

# Hochzeit von Blockheizkraftwerk und Wärmepumpe

## Strom und Wärme aus einem Konzept

Lars Keller,  
Freier Autor TGA,  
Poing

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. Am Beispiel der Symbiose von BHKW und Wärmepumpe kann dies mit einer optimierten Fahrweise, unter Berücksichtigung von Wetterdaten, Bedarf und Marktsignalen in der Praxis umgesetzt werden.



Hochzeit von BHKW und Wärmepumpe

### Grundlagen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Unter dem Begriff Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die gleichzeitige Gewinnung von elektrischem Strom und Wärme für Heizzwecke verstanden. Gegenüber der konventionellen Stromerzeugung in einem

Kraftwerk und der Wärme eines Heizkessels sparen KWK-Anlagen bis zu 40 % Primärenergie und es entsteht deutlich weniger Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Hinzu kommt, dass dezentrale KWK-Anlagen Wärme und Strom dort erzeugen, wo sie benötigt werden. Dadurch verringern sich die beim Strom-

transport anfallenden Leitungsverluste. Die kombinierte Strom- und Nutzwärmeherstellung gilt als eine der wirksamsten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Moderne KWK-Systeme ersetzen perspektivisch Kohle-KWK-Kraftwerke, si-



Bild: 2G Energy AG

**Bild 1:** Gegenüberstellung zentraler Stromerzeugung ohne Wärmeausnutzung zu dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung mit Nutzung von Wärme und Strom

chern 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), also kleinen 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, d.h. die Verbesserung des thermodynamischen Prozesses durch die Nutzung der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme und damit die Ressourceneffizienz des Gesamtsystems. Blockheizkraftwerke wurden oftmals durch Heizkessel ergänzt, die die Spitzenwärmelast abdeckten. Neuerdings findet eine Kombination von Wärmepumpe mit einem BHKW immer mehr Anwendung; die Fahrweise wird entsprechend angepasst.

Bei standardisierter Ausführung sind 90 °C Vorlauftemperatur möglich. Beim Einsatz von alternativen Wärmeübertragern, 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)
- › WPG (Wärmeplanungsgesetz)
- › EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
- › KWKG 2023 (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)
- › BEW 2023 (Bundesförderung für effiziente Wärmenetze)

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 bzw. das Bergbauamt mit einzubeziehen. Wie beim BHKW sind die Vorgaben der TA-Lärm auch hier unbedingt einzuhalten; gleiches gilt für das Baurecht.

**GEG-Vorgaben für erneuerbare Energien**

Fällt die Anlage unter die Vorgaben des Gebäudeenergiegesetz (GEG), so schreibt dieses vor, dass mindestens 65 % des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden müssen. Dies ist z.B. der Fall bei neuinstallierten Heizungen in Neubauten innerhalb von Neubaugebieten. Verbindlich wird der Einbau von Heizungen mit 65 % Erneuerbarer Energie in Großstädten mit mehr als 100.000 Einwohnern spätestens nach dem 30.06.2026. In kleineren Städten tritt die Regelung spätestens nach dem 30.06.2028 in Kraft.

Der Nachweis wird hier über den Deckungsanteil der Wärmepumpe geführt, da die von der Wärmepumpe erzeugte Wärmemenge zu 100 % 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, das die Leistung der Wärmepumpe bei dem definierten Teillastpunkt A mindestens 30 bzw. 40 kW zu betragen hat. Die Auslegung der Erzeuger hat nach dem spezifischen Lastprofil zu erfolgen.

**Beeinflussung der Betriebsweise durch die Gesetzgebung**

Es gibt sowohl direkte als auch indirekte Einflüsse auf die Betriebsweise durch unterschiedliche Gesetzgebungen. Das GEG 2024 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 § 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 Wärmeübertragung hat sowohl der Installateur als auch der Betreiber die Möglichkeit die Deckungsanteile an der Wärmeerzeugung über entsprechende Einstellungen zu beeinflussen. Bedingt durch die reduzierte Effizienz der Wärmepumpe bei niedrigen Außentemperaturen unter-

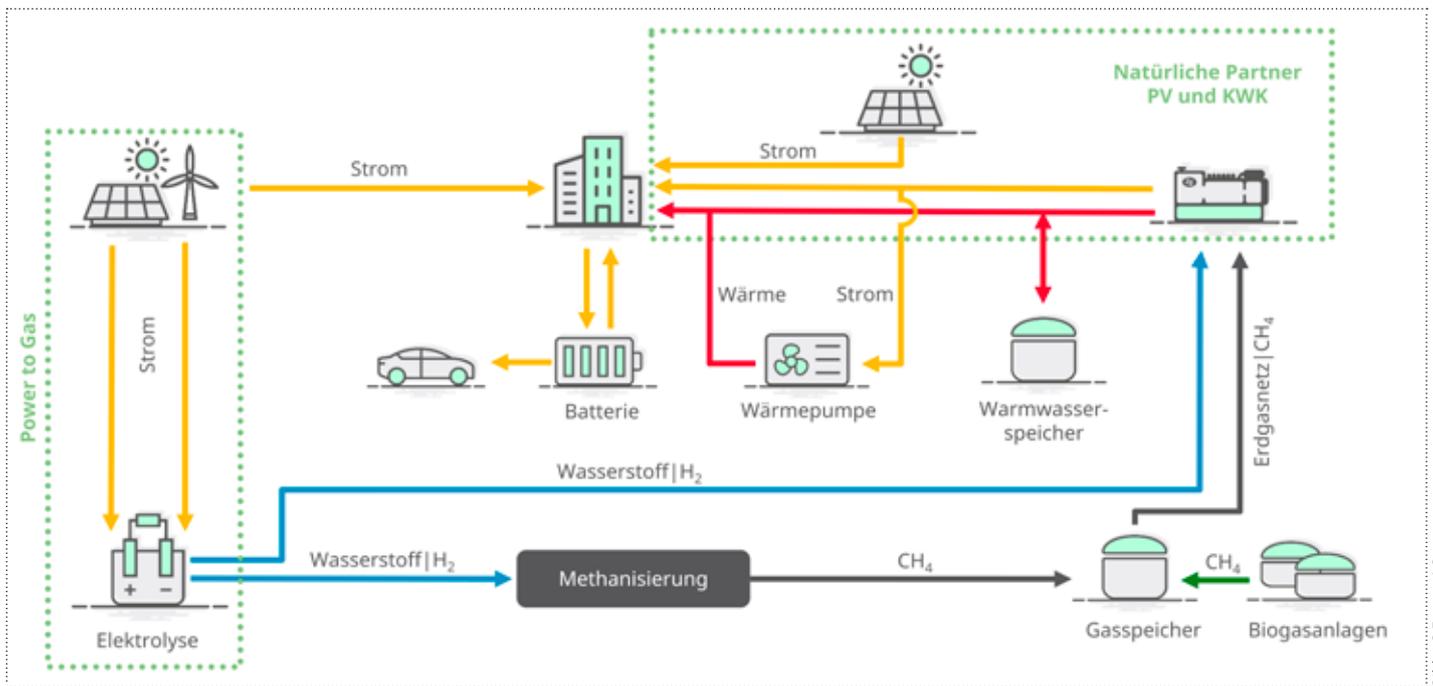


Bild 2: Zukunftsfähige, resiliente Sektorenkopplung

stützt das BHKW im Winter verstärkt, um die höheren Heizsolltemperaturen kostengünstig bereitzustellen und einen hohen Stromverbrauch der Wärmepumpe zu reduzieren bzw. 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 versteht man 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 erreichen. Die Regelmöglichkeit des BHKW ist mehrstufig oder stufenlos im Bereich von ca. 50-100 %, während die Leistung Wärmepumpen in der Regel von 25-100 % regelbar ist. 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.

**Bewertungskriterien – Kennzahlen bei Kraft-Wärme-Kopplung**

Um ein KWK-System bewerten zu können, sind Kennzahlen erforderlich. Wichtige

Kenndaten 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 bzw. den 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.

**Unterscheidungsmerkmale von Blockheizkraftwerken**

BHKWs haben verschiedene Unterscheidungsmerkmale. Der Brennstoff ist hier ein wichtiger Punkt. Der Betrieb kann mit Erdgas, Heizöl oder alternativen Brennstoffen wie Biogas, Klärgas oder Deponiegas erfolgen. Aufgrund des Wandels in der Energie- und Umweltpolitik sind zukunfts-fähige BHKWs wasserstoff-fähig. Ein weiteres Kriterium ist die elektrische Leistung und somit auch indirekt die mögliche thermische Leistung. Teils findet eine Kategorisierung als Mikro-KWK (< 2 kW<sub>el</sub>), Mini-KWK (2-50 kW<sub>el</sub>), Klein-KWK (50 kW<sub>el</sub> bis 2 MW<sub>el</sub>) oder Groß-KWK (ab 2 MW<sub>el</sub>) statt. Außerdem gibt es unterschiedliche Motorkonfigurationen, was jedoch im Verantwortungsbereich des Herstellers liegt. Zudem wird der elektrische Wirkungsgrad bei größeren Motoren tendenziell immer größer. Dies liegt darin begründet, dass die vorhandene Reibleistung bei der Verbrennung im Motor bei kleineren Motoren relativ gesehen stärker durchschlägt als bei Motoren mit größeren Brennräumen / Hubräumen.

**Dezentrale KWK Anlagen als Lösung**

Betreiber wären durchaus bereit den Mehrpreis für (noch) teuren Wasserstoff zu zahlen. Allerdings müsste dann das Strommarktdesign entsprechend ausgestaltet werden, dass diese gesicherte Leistung auch gewürdigt wird. Die aktuellen Rahmenbedingungen des EEG bzw. KWKG

lassen eine Wirtschaftlichkeit noch nicht in der Form zu, wie es sein müsste. Stattdessen konzentriert sich die Politik auf die Ausschreibung von großen Kraftwerken. Diese Strategie gilt es aus Sicht des Autors zu überdenken, ob nicht viele kleinere bis mittlere dezentrale KWK Anlagen – durch Wirtschaftsunternehmen finanziert und betrieben – die geeignetere Wahl sein könnten. Laut Branchenauskunft ist ein Zubau von 6 GW jährlich möglich; eine Entlastung des Stromnetzes wäre die Folge. Somit hätten wir bereits in nur vier Jahren von heute an die gemäß Bundesnetzagentur erforderliche Kapazität hinzugebaut – das ganze zudem hocheffizient und mit grünen Treibstoffen komplett klimaneutral. Wie eine resiliente Sektorenkopplung mit Wasserstoff in der Zukunft aussehen könnte, zeigt Bild 2.

**Vom Dauerläufer zum Sprinter – Optimierte Fahrweise einer zukunftsfähigen Energiezentrale**

Ein BHKW ist ein Arbeitstier und kann die Grundlastdeckung übernehmen. Jährliche Laufzeiten von größer 5.000 Stunden sind dabei keine Seltenheit. Ähnlich einem PKW mit Verbrennungsmotor sind auch beim BHKW feste Wartungsintervalle mit vorgeschriebenen Servicearbeiten einzuhalten. Je nach Motor sind Wartungsintervalle etwa alle 2.000 Betriebsstunden durchzuführen. Bei regelmäßiger Wartung erzielen BHKW-Motoren eine Lebensdauer von zehn bis 20 Jahren.

Mit Bezug auf die aktuelle Situation betreffend Zeiten reduzierter Stromerzeugung, volatiler Strompreise und definierter Förderlandschaft, u.a. durch das KWKG 2023, wird jedoch eine andere Fahrweise empfohlen. Um diese optimierte Fahrweise umzusetzen, ist eine Gesamtbetrachtung der Energiezentrale notwendig. Als weiterer Wärmeerzeuger wird hier, nicht wie oft in der Vergangenheit ein Gaskessel, sondern eine effiziente Großwärmepumpe eingesetzt. Laut GEG ist jede kWh erzeugte Wärme durch eine Wärmepumpe als 100 % regenerativ anzusehen. Dies ist ein wichtiges Bauteil, um die Dekarbonisierungsziele der Unternehmen umzusetzen. Eine zukunftsfähiges KWK-Wärmepumpenkonzept besteht somit aus einer KWK-Anlage, einer Wärmepumpe, einem ausreichend groß dimensionierten thermischen Pufferspeicher und einer übergeordneten Steuerung & Regelung. Diese

Komponenten laden und entladen dann optimiert das Wärme- und Stromnetz, siehe Bild 3.

Mit dieser Komponentenkonstellation wird empfohlen, das BHKW nicht mehr wärmegeführt, sondern strommarktgeführt zu betreiben. Die Betriebszeiten passen sich flexibel an den Bedarf und somit an die Marktpreise von Strom an. Steht ausreichend Strom im Netz zur Verfügung, so wird der Wärmebedarf über die Wärmepumpe erbracht; der notwendige Strom wird zugekauft. Das anderslautende Szenario ist, aufgrund hoher Nachfrage und geringerer Strom-Erzeugungsleistung bzw. hoher -Erzeugungskosten (netzseitig), dass dann das Blockheizkraftwerk Strom und Wärme erzeugt. Der Begriff Residuallast beschreibt den Teil des Stromverbrauchs in Deutschland, der nach Abzug der Einspeisung von fluktuierenden Erneuerbaren Energien ins Stromnetz übrig ist. Es geht also um den Restbedarf an Strom, der nicht durch Wind- und Solarenergie abgedeckt werden kann. Durch den Betrieb dezentraler BHKWs findet eine Reduzierung dieser Residuallast statt. Der Strom wird dann dank hoher Marktpreise gewinnbringend verkauft. Durch die

Kombination von KWK und Wärmepumpe kann immer flexible und schnell auf die jeweilige Marktsituation reagiert werden. Die Anforderungen an die Steuerung sind sehr hoch: Mit PV-Anlage, Wärmepumpe, Speicherlösungen und weiter möglichen Erzeugern sind zunehmend mehr Komponenten zu integrieren. Gleichzeitig hat eine netzdienliche Steuerung der Gesamtanlage Priorität. Die Fahrweise ist vorausschauend auf Netz- und Marktsignale zu optimieren, dies ist nur durch eine Vernetzung möglich. Durch die Implementierung von KI kann davon ausgegangen werden, dass die Prozesse durch akkurate Datenverarbeitung von Wetter, Bedarf und Marktpreisen kontinuierlich verbessert werden.

**Kostendarstellung Kombi BHKW und Wärmepumpe (Praxisbeispiel)**

Die Investitionskosten für ein BHKW/WP-System sind höher als für ein konventionelles Heizsystem. Jedoch amortisiert sich die Investition durch:

- › Reduzierte Energiekosten
- › Einnahmen aus Stromeinspeisung
- › Staatliche Förderungen für effiziente Technologien

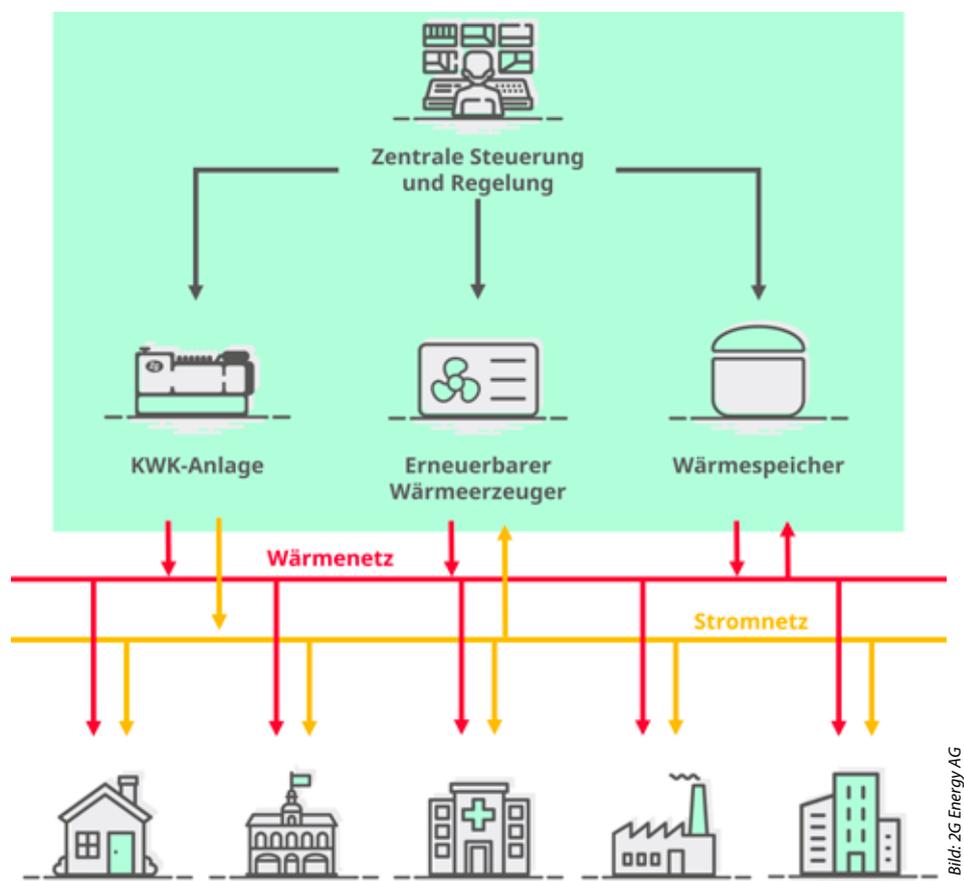
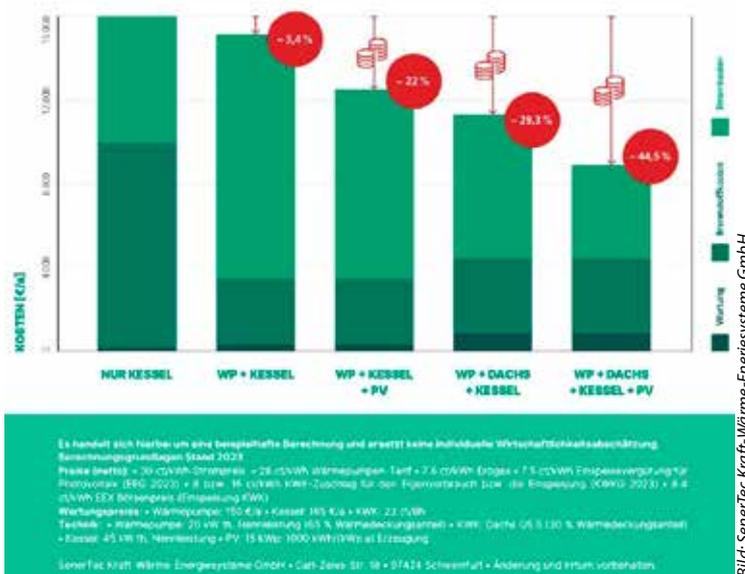


Bild 3: Elektrische und thermische Energieflüsse einer zukunftsfähigen KWK – Wärmepumpen-Energiezentrale

Bild: 2G Energy AG



**Bild 4: Betriebskosten unterschiedlicher Systeme für einen Gewerbebetrieb mit 100.000 kWh/a Wärmebedarf und 20.000 kWh/a Strombedarf**

Bild: JanerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH

Die baulichen Maßnahmen sind breit gestreut und lassen sich nicht pauschal preislich benennen. Dennoch kann für die Installation einer KWK ca. 15-20 % der Investitionskosten und für die Wärmepumpe aufgrund der Außenaufstellung und der örtlichen Gegebenheiten (Fundament, Länge der Leitungen, Schallschutz, Sicherheitsvorkehrungen gegen Vandalismus etc.) zwischen 30-50 % der Investitionskosten gerechnet werden. Ein Brennwertkessel ist in der Investition (=Produktpreis) günstig und liegt bei weiteren Kosten für die Installation bei ca. 10-15 % der Investition. Die hydraulischen Anforderungen sind bei einem Hybrid aus KWK + Wärmepumpe (+ Kessel) im Vergleich zu einem Hybrid aus Kessel + Wärmepumpe in den Kosten geringfügig höher.

Im Vergleich zu einem Hybridsystem aus Gasbrennwertkessel und Wärmepumpe erreicht ein Hybrid aus KWK + Wärmepumpe (+ Kessel) nennenswerte Einsparungen. Begründet liegt dies in den aktuellen gesetzlichen und marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen durch den eigenerzeugten Strom, der den Zukauf vom Strom aus dem Netz reduziert und sowohl beim Einspeisen als auch beim Selbstverbrauch eine Vergütung erzielt. Nachfolgend finden Sie dazu einen Vergleich, der die Betriebskosten und die Einsparung gegenüberstellt. Die Gas- und Wartungskosten steigen bei Nutzung einer KWK, jedoch werden hier die Vergütungen der Stromseite angerechnet. In Kombination mit einer PV können weitere Potentiale für eine Kostenoptimierung und Autarkie erschlossen werden. Bild 4 stellt beispielhaft die Betriebskosten der unterschiedlichen Systeme für einen

Gewerbebetrieb mit 100.000 kWh/a Wärmebedarf und 20.000 kWh/a Strombedarf.

### Überdimensionierte Pufferspeicher bei der Wärmequelle und Wärmesenke

Beim Betrieb eines BHKW fällt Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau an. Diese Abwärme wurde in der Vergangenheit oft über Tischrückkühler oder Kühltürme ohne weiteren Energie-Entzug an die Umwelt abgegeben. Neue, energieoptimierte Konzepte sehen vor, diese Wärme in einem Solewärmespeicher als Wärmequelle zu nutzen. Je nach Projektierung, steht somit ein konstantes Temperaturniveau von 20-30 °C zur Verfügung; mit Hilfe der Wärmepumpe wird die Wärmesenke mit Vorlauftemperaturen bis zu 90 °C versorgt.

Bei der Wahl des Kältemittels ist neben den ökonomischen und ökologischen Aspekten unbedingt das Betriebsfenster mit den maximalen Verflüssigungstemperaturen zu betrachten. Auf der Abnehmerseite ist ein überdimensionierter Pufferspeicher zu installieren, dadurch ist eine zeitliche Kompensation zwischen Erzeugung und Abnahme möglich; Spitzen können bei Bedarf geglättet werden. Die Dimensionierung des Pufferspeichers sollte eine Deckung des Wärmebedarfs über acht Stunden gewährleisten.

Wie genau die Kombination aus Größe der Wärmepumpe und Größe des BHKW aussieht, ist in hohem Maße abhängig von den Stromerlöspotentialen auf der einen sowie Höhe und Verlauf des Wärmebedarfs auf der anderen Seite. Besonders im Hinblick auf

das BHKW gibt es zwei grundsätzlich mögliche Varianten, nach denen die Auslegung erfolgen kann:

Der Kunde steht vor der Wahl ein tendenziell eher kleineres BHKW zu integrieren, wodurch sich die Investitions- und Genehmigungskosten reduzieren lassen – allerdings nur wenig Erlöspotential am Strommarkt besteht. Auf der anderen Seite steht die Installation eines größeren, teureren BHKW mit größerem Wärmespeicher und erhöhten Genehmigungspflichten – aber auch deutlich höheren Potentialen bei der Stromvermarktung. Hier gilt es, jedes Projekt individuell zu kalkulieren und entsprechend auszuliegen.

### Auswirkung bei Preisänderungen von Primärenergien

Die Auswirkungen von Preisänderungen bei Primärenergien auf die Kosten von BHKW und Wärmepumpen sind unterschiedlich. BHKWs sind stärker von Schwankungen der Brennstoffpreise betroffen. Sie benötigen kontinuierlich Brennstoffe wie Erdgas, Biogas oder Wasserstoff für den Betrieb. Steigende Gaspreise erhöhen direkt die Betriebskosten eines BHKW. Die Wirtschaftlichkeit eines BHKW hängt damit stark vom Verhältnis zwischen Brennstoff- und Strompreis ab.

Wärmepumpen sind weniger anfällig für Preisschwankungen bei Primärenergien, da sie hauptsächlich Umweltwärme als kostenlose Energiequelle nutzen. Es muss „nur“ der Antriebsstrom zugekauft werden. Steigende Strompreise wirken sich zwar auf die Betriebskosten aus, aber in geringerem Maße als Gaspreiserhöhungen bei BHKWs. Eine Kombination beider Technologien kann helfen, die Risiken zu minimieren und die Versorgungssicherheit zu erhöhen.

### Fazit

Die Kombination von BHKW und Wärmepumpe bietet eine zukunftssichere, hocheffiziente Lösung für die Energieversorgung von Gebäuden. Trotz höherer Anfangsinvestitionen überzeugen diese Systeme durch deutlich reduzierte Betriebskosten, hohe Flexibilität und signifikante CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Mit fortschreitender Technologieentwicklung wie z.B. prädiktiven Steuerungsalgorithmen basierend auf KI und steigenden Energiepreisen wird die Attraktivität dieser Hybridlösung weiter zunehmen.