor Ort umsetzen können.
- Es liegt nahe, dass die Transformation am besten gelingt, wenn die Zielsetzung klar definiert, ein Ziel-Energieszenario identifiziert und ein Maßnahmenfahrplan mit Beschreibung der zeitlichen Abfolge zur Erreichung des Ziel-Energieszenarios erarbeitet wird. Diese drei Schritte sollten jeweils von einem Partizipationsprozess begleitet und die Ergebnisse mit möglichst breiter Zustimmung von den kommunalen Entscheidungsgremien verabschiedet werden. Auf dieser Basis kann dann der Umsetzungsprozess fundiert gestartet werden. Eine regelmäßige Überprüfung der Umsetzung ist notwendig und muss etabliert werden, um den Erfolg zu messen und bei Bedarf Anpassungen des Fahrplans vornehmen zu können.

Auf diesem Weg bedarf es verschiedener Werkzeuge, um Ziel-Energieszenarien zu ermitteln und Umsetzungsmaßnahmen bezüglich ihrer Kosten, Umsetzungsaufwand, Relevanz, Erfolgswahrscheinlichkeit und Risiken bewerten zu können. Die bislang vorhandenen Ansätze müssen künftig weiterentwickelt und standardisiert werden. Die »Nationale Plattform Zukunftsstadt«, die im Frühjahr 2013 durch die Bundesregierung gegründet wurde und aktuell Forschungsfragenstellungen im Stadtkontext identifiziert, wird auch diese Aufgabenstellung beschreiben.

Nachhaltige kommunale Energiesysteme auf Basis erneuerbarer Energien, vor allem Wind und Sonne, erfordern eine enge Verzahnung der Sektoren Strom, Wärme, Kälte und Verkehr sowie die Integration von Speichern. Wichtig für das System ist die Definition der Zielsetzung, wie viel Energie über welchen Zeitraum lokal gespeichert und welcher Import und Export von Energie zugelassen werden soll.

In *Abbildung 2* ist das Grundkonzept eines kommunalen Energiesystems mit 100 % erneuerbaren Energien skizziert.

Auf der Basis dieses Konzeptes hat das Fraunhofer ISE das Simulationsprogramm »KomMod« in der Modellierungsumgebung AMPL entwickelt, das Ziel-Energieszenarien mit simultan gelösten Gleichungssystemen berechnet. »KomMod« steht für »Kommunales Energiesystemmodell«, das die zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Berechnung von Szenarien für Strom, Wärme, Kälte und lokalen Verkehr in einem hochintegrierten lokalen Energiesystem unter Berücksichtigung ihrer Interdependenzen ermöglicht. In Abhängigkeit der Zielvorgaben (z. B. in Bezug auf den Autarkiegrad), den erneuerbaren Energien-Ressourcen (lokal, regional und ggf. importiert), als auch der vorhandenen Lastkurven im Bereich Strom, Wärme, Kälte und Treibstoffe, werden alle möglichen Zielszenarien identifiziert und diese bezüglich der Kosten oder beispielsweise der CO<sub>2</sub>-Emissionen optimiert. Eine Bewertung der möglichen Szenarien sollte allerdings nicht nur durch die Simulation erfolgen, sondern sollte auch noch andere Kriterien wie z. B. die Robustheit berücksichtigen.

### Das Projekt Energiewende Nordhessen – technische und ökonomische Verknüpfung des regionalen Strom- und Wärme-marktes

Die Stadtwerke Union Nordhessen (SUN), das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) und das Institut dezentrale Energietechnologien (IdE) haben untersucht, wie die Transformation des Energieversorgungssystems in der SUN-Region gestaltet werden kann, die aus den drei eher ländlich geprägten Landkreisen Kassel,

Schwalm-Eder und Werra-Meißner sowie der kreisfreien Stadt Kassel besteht.

In einer vorangegangenen Studie wurden bereits Möglichkeiten zur Umstellung der Stromversorgung hin zu dezentralen, erneuerbaren Erzeugungstechnologien analysiert.

Zentrale Fragestellungen im aktuellen Projekt sind, wie auch die Wärme in Zukunft regenerativ bereitgestellt werden kann und welche Auswirkungen verschiedene Technologien zur Wärmeerzeugung auf den Wärme- und Strommarkt haben. Hierfür wurden aufbauend auf einer Bestandsanalyse die Potenziale zur regenerativen Wärmeerzeugung ermittelt und anschließend verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten der regionalen Wärmeerzeugung untersucht.

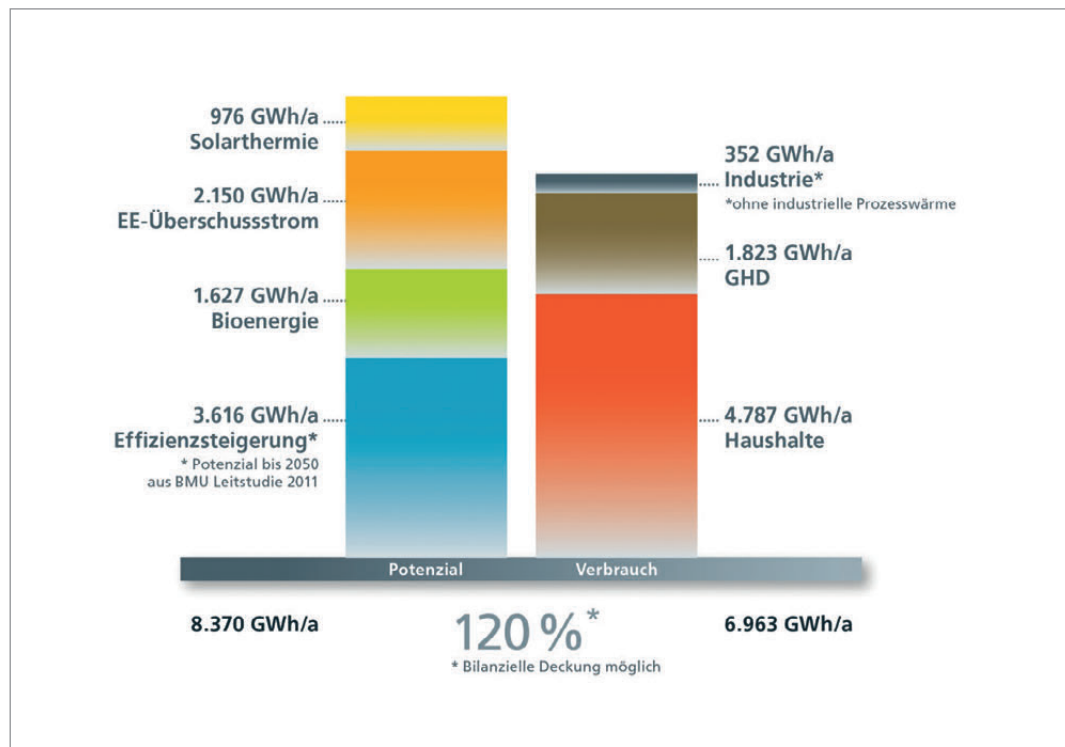
Für die Bestandsanalyse des Wärmemarktes in der SUN-Region wurde aufbauend auf kreisscharfen Daten zu Wärmeerzeugern die erzeugte Jahresmenge ermittelt und diese mit skalierten Daten von Bundes- und Landesstatistiken verglichen. In der Region besteht ein Wärmebedarf von rund 7.000 GWh im Jahr 2011 (ohne die Einbeziehung industrieller Prozesswärme). Der Anteil von EE an der Wärmeversorgung beträgt ca. 10 %, wovon Biomasse mit rund 9,2 % den größten Beitrag liefert.

Für die Ermittlung der Potenziale zur regenerativen Wärmeerzeugung wurde zunächst die mögliche Effizienzsteigerung bestimmt. Grundlage hierfür bilden die Annahmen in der BMU Leitstudie 2011 [5], nach denen bis 2050 eine Absenkung des bundesweiten Endenergieverbrauchs für die Wärmeerzeugung um ca. 45 % bezogen auf 2011 realisierbar ist. Insbesondere in der Raumwärmebereitstellung liegen durch Maßnahmen wie der energetischen Sanierung im Bestand oder dem Einsatz von Fern- und Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen erhebliche Effizienz- und Einsparungspotenziale. Zudem wurde die potenzielle Wärmeerzeugung aus Solarthermie, Bioenergie und EE-Überschussstrom ermittelt. Letzterer ergibt sich aus dem Szenario der Strommarkt-Studie (EEmax), in dem alle potenziellen Flächen zur EE-Stromerzeugung genutzt werden, abzüglich des Strombedarfs. Für die SUN-Region ergibt sich demnach ein jährliches Wärmeerzeugungspotenzial von ca. 120 % – ohne Berücksichtigung des industriellen Prozesswärmebedarfs (s. *Abbildung 3*).

Um zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten der regionalen Wärmeversorgung aufzuzeigen, wurden drei Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen zum EE-Ausbau definiert:

1. Business-as-usual-Szenario
  - Aktuelle Markttrends, technologische Entwicklungen und Modernisierungsraten für Heizsysteme werden für die zukünftige Entwicklung fortgeschrieben.

Abbildung 3  
**Wärmpotenziale**  
 decken Wärmebedarfe  
 im SUN-Gebiet



- 3% p. a. Modernisierungsrate der Wärmeerzeuger.
  - Wärmebedarf sinkt um 21%.
2. Beschleunigter EE-Ausbau (EEmax-Szenario)
    - Beschleunigte Modernisierung der Heiztechnologien (5% p. a.).
    - Anteil regenerativer Energieträger an Neuinstallationen im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario wird verdoppelt.
    - Wärmebedarf sinkt um 21%.
  3. Maximaler Ausbau von Wärmepumpen (WPmax-Szenario)
    - Deckung des Wärmebedarfs ausschließlich über Wärmepumpen unter der Annahme, dass zu einem unbestimmten Zeitpunkt der gesamte Gebäudebestand wärmedämmung ist (Wärmebedarf sinkt um ca. 50%).
    - Kopplung mit Stromerzeugung aus EEmax-Szenario aus der Teilstudie Strommarkt (alle Potenziale zur Stromerzeugung aus EE werden genutzt).

Die drei Szenarien wurden anschließend hinsichtlich ihrer EE-Anteile an der Wärmeversorgung und Auswirkungen auf den Strom- und Wärmemarkt analysiert und verglichen:

Im Business-as-usual-Szenario wird im Szenarijahren 2025 lediglich ein EE-Anteil von ca. 17% erreicht. Bei beschleunigtem EE-Ausbau kann der EE-Anteil auf ca. 28% erhöht werden.

Die Rückwirkung auf den Stromsektor wird im WPmax-Szenario aufbauend auf einer Zeitreihenanalyse untersucht. Hierzu wird eine wetterabhängige Zeitreihe generiert, die beschreibt, welche elektrische Leistung zu welcher Zeit für den Betrieb der Wärmepumpen und damit zur Wärmelastdeckung benötigt wird. Dieser Datensatz wird der Zeitreihe des Stromüberschusses aus dem EEmax-Szenario der Strommarkt-Studie gegenübergestellt.

Die Analyse ergibt, dass sich die Wärmeversorgung in diesem Szenario in die Bestandteile Umweltwärme (63%), regenerativ erzeugter Strom (14%) und konventionell erzeugter Strom (23%) aufteilt. Somit stammen zwar etwa 77% der Energie, die über Wärmepumpen erzeugt wird, aus regenerativen Quellen (Umweltwärme + EE-Strom), der verbleibende Anteil muss über regelbare, konventionelle Kraftwerke gedeckt werden.

Zusätzlich ergibt sich eine deutlich höhere Spitzenlast, da die Gebäude auch an sonnen- und windarmen, sehr kalten Tagen im Winter beheizt werden, so dass sich die maximale Stromlücke in der SUN-Region auf ca. 1000 MW<sub>el</sub> verdoppelt. Umgekehrt besteht an sonnen- und windreichen, etwas wärmeren Tagen nicht notwendigerweise Heizbedarf. Die maximalen Stromüberschüsse durch fluktuierende Energien verringern sich nach der Simulation um ca. 6%. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Wärmebedarf in Nordhessen aus dezentralen erneuerbaren Energien gedeckt werden kann (bis zu

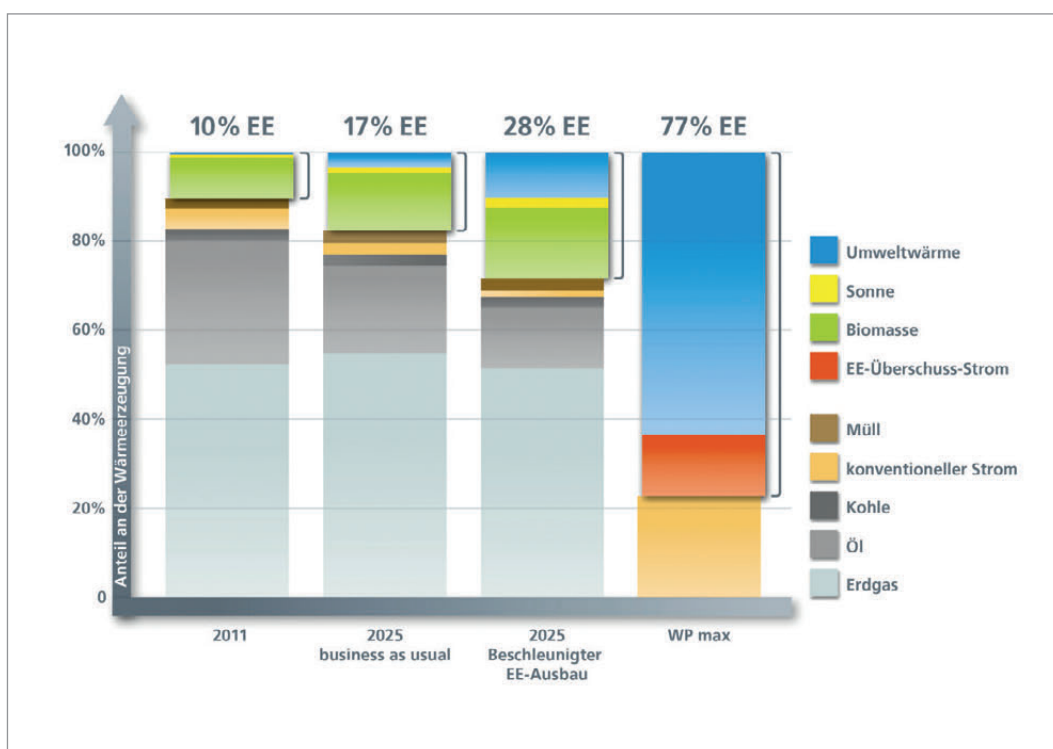


Abbildung 4

Szenarienvergleich

120%), wobei ein zentraler Baustein die Energieeinsparung ist.

Bei einer Fortschreibung der aktuellen Heizungsaustauschraten und der dabei bevorzugten Technologien würde eine zügige Transformation zu einer überwiegend erneuerbaren Energieversorgung nicht gelingen, da sowohl im Business-as-usual-Szenario als auch bei beschleunigtem EE-Ausbau die SUN-Region nur geringe EE-Anteile erreicht. Selbst bei einem maximalen Ausbau von Wind und Photovoltaik, würde nicht der gesamte Strom für Wärmepumpen regenerativ erzeugt (s. [Abbildung 4](#)).

### Fazit und Ausblick

Die Verknüpfung von Strom und Wärme leistet zwar einen Beitrag zur Transformation des Energiesystems, sie erhöht aber auch die Komplexität der Aufgabe. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Beschränkung auf eine Technologie zur Wärmeversorgung wie der Wärmepumpe aufgrund der negativen Auswirkungen auf den Stromsektor (wie der Erhöhung der Spitzenlast) nicht sinnvoll ist.

Die regionale Energiewende wird weiter Thema in Nordhessen sein. So sollen Anforderungen aus der Kopplung von Strom- und Wärmemarkt an die Wärmeversorgung und die sich daraus ergebende Frage nach einem sinnvollen Technologiemarkt untersucht werden. Außerdem wird im nächsten Schritt zusätz-

lich zum regionalen Strom- und Wärmemarkt auch die Energieversorgung des Verkehrsmarktes untersucht.

### Quellen

- [1] Energiekonzept 2050. für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin 2010.
- [2] Friedrich, M., Becker, D., Grondey, A., Lasowski, F., Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Hauser, G., Sager, C., Weber, H.: CO2 Gebäudereport 2007. Berlin 2007.
- [3] Wege in die moderne Energiewirtschaft. Ausbauprognose der Erneuerbare-Energien-Branche Teil 2: Wärmeversorgung 2020. Berlin 2009.
- [4] Energetische Modernisierung von Ein- und Mehrfamilienhäusern. Einsatz eines Wärmeübergabesystems in Verbindung mit einer Wärmepumpe. Köln 2011.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Leitstudie 2011 – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. März 2012.