KWK in der Wärmewende

Welche Perspektiven gibt es für die Kraft-Wärme-Kopplung?

Patrick Freialdenhoven, Armin Kraft und Mario Leisten

Wärmemarkt, Wärmewende, Kraft-Wärme-Kopplung, EEG, Flexibilisierung

Eine erfolgreiche Energiewende erfordert Anpassungen und Umstrukturierungen in den Sektoren Strom, Mobilität und Wärme. Da der Wärmesektor den größten Endversorgersektor abbildet, sind hier strukturelle Änderungen unerlässlich. KWK-Anlagen können hierzu einen wesentlichen Beitrag leisten, da sie im Strom- und Wärmesektor flexibel eingesetzt werden können. Es wird anhand einer Modellanalyse gezeigt, dass KWK-Anlagen auch bei weiter steigendem Anteil Erneuerbarer Energien netzdienliche Aufgaben erfüllen und einen Beitrag zur Kapazitätsvorhaltung leisten können. Notwendig ist dazu ein flexibler Einsatz insbesondere in Verbindung mit Wärmespeichern. Unter Berücksichtigung dieser Einsatzsatzmechanismen können sie auch in Zukunft eine wichtige Rolle in der Energie- und Wärmewende einnehmen.

CHP in the heat transition

A successful transition of the energy system requires adjustments and restructuring in the electricity, mobility and heat sectors. Due to the heat sector's importance as the largest end-user sector, structural changes are essential. Combined heat and power systems can contribute significantly due to their possibility of flexible use in the electricity and heating sectors. It is shown in a model-based analysis of heat and power demand patterns that CHP systems can fulfil grid-related tasks even with a continuously increasing share of renewable energies. The flexible use, especially in combination with heat storages is necessary. Considering these aspects they can play an important role in the future's energy system.

1. Ziele und Struktur der Energieversorgung

Der Energieverbrauch lässt sich in drei Sektoren gliedern: in den Strom-, den Mobilitäts- und den Wärmesektor. In der Vergangenheit wurde die Energiewende in Deutschland im Stromsektor weit vorangetrieben. Insbesondere das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) führte zu einem erheblichen Anstieg der Erneuerbaren Energien im Elektrizitätssektor.

Da der größte Endverbrauchssektor jedoch der Wärmesektor ist, sind zur Erreichung der Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen strukturelle Änderungen im Wärmemarkt unerlässlich.

Die Ziele sind ambitioniert: Bis zum Jahr 2050 soll der Anteil der Erneuerbaren Energien 80 % im Stromsektor und je 60 % im Verkehrs- und Wärmesektor betragen (**Bild 1**). Während im Strombereich aktuell rd. 36 % des Bedarfs bereits aus Erneuerbaren gedeckt wird, läuft der Ausbau der regenerativen Energien im Verkehrs- und Wärmesektor mit weitem Abstand hinterher.

Zwar existieren auch im Wärmemarkt gesetzliche Anforderungen (EnEV, EEWärmeG bzw. zukünftig Gebäudeenergiegesetz GEG) – dennoch hakt es bei der Umsetzung.

Bauliche Sanierungsmaßnahmen alleine können nur einen Teil der notwendigen Energieeinsparung beitragen und wirken aufgrund der langen Renovierungszyklen nur sehr langfristig. Erneuerbare Energien wie dezentrale Solarthermie- und Biomasseanlagen sind ebenfalls nur Einzelbausteine und nicht überall nutzbar, vor allem im stärker verdichteten städtischen Raum [1]. Isolierte technische Lösungen, wie die Nutzung von erneuerbarem (Überschuss-)strom als Power-to-Heat (P2H), bieten wiederum aufgrund der Netzstrukturen und der fehlenden Gleichzeitigkeit mit dem Heizwärmebedarf noch wenig Potenzial und sind unter den energiewirtschaftlichen

Rahmenbedingungen derzeit oft keine wirtschaftliche Option.

2. Wie kann also eine Wärmewende in Deutschland gelingen?

2.1 Wärmeinfrastruktur als Wärme-Plattform

Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen auf dem Wärmesektor kann nur gelingen, wenn verschiedene Technologien integriert werden. Zusätzlich zu den Erneuerbaren Energien ist die Nutzung des in Deutschland noch umfangreich vorhandenen Abwärmepotenzials mittelfristig unerlässlich. Zudem müssen auf der Stromseite in den nächsten Jahren auch mehrere GW wegfallende Kraftwerkskapazitäten ersetzt werden.

Wie aus **Bild 2** ersichtlich, können Wärmenetze in Kombination mit erweiterten Wärmespeichern bei entsprechendem Temperaturniveau viele der oben diskutierten Lösungsbausteine verbinden.

Die Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme eine sehr effiziente Verwendung der noch begrenzt verfügbaren fossilen Brennstoffe. Als Brückentechnologie für eine Wär-

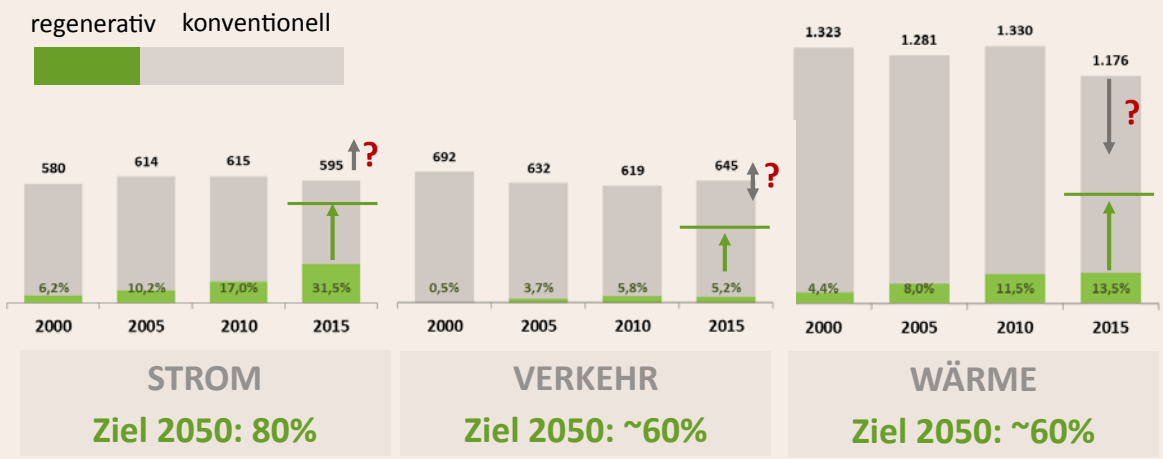

Bild 1: Aufteilung der Sektoralen Energiebilanz in TWh in Deutschland (Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland, BMWI)

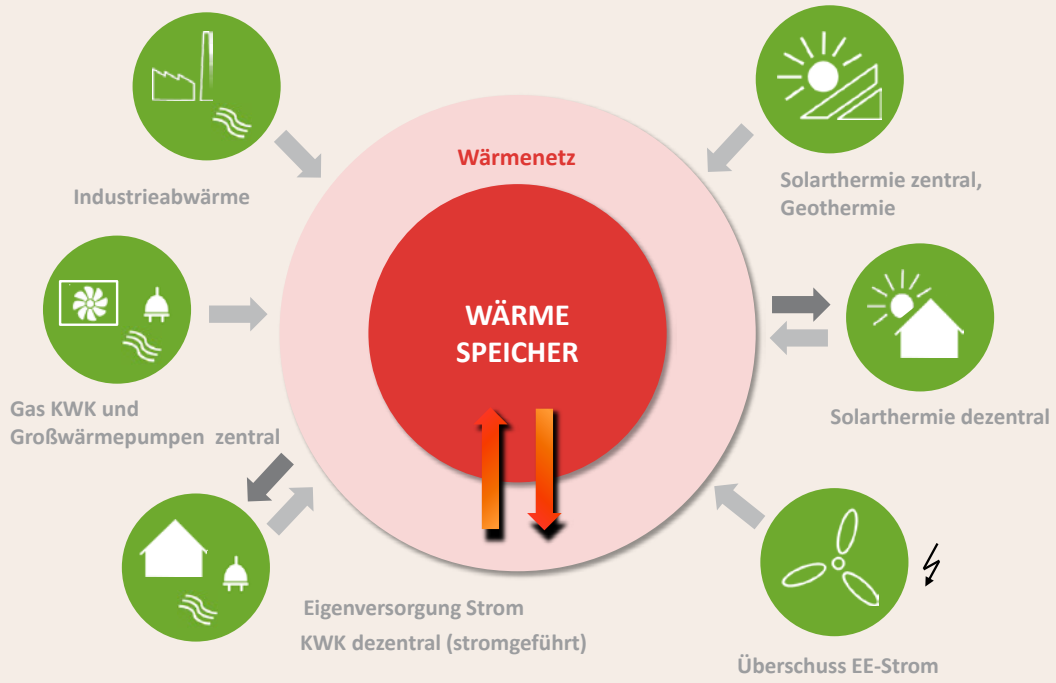

Bild 2: Zukünftige Wärmenetze

me- und Stromwende spielt diese Technologie auch in Zukunft noch eine wichtige Rolle.

Allerdings ist zur Erreichung der ambitionierten Ziele ein Umdenken im Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung erforderlich, um die Sektoren Elektrizität und Wärme in der Rolle des „Sektorenkopplers" zu verbinden.

2.2 Flexibilisierung von KWK-Anlagen

Der deutsche Strommarkt steht in mehrfacher Hinsicht vor einer weitgehenden Umstrukturierung: Zum einen werden bis 2022 die verbliebenen Kernkraftwerke stillgelegt, zum anderen wurde und wird über das EEG der Zubau regenerativer Stromerzeugung weiter vorangetrieben. In der Folge dieser Entwicklung und in Verbindung mit Überkapazitäten im konventionellen Bereich zeigte sich ein fortschreitender Verfall der Marktpreise für Strom. Diese Entwicklung kehrt sich nun allmählich wieder um, was durch die steigenden Preise am Großhandel für Strom und höhere CO_2-Preise seit 2017 erkennbar ist.

Vor diesem Hintergrund wird von Seiten der Politik der Ausbau von flexiblen Verbrauchern, Erzeugungs- und Speicheranlagen in Deutschland gefordert, z. B. im Weißbuch Strommarkt [2].

Konventionelle Kraftwerke im Grund- und Mittellastbereich wie auch KWK-Anlagen, die in der Vergangenheit in der Regel wärmegeführt betrieben wurden, müssen im sich wandelnden Strommarkt neue Einsatzstrategien finden, um noch positive Deckungsbeiträge zu erwirtschaften.

Bild 3 zeigt exemplarisch das Niveau der Spotmarktpreise im Jahr 2017 zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten. Es wird deutlich, dass die Strompreise in vielen Stunden sehr niedrig sind, vor allem in den Nachtstunden außerhalb der Heizperiode sowie nachmittags im Sommer. Umgekehrt treten in den Morgen- und Abendstunden sowie im Winter auch durchgehend Phasen höherer Strompreise auf.

Dies hat zur Folge, dass der lange Zeit übliche und angestrebte Einsatz von KWK-Anlagen in Zeiten der Grundlast i. d. R. nicht wirtschaftlich und nicht sinnvoll ist. Eine mögliche Lösung stellen flexible KWK-Anlagen wie große BHKW dar, die in Stunden hoher Strompreise bei gleichzeitig gegebenem Wärmebedarf in Betrieb sind.

Die Frage, wie sich die Relationen von Stromerzeugung, Residuallast und zeitgleicher Wärmenachfrage heute und in Zukunft darstellen, kann nur mittels Modellrechnungen beantwortet werden.

Zur quantitativen Bewertung ist in **Bild 4** die Korrelation zwischen residualer Stromlast nach Abzug der erneuerbaren Einspeisung in Deutschland und die zeitgleiche Wärmenetzlast des Fernwärmesektors dargestellt, sowohl für die heutige Erzeugungssituation als auch im Rahmen einer Szenarioprognose für das Jahr 2030. Die Residuallast wurde dabei aus den Daten des Verbandes Europäischer Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E zu Netzlast und erneuerbarer Einspeisung berechnet (Y-Achse). Die X-Achse stellt die aggregierte Wärmelast aller Wärmenetze in Deutschland dar mit in Summe 127 TWh. Diese wurde durch gewichtete Addition verschiedener, regional verteilter Einspeiselastgänge großer Fernwärmeversorger auf die Gesamtmenge gemäß Energiebilanz 2015 [3] hochgerechnet. Jeder Punkt in den Punktewolken stellt somit eines der 8.760 jährlichen Wertepaare der Korrelation Strombedarf <=> Wärmebedarf dar.

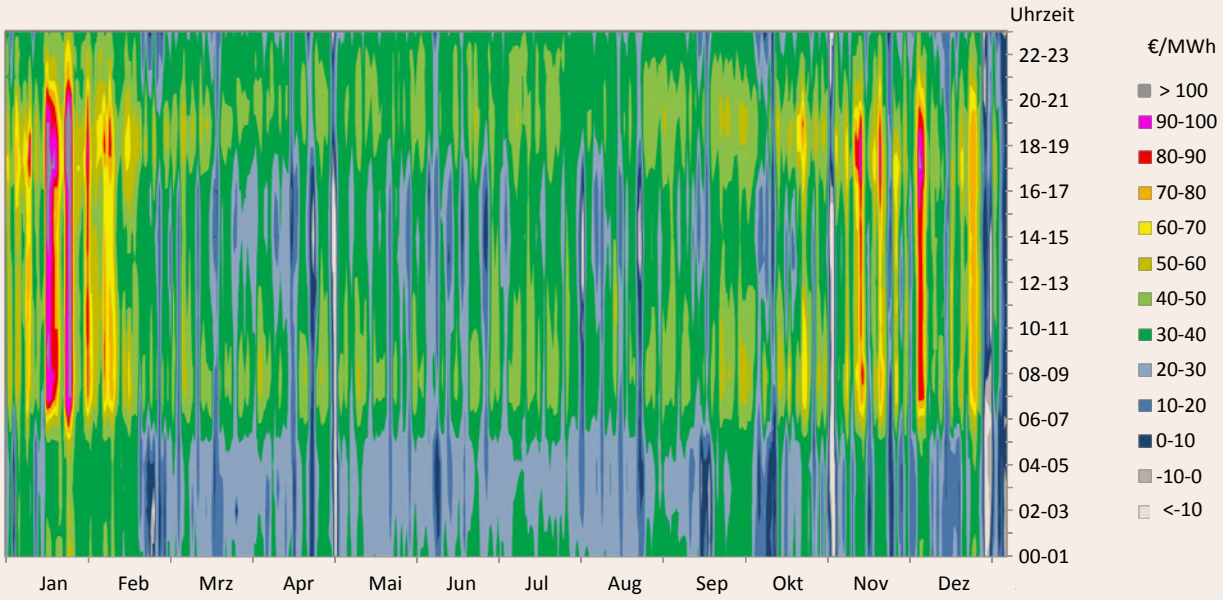

Bild 3: Börsenstrompreise im Jahr 2017 (Quelle: EPEX Spot)

Die Projektion 2030 wurde mittels der ENERKO-Strommarktmodellierung mit einem Fundamentalmodell des europäischen Strommarktes auf Basis des gleichen Wetterjahres aber bei entsprechend höherer EE-Erzeugung berechnet. Dabei wurde ein Ausbaupfad nach den heute aktuellen Zielmarken für den Anteil erneuerbarer Stromerzeugung zu Grunde gelegt.

Für die Entwicklung von Strom- und (Fern-)Wärmelast wurden im Wesentlichen konservative Annahmen einer weitgehend unveränderten Nachfrage unterstellt [4].

Die Auswertung zeigt anschaulich, wie Strom und Wärmenachfrage korrelieren und wie sich die Relationen durch den prognostizierten Wandel der Erzeugung verändern (**Tabelle 1**).

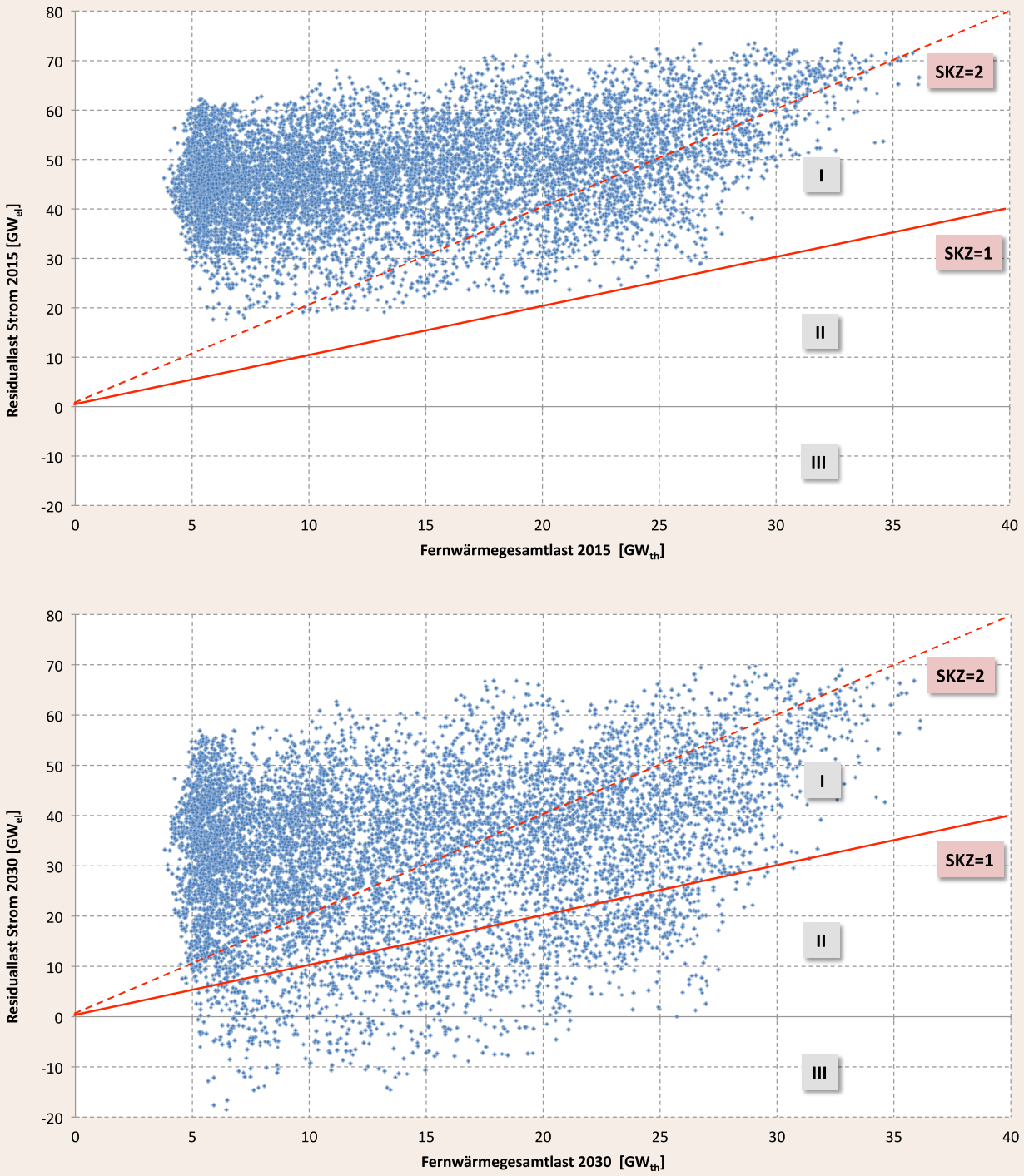

Bild 4: Elektrische Residuallast und zeitgleicher Fernwärmebedarf 2015 (oben) und 2030 (unten, Szenario) (Quelle: Eigene Berechnung, Basisdaten nach ENTSO-E)

Tabelle 1: Kennzahlen 2015 und Vergleich mit der Szenarioberechnung für das Jahr 2030

	2015	2030
Anteil EE	31,5%	50%
FW Bedarf	127 TWh	127 TWh
max. KWK-Deckungsanteil FW bei SKZ 1	100%	93%
Anzahl Stunden Bereich I	8.760	7.605
Anzahl Stunden Bereich II	0	941
Anzahl Stunden Bereich III	0	214
max. KWK-Deckungsanteil FW bei SKZ 2	97%	81%
Anzahl Stunden Bereich I	7.672	5.241
Anzahl Stunden Bereich II	1.088	3.305
Anzahl Stunden Bereich III	0	214

Zu erkennen sind drei charakteristische Systemzustände:

- **Bereich I – elektrischer Kapazitätsbedarf über Wärmenachfrage:** Die Wärmenachfrage könnte somit bei Annahme einer Stromkennzahl von 1 (Strom/Wärmeverhältnis, 1 ist ein üblicher Wert bei motorischen KWK-Anlagen und großen Gasturbinen) komplett mittels KWK gedeckt werden, die verbleibende Stromnachfrage muss dann mittels Spitzenlastkraftwerken, Stromspeichern oder über den Import gedeckt werden. Dieser Zustand kommt an 8.760 Stunden im Jahr 2015 vor und deckt somit das gesamte Jahr inklusive der Heizperiode ab.
  Auch bei einer Stromkennzahl von 2, die für große GuD-Anlagen charakteristisch ist, könnten aus KWK-Anlagen noch über 95 % des Gesamtfernwärmebedarfes ohne überschüssige Stromerzeugung gedeckt werden. In der Prognose für 2030 sinkt die Anzahl der Stunden auf 7.605 pro Jahr, es kann aber immer noch 93 % des Wärmebedarfes strommarktdienlich gedeckt werden.
- **Bereich II – positive Residuallast und somit ein Spitzenlastbedarf:** Der Spitzenlastbedarf liegt aber unter dem aggregierten Wärmebedarf. Eine vollständige KWK-Abdeckung der Wärmelast würde somit zu Stromüberschüssen führen, eine Teilabdeckung wäre aber möglich. Im Betrachtungsjahr 2015 trat dieser Systemzustand jedoch nie auf, in der Prognose 2030 jedoch immerhin an 941 Stunden (rd. 10 % des Jahres). Dadurch zeigt sich anschaulich, dass in der Vergangenheit der Grundlasteinsatz von KWK-Anlagen sinnvoll war, dieser Einsatz aber durch die Entwicklung der fluktuierenden Einspeisung an Bedeutung verlieren wird. Vor allem in der Heizperiode korrelieren Wärme- und Strombedarf aber auch in der Prognose noch recht deutlich.
- **Bereich III – Residuallast unter 0:** Dieser Zustand wird sich durch den Ausbau von Wind- und Solarerzeugung zwischen 2015 und 2030 weiter vergrößern – dann liegt die rechnerische Residuallast unter 0, eine zusätzliche fossile Erzeugung verliert somit in diesen Phasen zunehmend an Sinn, auch wenn sie hocheffizient in KWK-Anlagen erfolgt. Diese Zeiträume können und sollten für den umgekehrten Weg der Sektorenkopplung genutzt werden, nämlich die erweiterte Stromnutzung im Wärme- und Mobilitätssektor.
  Dieser Zustand wurde im Jahr 2015 noch nicht erreicht. In der Szenariorechnung 2030 steigt die Anzahl der Stunden negativer Residuallast deutlich an auf 214.

Auch wenn in dieser Betrachtung einige Vereinfachungen wie die Vernachlässigung von Netzengpässen („Kupferplatte") gemacht wurden, ist die Grunderkenntnis dennoch zulässig:

KWK-Erzeugung ist heute und mittelfristig eine sinnvolle und notwendige Ergänzung der erneuerbaren Stromerzeugung.

Wärmebedarf und Phasen niedriger EE-Erzeugung („Dunkelflaute") sind zwar nicht immer synchron, treten allerdings auch in Zukunft hinreichend oft zeitgleich auf, so dass ein hoher KWK-Anteil in der Wärmeversorgung nicht im Widerspruch zu einer gesamtwirtschaftlich sinnvollen Stromerzeugung steht.

Hinzu kommt die Tatsache, dass KWK-Anlagen regional breit gestreut sind und meist an verbrauchernahen Standorten errichtet sind.

3. Wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten der KWK in der Zukunft

Es bleibt natürlich abzuwarten, in welche Richtung sich der Strom- und Wärmebedarf entwickelt und wie der Ausbau der Erneuerbaren Energien voranschreitet.

Steigt der Stromverbrauch aufgrund einer Vielzahl neuer Verbraucher erheblich, ist sogar noch deutlich mehr Leistung notwendig, um die Versorgungssicherheit auch in Stunden geringer EE-Einspeisung zu gewährleisten. Das Einsatzfenster für KWK-Anlagen würde somit noch größer werden. In Zeiten negativer oder geringer Residuallast ist KWK Strom-Erzeugung allerdings zunehmend unsinnig und weder strommarkt- noch netzdienlich.

Eine Betriebsweise von KWK-Anlagen in Verbindung mit Wärmespeichern ist zweckmäßig und notwendig. Speicherkapazitäten für möglichst mehrere Tage sind hier zunehmend gefragt, um Schwankungen zwischen Wind und PV-starken Zeiten sowie „Dunkelflauten" auszugleichen und die KWK-Stromerzeugung entsprechend anzupassen.

Durch den Ausbau der Wärmespeicherkapazitäten können KWK-Anlagen auch in Zukunft wichtige Back-up-

Funktionen übernehmen, gerade auch im Sommer, wo sich die Residuallast zunehmend auf die Morgen- und Abendstunden konzentriert.

4. Fazit

Zum Erreichen der Klimaziele ist eine Energiewende auf dem Wärmesektor unerlässlich. Als Sektorenkoppler können KWK-Anlagen hierbei eine wichtige Rolle übernehmen. Aufgrund der volatilen Strompreise ist jedoch eine Flexibilisierung der Anlagen notwendig. Insbesondere gasgefeuerte KWK-Anlagen können diese Voraussetzung erfüllen.

Eine Flexibilisierung kann und muss auch durch den Einsatz von Wärmespeichern erfolgen. Hierbei wäre eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von großen Wärmespeichern (Mehrtagesspeichern) hilfreich. Zum optimalen Einsatz der Anlagen ist eine Anpassung der Förderinstrumentarien erforderlich. Denkbar wäre eine stärkere Belohnung der strommarktdienlichen Integration an Stelle der derzeit noch etwas pauschalen KWK-Förderung.

Unter Berücksichtigung der genannten Voraussetzungen und Maßnahmen kann die KWK auch mittelfristig einen wesentlichen Beitrag zur Wärmeversorgung bei gleichzeitiger Kapazitätsvorhaltung für den Strommarkt leisten.

Autoren

Patrick Freialdenhoven
EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH |
Aldenhoven |
Tel: +49 2464 971522 |
patrick.freialdenhoven@enerko.de

Dr. **Armin Kraft**
EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH |
Aldenhoven |
Tel: +49 2464 971537 |
armin.kraft@enerko.de

Mario Leisten
EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH |
Aldenhoven |
Tel.: +49 2464 971519 |
mario.leisten@enerko.de

Literatur

[1] EEB ENERKO, GERTEC GmbH: Klimaschutzteilkonzept Integrierte Wärmenutzung für die Stadt Essen, Essen 2018

[2] Strom 2030: Langfristige Trends – Aufgaben für die kommenden Jahre, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017

[3] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Energiebilanz 2015, www.ag-energiebilanzen.de

[4] Potenziale der Sektorkopplung und Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien im Wärmebereich in Sachsen-Anhalt, EEB ENERKO GmbH u. MITNETZ Strom, 2017

Anzeige

interCOGEN®
Die Kraft-Wärme-Kopplungs-Messe

27. - 28. Juni 2018
Messe Karlsruhe

- Aktuelle Rahmenbedingungen
- Geschäftsmodelle
- Flexibilisierung
- Digitalisierung

Parallelveranstaltungen:
CEB®
Die smarte Energie-Effizienz-Messe
WTT-Expo®
Die industrielle Wärme- und Kältetechnik-Messe