
















## 4.3 Blaupause 11: Flexibilisierung von KWK-Anlagen

Blaupause											
<b>Zielgruppen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieversorger (KWK-Betreiber)</li> <li>■ BHKW-Betreiber (z. B. Landwirtschaft)</li> <li>■ Industrieunternehmen mit BHKW</li> <li>■ Netzbetreiber</li> <li>■ VK-Betreiber / Aggregator</li> </ul>										
<b>Ausgangslage und Problemstellung</b>	<p>Stromerzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung wie BHKW sind meist für einen Grundlastbetrieb bzw. wärmegeführt ausgelegt. Ihre Fähigkeit der Arbeitspunktänderung und Taktung machen sie jedoch zu einer prinzipiell gut geeigneten Flexibilitätsquelle. Die Hebung des Potenzials setzt entsprechende Umrüstungen voraus und kann mit Wirkungsgradeinbußen einhergehen.</p>										
<b>Lösungsansatz</b>	<p>Die Entkopplung von Wärmebedarf und KWK-Erzeugung bzw. die Fahrplanoptimierung der Anlagen ermöglicht eine netz- bzw. marktdienliche Flexibilitätsbereitstellung. Darüber hinaus können Abregelungen in Engpassregionen vermieden werden.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wärmespeicher erlauben die wirtschaftliche Optimierung der KWK-Anlage</li> <li>■ Speicher sollten möglichst nah an der KWK-Anlage errichtet werden, um Reaktionszeiten und Einflüsse anderer Erzeuger zu minimieren</li> </ul>										
<b>Einordnung der Blaupause</b>	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td><b>Industrie</b></td> <td><b>Energie</b></td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td>Sektorkopplung</td> <td colspan="2"><b>Erzeugung</b></td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>	Flexibilisierung	Sektorkopplung	<b>Erzeugung</b>			
Haushalte	GHD	<b>Industrie</b>	<b>Energie</b>								
Flexibilisierung	Sektorkopplung	<b>Erzeugung</b>									
<b>Technologiereifegrad</b>	<p>1 2 3 4 5 6 <b>7</b> 8 9</p> <p>TRL: Optimierungsmodelle getestet; Wärmespeicher kommerziell verfügbar</p>										
<b>Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten</b>	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>■ Biomasse-BHKW Stausebach</td> <td>■ Fernwärmespeicher</td> <td>■ Biogas-BHKW</td> <td></td> <td>■ KWK-Flex in Fernwärme</td> </tr> </table>						■ Biomasse-BHKW Stausebach	■ Fernwärmespeicher	■ Biogas-BHKW		■ KWK-Flex in Fernwärme
											
■ Biomasse-BHKW Stausebach	■ Fernwärmespeicher	■ Biogas-BHKW		■ KWK-Flex in Fernwärme							
<b>Innovationsgehalt</b>	<p>Die Integration von Wärmespeichern in Wärmenetzen zur Entkopplung von Bedarf und Erzeugung ist bewährte Technik. Die strommarktgetriebene Nutzung der Speicher ist neu. Die Ertüchtigung des Speicherpotenzials des Wärmenetzes (d. h. Rohrsystem, Temperaturvariation) ist neu. Die Integration von BHKW in virtuellen Kraftwerken ist nicht neu, aber die Teilnahme an Flexibilitätsmärkten wurde erstmals erfolgreich demonstriert.</p>										
<b>Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Die Topologie des angeschlossenen Wärmenetzes ist ausschlaggebend für den Handlungsspielraum (Wärmelast, saisonale Effekte, Wärmeeinspeicher, Rohrsystem)</li> <li>■ Bei Biogasanlagen gibt die Kapazität des Biogasspeichers Stillstandzeiten im Rahmen von Bereitstellung negativer Flexibilität vor</li> </ul>										

Stromerzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung wie BHKW sind meist für einen Grundlastbetrieb bzw. wärmegeführt ausgelegt. Ihre Fähigkeit der Arbeitspunktänderung und Taktung machen sie jedoch zu einer prinzipiell gut geeigneten Flexibilitätsquelle. Die Entkopplung von Wärmebedarf und KWK-Erzeugung bzw. die Fahrplanoptimierung der Anlagen ermöglicht eine netz- bzw. marktdienliche Flexibilitätsbereitstellung. Darüber hinaus können Abregelungen in Engpassregionen vermieden werden.

Am Biomassezentrum Stausebach speisen zwei BHKW mit einer Gesamtleistung von 1,5 MW gemeinsam mit einem Erdgas- und einem Holzkessel in ein Nahwärmenetz ein. Zentrale Wärmespeicher dienen der teilweisen Entkopplung von Wärmebedarf und Wärmeerzeugung in dem System. Zur weiteren Entkopplung und damit Flexibilisierung der Stromerzeugung der BHKW wurde im Rahmen von C/sells die Wärmespeicherfähigkeit des Wärmnetzes analysiert. Ein dynamisches Wärmenetzmodell ergab, dass kleinere Rohrdurchmesser sowie die Variation der Netztemperatur und deren Regelung die Flexibilität des Systems erhöhen können. Die Ergebnisse wurden abstrahiert und in ein Energiemanagementsystem integriert, das die Anlagen steuert und deren Fahrpläne optimiert.

Die Flexibilisierung setzt detaillierte Messungen am Wärmespeicher sowie die Steuerung der Vorlauftemperatur des Wärmenetzes voraus. Der Betrieb der BHKW kann sich in der Folge an den Preissignalen des Spotmarktes oder Regelenergiemarktes orientieren. Die Variation der Wärmenetzvorlauftemperatur bietet ein Flexibilitätspotenzial von etwa 500 kWh und besitzt bei einer Verschiebedauer von drei Stunden einen Speicherwirkungsgrad von 95 %. Die Spitzenwärmelast liegt bei 3,7 MW und der Jahresbedarf bei 5 GWh. Die mechanische Beanspruchung des Netzes durch die Variation der Temperatur kann durch eine Limitierung der Temperaturerhöhung, die dabei nicht sprunghaft, sondern allmählich erfolgt, gemindert werden.

Der Energieversorger STEAG betreibt einen Wärmespeicher mit einer Kapazität von 1 GWh an der Fernwärmeschiene Saar, der über Wärmetauscher in das Netz eingebunden ist. Die thermische Ladeleistung kann zwischen 5 und 50 MW variiert werden. Die maximale Ein- oder Ausspeiseleistung kann bis zu 10 Stunden bereitgestellt werden. Der Speicher diente bisher der Aufnahme von Überschusswärme aus einem Stahlwerk und der Unterstützung der Wärmebereitstellung. Das Zusammenspiel zwischen dem dezentralen Speicher und den KWK-Anlagen, die in das Fernwärmesystem einspeisen, wurde im Rahmen von DESIGNETZ, mit dem Ziel der Flexibilisierung der KWK-Anlagen, untersucht. Die Stabilität und Effizienz des Netzes wurde dabei gesteigert und die Erzeuger können prinzipiell stromgeführt auf Marktsignale reagieren bzw. dem Übertragungsnetzbetreiber Flexibilität anbieten. Die zentrale Leitstelle ermittelt einen Anlagenfahrplan basierend auf Wetterdaten, Wärmebedarfsprognosen und Vermarktungsdaten, der an die Anlagensteuerung vor Ort übermittelt wird. Eine kommunikationstechnische Anbindung an das DESIGNETZ System Cockpit erfolgte nicht.

Die verbundenen KWK-Anlagen können dem Verteilnetz eine negative Flexibilität bereitstellen, d. h. die elektrische Einspeisung erhöhen, wenn sie mehr Wärme erzeugen als nachgefragt wird und die überschüssige Energie im Wärmespeicher aufgenommen werden kann. Bei Bereitstellung positiver Flexibilität wird der Wärmebedarf zum Teil aus dem Wärmespeicher gedeckt, der entladen wird. In gleicher Höhe reduzieren die KWK-Anlagen die Wärme- und Stromerzeugung. Elektrische und thermische Leistungen von KWK-Anlagen können darüber hinaus durch Änderungen des Betriebspunktes flexibel angepasst werden. Der Wärmespeicher ermöglicht es, basierend auf Preissignalen am Strommarkt, die Betriebspunkte entlang begrenzender Kurven zu ändern und somit zusätzliche Flexibilität für den Stromsektor zu heben. Die Mehr- oder Minderwärmeerzeugung wird vom Wärmespeicher ausgeglichen.

In der enera-Modellregion, in der der Ausbau der Erzeugungskapazitäten mit erneuerbaren Energien dem Netzausbau vorausseilt, wurden 94 Biogas-BHKW mit einer Gesamtleistung von 46,5 MW in das virtuelle Kraftwerk integriert und an den Flexibilitätsmarkt angebunden. In der Region kommt es häufig zu Abregelungen der BHKW im Rahmen von EinsMan. Die Flexibilisierung der BHKW kann EinsMan-Maßnahmen vermeiden. Die vorhandene

Fernwirktechnik wurde zur Steuerung der Anlagen im virtuellen Kraftwerk genutzt. Messwerte aus der jeweiligen BHKW-Steuerung wurden mittels analogen oder digitalen Prozesssignalen (z. B. ModBus RTU) an die Fernwirkanlage und von dort aus über einen VPN-Tunnel weiter an das virtuelle Kraftwerk gesendet. Die Steuerungsbefehle wurden auf dem gleichen Weg zur Anlagensteuerung gesendet. Im Rahmen eines Feldtests stellten 29 der 94 Anlagen eine Flexibilität von 11 MW bereit. Deaktivierte Fernsteuerungen oder außerplanmäßige Stillstandzeiten durch Störungen minderten die Lieferquote. Dies tritt auf, wenn sich KWK-Anlagenbetreiber kurzfristig dazu umentschieden, keine Flexibilität anzubieten, oder durch Störungen dazu gezwungen waren und die jeweilige Anlage entsprechend nicht auf die Flexibilitätsabrufe reagierte.

Für die Biogas-BHKW hat EWE darüber hinaus eine automatisierte Fahrplanoptimierung erprobt, die auf Basis von individuellen Anlagenrestriktionen eine erlösoptimale, tägliche Einsatzplanung durchführt. Ein mathematisches Modell der Biogasanlage berücksichtigt dabei verschiedene Einflussgrößen wie Zielerzeugung, Anzahl der Motorstarts, Mindestbetriebsstunden sowie technische Parameter wie Motorwirkungsgrad als statische Restriktionen. Zudem wurde die bereits an den Anlagen verbaute Fernwirktechnik in einigen Fällen mit zusätzlichen Datenpunkten für Gas- und Pufferspeicherfüllstände erweitert, die als dynamische Restriktionen in die Optimierung eingehen. Diese Informationen helfen dabei, einen realistischen Fahrplan zu erstellen, den das Biogas-BHKW hinsichtlich der Gaserzeugung und des Wärmebedarfs auch erfüllen kann, anstatt die Einsatzplanung lediglich anhand von Preisprognosen auszurichten. Über Wärmelastprofile kann so der Wärmebedarf berücksichtigt werden, damit die in der Verstromung entstehende Prozesswärme genutzt werden kann und der Betreiber den KWK-Bonus geltend machen kann.

Im Rahmen von WindNODE haben die Stadtwerke Frankfurt (Oder) flexible Fahrweisen von KWK-Anlagen mit kurzen An- und Abfahrzeiten entwickelt. Eine entwickelte Softwarelösung verknüpft und steuert alle am Erzeugungs- und Verteilprozess beteiligten Komponenten modular. So werden eine optimale Fahrweise der Anlagen und ein flexibles Lastmanagement erreicht. Mit dieser neuen Flexibilität kann der Betrieb der Erzeugungsanlagen an die Einleitung von im Umland erzeugtem regenerativem Strom aus Wind- und Solaranlagen und an den Verbrauch im Netzgebiet effektiv angepasst werden. Zusätzliche Messwerte aus dem Fernwärmenetz dienen dabei der Bestimmung der Energiemenge im Fernwärmenetz und ermöglichen die Nutzung des Wärmenetzes als Energiespeicher.