

Strom und Wärme aus einem Konzept – Teil 1

Symbiose von Blockheizkraftwerk und Wärmepumpe

Stand heute stehen uns viele unterschiedliche Technologien zur Verfügung, um die Energiewende positiv zu gestalten. Kommt es zu einer Verknüpfung, so können die entsprechenden Stärken weiter hervorgehoben und die Schwächen kompensiert werden. Ziel sollte es sein, das Dreieck aus Versorgungssicherheit, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit zu erfüllen.

TEXT: Dipl.-Ing. (FH) Lars Keller

Am Beispiel der Symbiose von Blockheizkraftwerk (BHKW) und Wärmepumpe kann dies mit einer optimierten Fahrweise, unter Einbeziehung von Wetterdaten, Bedarf und Marktsignalen, in der Praxis umgesetzt werden. Dieser zweiteilige Beitrag liefert einen Überblick zu den Grundlagen, erläutert Rahmenbedingungen zu Gesetzen und Förderangeboten und gibt Tipps zur Auslegung und Fahrweise.

Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung

Aus einem Kraftwerksprozess zur Stromerzeugung kann Wärme zum Beispiel zur Bereitstellung für eine Fernwärmeversorgung ausgekoppelt werden. Hierzu wird ein Teil des Dampfes in einen Heizkondensator geleitet, wo er seine Wärmeenergie an ein Heizwassernetz abgibt, anstatt über einen Kühlturm an die Umgebung. Unter dem Begriff Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die gleichzeitige Gewinnung von elektrischem Strom und Wärme für Heizzwecke verstanden. Ge-



Hochzeit von BHKW und Wärmepumpe. Foto: 2G Energy AG

genüber der konventionellen Stromerzeugung in einem Kraftwerk und der Wärme eines Heizkessels sparen KWK-Anlagen bis zu 40 Prozent Primärenergie. Zudem entsteht deutlich weniger Kohlendioxid (CO₂). Hinzu kommt, dass dezentrale KWK-Anlagen Wärme und Strom dort erzeugen, wo sie benötigt werden. Dadurch

kann ein Verringern der beim Stromtransport anfallenden Leitungsverluste festgestellt werden. Die kombinierte Strom- und Nutzwärmeproduktion gilt als eine der wirksamsten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Senkung der CO₂-Emissionen. Moderne KWK-Systeme ersetzen perspektivisch

Kohle-KWK-Kraftwerke, sichern die Strom- und Wärmeversorgung ab und unterstützen durch eine flexible und systemdienliche Fahrweise die Integration der erneuerbaren Energien. Bild 1 zeigt eine Gegenüberstellung von konventionellen Großkraftwerken (zentral) und einer dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung.

Unter Blockheizkraftwerken (BHKW)/ Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) versteht man Anlagen, die mittels Verbrennungsmotoren gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen. Die Stärke ist die Koppelproduktion von Strom und Wärme mit Verbesserung des thermodynamischen Prozesses mit Nutzung der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme und damit Ressourceneffizienz. Blockheizkraftwerke wurden oftmals durch Heizkessel ergänzt, die die Spitzenwärmeleistung erzeugen. Neuerdings findet eine Kombination von Wärmepumpe mit einem BHKW immer mehr Anwendung, die Fahrweise wird entsprechend angepasst. Die Fördervoraussetzungen spielen hier eine wichtige Rolle. Bei standardisierter Ausführung sind 90 °C Vorlauftemperatur möglich. Bei Einsatz von alternativen Wärmetauschern, Heißwasser mit Hochdruck, Heißdampf oder Thermalölen sind auch Temperaturen bis zu 200 °C erreichbar. Dieses Temperaturniveau ist ausreichend, um einen Großteil der Industrieprozesse in Deutschland zu realisieren. Der Entwurf der VDI 4646 „Anwendung von Großwärmepumpen“ gibt Auskunft über typische Temperaturbereiche für die Sektoren Lebensmittel & Getränke, Holz, Textilien, Metalle, Chemie & Pharma und Automobilindustrie.

Gesetzliche Pflicht zur Neuaufstellung der Wärmeversorgung

Der Einsatz von BHKWs und Wärmepumpen wird durch verschiedene gesetzliche Rahmenbedingungen beeinflusst:

BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude)

Dieses Programm fördert energieeffiziente Neubauten und Sanierungen, einschließlich der Installation von Wärmepumpen. Hierbei fördert das BMWK Investitionen in bestimmte Maßnahmen durch Zuschüsse oder zinsgünstige Kredite mit Tilgungszuschuss. Die aktuelle Förderung über das BEG kann abgerufen werden

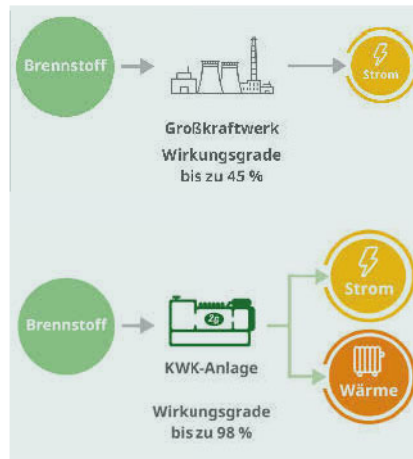


Bild 1: Gegenüberstellung zentraler Stromerzeugung ohne Wärmeausnutzung zu dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung mit Nutzung von Wärme und Strom. Grafik: 2G Energy AG

unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_em_foerderuebersicht.pdf?__blob=publicationFile&v=10

WPG (Wärmeplanungsgesetz)

Es regelt die kommunale Wärmeplanung und kann den Einsatz von BHKWs und Wärmepumpen in Wärmenetzen beeinflussen. Hier werden die Grundlagen für den klimaneutralen Umbau der Heizinfrastruktur gelegt. Es verpflichtet die Länder und Kommunen, konkrete Pläne zur Wärmeversorgung vorzulegen.

EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) 2023

Dieses Gesetz fördert die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und kann indirekt den Einsatz von BHKWs beeinflussen, insbesondere bei der voranschreitenden Flexibilisierung bestehender Biogasanlagen. Es regelt die Einspeisung und Vergütung von Strom aus erneuerbaren Energien.

KWK-G (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) 2023

Es fördert speziell die Kraft-Wärme-Kopplung und damit den Einsatz von BHKWs. Das Ziel ist somit, die Erhöhung des Anteils der Stromerzeugung aus KWK-Anlagen. Es definiert die Regelungen, die von der Abnahme von KWK-Strom bis zur Finanzierung der Zuschlagszahlungen reichen. Hier gibt es feste Zuschläge für die eingespeiste bezie-

hungsweise selbstverbrauchte elektrische Energie, das heißt diese Förderung wird über die Laufzeit der KWK verteilt und reduziert die Betriebskosten. Weiterhin erhalten KWK-Betreiber die Energiesteuer auf den Brennstoff teilweise erstattet.

Ebenfalls sind die Förderung innovativer KWK-Systeme und der Ausbau von Wärme- und Kältenetze im Fokus.

BEW (Bundesförderung für effiziente Wärmenetze)

Es werden finanzielle Anreize geschaffen, für Wärmenetzbetreiber in den Neubau von Wärmenetzen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu investieren und bestehende Netze zu dekarbonisieren. Es findet eine ganzheitliche Betrachtung der Wärmenetze statt. Die Förderung zielt darauf ab, die zeitaufwendige Umstellung bestehender Netze auf erneuerbare Energien und Abwärme und den Neubau vorwiegend erneuerbar gespeister Netze zuverlässig zu unterstützen. Eine Förderung wird gewährt, wenn mindestens 75 Prozent der Arbeit übers Jahr aus erneuerbaren Quellen stammen, hier punktet die Wärmepumpe.

Im Bereich der Wärmepumpe ist die Betrachtungsweise um die EU VE 2024/573 betreffend der Wahl des Kältemittels zu erweitern. Wird auf Wärmequellen Wasser und Erde zugegriffen, ist die untere Wasserbehörde beziehungsweise das Bergbauamt mit einzubeziehen. Wie beim BHKW sind die Vorgaben der TA-Lärm sind auch hier unbedingt einzuhalten, gleiches gilt für das Baurecht.

GEG-Vorgaben für erneuerbare Energien

Fällt die Anlage unter die Vorgaben des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), so schreibt dieses vor, dass mindestens 65 Prozent des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden müssen. Dies ist zum Beispiel der Fall bei neuinstallierten Heizungen in Neubauten innerhalb von Neubaugebieten. Verbindlich wird der Einbau von Heizungen mit 65 Prozent Erneuerbarer Energie in Großstädten mit mehr als 100 000 Einwohnern spätestens nach dem 30. Juni 2026. In kleineren Städten tritt die Regelung spätestens nach dem 30. Juni 2028 in Kraft.

Der Nachweis wird hier über den Deckungsanteil der Wärmepumpe geführt, da diese erzeugte Wärmemenge zu ▶



Bild 2: Kompakte BHKW-Zentrale. Foto: 2G Energy AG

100 Prozent als erneuerbare Energie angesehen wird. Beim BHKW ist dies nur der Fall, wenn der Brennstoff Biogas oder Wasserstoff ist. Wird Erdgas eingesetzt, so zählt die erzeugte Wärme nicht als regenerativ. Bei bivalent parallelem oder bivalent teilparallelem Betrieb hat der Leistungsanteil mindestens 30 Prozent der Heizlast, bei bivalent alternativem Betrieb mindestens 40 Prozent des von der Wärmepumpen-Hybridheizung versorgten Gebäudes oder Gebäudeteils zu sein. Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn die Leistung der Wärmepumpe beim Teillastpunkt A nach der DIN EN 14825 bei bivalent parallelem oder bivalent teilparallelem Betrieb mindestens 30 Prozent oder bei bivalent alternativem Betrieb mindestens 40 Prozent der Leistung des Spitzenlasterzeugers entspricht. In der Praxis bedeutet dies bei einer Heizlast von 100 kW, dass die Leistung der Wärmepumpe bei dem definierten Teillastpunkt A mindestens 30 beziehungsweise 40 kW zu betragen hat. Die Auslegung der Erzeuger hat nach dem spezifischen Lastprofil zu erfolgen.

Beeinflussung der Betriebsweise durch die Gesetzgebung

Es gibt direkte als auch indirekte Einflüsse auf die Betriebsweise durch unterschiedliche Gesetzgebungen. Das KWKG 2023 legt fest, dass die KWK-Zuschlags-

zahlungen für bis zu 30 000 VBh (Vollbenutzungsstunden) erfolgen, aber pro Jahr eine Obergrenze der geförderten VBh gilt (§ 8 (4) KWKG). Zum Beispiel werden maximal 4 000 VBh in 2024 und 3 500 VBh in 2025 gefördert; die förderfähigen VBh sinken auf 2 500 h im Jahr 2030. Das beeinflusst die Amortisation und dadurch indirekt die Betriebsweise, die in Zukunft stärker flexibilisiert werden muss. Das GEG 2024 hingegen wird die Kombination KWK und Wärmepumpe dahingehend in der Betriebsweise beeinflussen, als dass vorgegebene Deckungsanteile durch die Wärmepumpe zu erzielen sind. Weiterhin wird es durch das Energiewirtschaftsgesetz, das in Paragraph 41a die Stromanbieter zum Angebot von dynamischen Stromtarifen verpflichtet, einen höheren Bedarf an einer flexibleren Fahrweise geben.

Wärme oder stromgeführte Fahrweise – oder doch beide?

Die Betriebsweise von KWK und Wärmepumpe ist wärme- und/oder stromgeführt, je nachdem welche Anforderungen der Kunde hat. Bei der Wärmegeführter hat der Installateur als auch der Betreiber die Möglichkeit die Deckungsanteile an der Wärmeerzeugung entsprechend über Einstellungen zu beeinflussen. Bedingt durch die reduzierte Effizienz der Wärmepumpe bei niedrigen Außentemperaturen unterstützt

das BHKW im Winter verstärkt, um die höheren Heizsolltemperaturen kostengünstig bereitzustellen und einen hohen Stromverbrauch der Wärmepumpe zu reduzieren beziehungsweise zu decken. Bei höheren Außentemperaturen und hoher Leistungszahl ist die Wärmepumpe oftmals günstiger für die Wärmeversorgung, weshalb die Wärmepumpe dann vorrangig genutzt wird.

Unter Stromführung verstehen wir unterschiedliche Betriebsformen/-einstellungen: Es können einfache Schaltzeiten genutzt werden, um gezielt nur das BHKW oder nur die Wärmepumpe als auch die Kombination zu betreiben. Weiterhin kann mithilfe eines Leistungsmessgerätes das BHKW seine Leistung automatisch an den Objektverbrauch (einschließlich Wärmepumpe) anpassen, um einen maximalen Eigenverbrauch zu erzielen. Die Regelmöglichkeit vom BHKW ist mehrstufig oder stufenlos im Bereich von etwa 50 bis 100 Prozent, Wärmepumpen sind in der Regel von 25 bis 100 Prozent leistungsfähig. Ab Anfang 2025 kann auch anhand dynamischer Stromtarife eine Entscheidung getroffen werden, wie das Objekt am kostengünstigsten mit Strom und Wärme versorgt wird. Dadurch wird die Flexibilität des Systems maximal ausgenutzt, um weitere Ersparnisse beim Kunden zu erzielen.

Mittelspannungsrichtlinie mit Bezug auf BHKW als Erzeugungseinheit

Die Mittelspannungsrichtlinie, auch bekannt als VDE-AR-N 4110, ist eine technische Anschlussregel, die Anforderungen für den Anschluss und Betrieb von Erzeugungsanlagen, Speichern und Verbrauchsanlagen am Mittelspannungsnetz definiert. Sie ersetzt die frühere BDEW-Mittelspannungsrichtlinie und setzt die europäischen Vorgaben des Network Codes „Requirements for Generators“ (NC RfG) in nationales Recht für Deutschland um. Hauptziele der Richtlinie sind:

1. Festlegung technischer Standards für den Netzanschluss und -betrieb
2. Verbesserung der Netzstabilität im Inland
3. Vereinfachung und Beschleunigung von Netzanschlüssen

Für Blockheizkraftwerke (BHKW) und andere Erzeugungseinheiten gelten folgende wichtige Aspekte:

- Anwendungsbereich:** Die Richtlinie gilt für Erzeugungsanlagen ab einer bestimmten Leistung oder Anschlusslänge. Für Erzeugungsanlagen, bestehend entweder aus Typ 1 (zum Beispiel BHKW) oder Typ 2 (zum Beispiel PV-Anlage), ist eine vereinfachte Anlagenzertifizierung Typ A oder B im Bereich einer vereinbarten Anschlussleistung von 135 bis 950 kW verpflichtend. Eine Anlagenzertifizierung Typ C1 oder C2 ist bei einer vereinbarten Anschlusswirkleistung > 950 kW notwendig.
- Dynamische Netzstützung:** Bei Netzstörungen müssen BHKW die Spannung stützen. Die geforderten Tests sollen zeigen, dass moderne Aggregate bei einer Spannungsabsenkung auf bis zu 30 Prozent für mindestens 150 ms am Netz bleiben können, ohne sich von diesem zu trennen. Das BHKW darf sich erst nach Ablauf von zehn Minuten nach Fehlerklärung wieder vom Netz trennen.
- Blindleistungsbereitstellung:** BHKW müssen die geforderte Blindleistung bereitstellen, um zur Spannungshaltung im Netz beizutragen.
- Zertifizierung:** Anlagenbetreiber müssen ihre Erzeugungsanlagen gemäß der Richtlinie zertifiziert lassen. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit einem akkreditierten Anlagenzertifizierungsbüro. Für Erzeugungsanlagen ist eine Zertifizierung nach TR8 vorgesehen.
- Förderung:** Die Einhaltung der Richtlinie ist oft Voraussetzung für Förderungen nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG).

Die Mittelspannungsrichtlinie stellt sicher, dass BHKW oder andere Erzeugungseinheiten, welche im Sinne der Richtlinie zertifiziert und gebaut worden sind in der Kundenanlage als Erzeugungsanlage integriert werden. Dazu sind weitere Maßnahmen zu treffen, welche in der Richtlinie näher beschreiben worden sind. Die Erzeugungsanlagen, oftmals bestehend aus mehreren Erzeugungseinheiten, sollen einen Beitrag zur Netzstabilität leisten und gleichzeitig effizient betrieben werden können. Die Mittelspannungsrichtlinie erfordert von Herstellern der Erzeugungseinheiten und Betreibern eine Anpassung ihrer Erzeugungsanlagen an die neuen technischen Anforderungen, sollte es an Bestandsanlagen zu maßgeblichen Änderungen kommen. Für neue Erzeugungs-

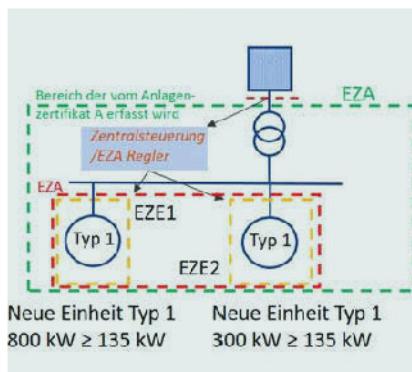


Bild 3: Beispielhafter Aufbau einer Erzeugungsanlage (EZA). Grafik: 2G Energy AG

anlagen ermöglicht die VDE-AR-N 4110 eine bessere Integration in das Stromnetz als die Vorgänger-Richtlinie.

Unterscheidung zwischen Erzeugungsanlage und Erzeugungseinheit

Eine Erzeugungsanlage (EZA) setzt sich in der VDE-AR-N-4110 zusammen aus mindestens einer Erzeugungseinheit (EZE), einem EZA-Regler und einem übergeordnetem Entkopplungsschutz. Dabei kann eine EZA auch aus mehreren EZE jeweils vom Typ 1 oder Typ 2 bestehen. Eine Mischung innerhalb einer EZA der beiden Einheitentypen ist nicht möglich. Der sogenannte EZA-Regler steuert die unterschiedlichen EZE an und versorgt diese mit verschiedensten Vorgaben vom Netzbetreiber oder dem Kunden selbst. Der übergeordnete Entkopplungsschutz, bestehend aus Leistungsschalter und Schutzgerät, kann die ganze EZA mit allen zur Anlage gehörenden EZE abschalten.

Bild 3 zeigt einen beispielhaften Aufbau einer EZA. Die EZA, hier in Rot gekennzeichnet, umschließt die zwei EZE (gelb) und macht diese damit zu einer Gesamtanlage. Diese EZA wird, wie oben bereits beschrieben, mit einer Zentralsteuerung/EZA-Regler ausgestattet. Alle Komponenten, welche sich in der Grafik im grünen Bereich befinden, werden im Anlagenzertifikat begutachtet, bewertet und bei Konformität zertifiziert als eine Erzeugungsanlage nach VDE-AR-N-4110.

Kennzahlen bei Kraft-Wärme-Kopplung

Um ein KWK-System bewerten zu können, sind Kennzahlen unabdinglich. Wichtige Kennzahlen zur Beschreibung der

Energieausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung sind folgende:

Stromkennzahl

$$\sigma = \frac{P_{el}}{Q_N}$$

Stromausbeute

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{Q_B}$$

Über die Stromausbeute/elektrischen Wirkungsgrad kann dann der Gasverbrauch ermittelt werden.

Thermischer Wirkungsgrad

$$\eta_{th} = \frac{Q_N}{Q_B}$$

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{ges} = \frac{P_{el} + Q_N}{Q_B}$$

P_{el} = elektrische Arbeit
 Q_B = Primärenergie Brennstoff
 Q_N = Nutzwärme

Der Gesamtwirkungsgrad setzt sich aus dem Wirkungsgrad der elektrischen und der thermischen Energieerzeugung zusammen. Dabei wird die genutzte Energie aus dem Gas in Relation zur erzeugten Energie gesetzt. ■

FORTSETZUNG FOLGT

Der zweite Teil 2 dieses Beitrags erscheint in der HLH-Ausgabe 01-02/2025.

Dipl.-Ing. (FH)
Lars Keller

ist Fachbuchautor sowie Sachkundiger für Wärmepumpensysteme nach VDI 4645. Er verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Projektierung und dem Vertrieb von Kälte- und Klimaanlagen und Wärmepumpen.
Foto: Sebastian Beck

