

Disponible Regelleistung von kleinen KWK-Systemen

Verbundforschungsvorhaben Kraftwerke des 21. Jahrhunderts - Teilprojekt E2:
Kleine KWK-Systeme im Kraftwerksverbund - Prüfstandsuntersuchungen und
energiewirtschaftliche Bewertung der disponiblen Regelleistung

1 Abstract

Mit einer auf Basis von Prüfstandsuntersuchungen validierten Simulation konnte gezeigt werden, dass die heute verfügbaren KWK-Anlagen zur Gebäudeenergieversorgung im Verbund die von den Regelzonenverantwortlichen gestellten technischen Anforderungen für die Regelleistungsbereitstellung erfüllen. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigte allerdings, dass die im Untersuchungszeitraum beobachteten Marktpreise keinen nennenswerten Beitrag aus kleinen KWK-Anlagen zur Regelleistungsbereitstellung erwarten lassen. Zudem sind die energiewirtschaftlichen Auswirkungen einer Vernetzung zu einem virtuellen Regelleistungskraftwerks hinsichtlich CO₂- und Primärenergieeinsparung sowie der Substitution konventioneller Kraftwerke gering.

2 Allgemeiner Kontext und Zielsetzung

Aufgrund der hohen Effizienz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird politisch ein größerer Anteil der KWK an der zukünftigen Stromversorgung gefordert. Die hieraus resultierenden gesetzlichen Förderinstrumente und die technologischen Entwicklungen im Bereich der innovativen KWK haben die Marktchancen für KWK-Anlagen zur Gebäudeenergieversorgung deutlich erhöht. Eine über die verbrauchsnahe Erzeugung von Strom und Wärme hinausgehende Aufgabe von dezentralen KWK-Anlagen könnte die Bereitstellung von Regelleistung sein. Im Rahmen des Projektes wurde daher die Eignung von kleinen KWK-Anlagen als virtuelles Regelleistungskraftwerk untersucht.

3 Vorgehensweise

Analyse des Regelleistungsmarktes

Es wurden die Rahmenbedingungen des Jahres 2008 zugrunde gelegt. Die durchgeführten Jahressimulationen basierten auf den Preisen und Regelleistungsabrufen des Jahres 2007. Entscheidend für die Analyse des Potenzials der Regelleistungsbereitstellung mit Mikro-KWK-Anlagen sind

- die von den Übertragungsnetzbetreibern (ÜNB) gestellten Anforderungen zur Bewertung der technischen Machbarkeit,
- die zu erzielenden Preise bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse und
- die Abrufcharakteristik zur Bewertung der veränderten Betriebsweise mit den entsprechenden Folgen für Wirtschaftlichkeit, CO₂-Emissionen, Primärenergieverbrauch und Starthäufigkeit.

Für Abbildung 1 wurden die Regelleistungs- und EEX-Preise von Dezember 2007 bis Juni 2008 ausgewertet. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da erst seit Dezember 2007 die neuen Ausschreibungsregeln für die SRL gelten.

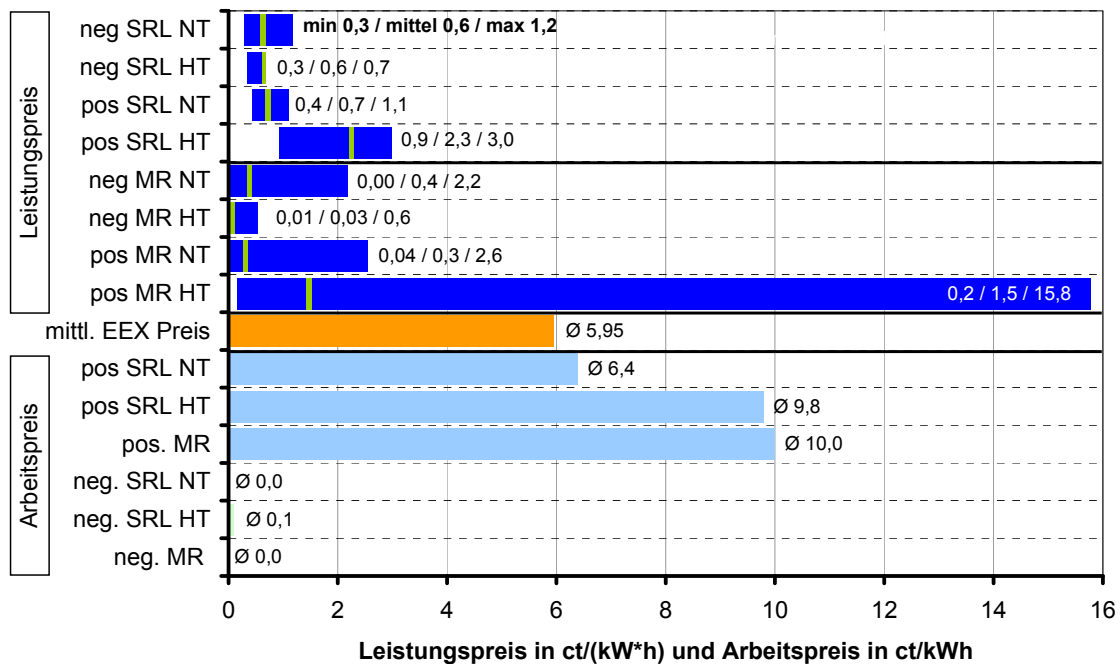


Abbildung 1: Leistungs- und Arbeitspreise für Sekundärregelleistung und Minutenreserve

Messtechnische Untersuchungen

Am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der TU München wurden vier KWK-Systeme unter realitätsnahen Bedingungen vermessen. Es kamen zwei verbrennungsmotorische Systeme von Senertec und Ecopower, sowie ein Stirlingmotor von Solo und ein Brennstoffzellensystem von Vaillant auf den Prüfstand. Hierbei wurden die ersten drei Anlagen als gesamtes System und die letzte lediglich als Einzelanlage messtechnisch erfasst. Es wurden jeweils die Typtage Wintertag, Übergangstag und Sommertag vermessen. Die Messergebnisse dienen im Wesentlichen der Validierung der Simulation und der Identifikation von praktischen Hürden von KWK-Anlagen zur Regelleistungsbereitstellung.

Simulation

Die Modellierung und Programmierung der Simulation erfolgte mit dem Programmpaket Matlab/Simulink. Die Simulation ermöglicht die Darstellung und Analyse der dynamischen Vorgänge bei der Interaktion der einzelnen Elemente des KWK-Systems untereinander und der Reaktion des KWK-Systems auf die Anforderungen aus Heizwärme-, Warmwasser- und elektrischer Last. Mit der Simulation sind dynamische Vorgänge zeitlich hoch aufgelöst darstellbar. Es können sowohl ausgewählte Zeitbereiche (z. B. Tage) wie auch ein ganzes Jahr simuliert werden. Für die Untersuchung des Potenzials zur Regelleistungsbereitstellung sind folgende Funktionalitäten integriert:

- eine externe Regelung für Regelleistungsvorhaltung und –abruf,

- die gleichzeitige Verschaltung mehrerer KWK-Anlagen zur Abbildung von Verbundeffekten,
- die Berechnung des dynamischen Potenzials zu jedem Zeitpunkt.

Validierung der Simulation auf Basis der Prüfstandsuntersuchungen

Auf Basis der Messergebnisse konnte die Simulation validiert werden. Mit Streudiagrammen wurden die wichtigsten Abhängigkeiten der Parameter untereinander analysiert. Die ermittelten Funktionen dienen einer möglichst realitätsnahen Modellierung. Die Streudiagramme stellen die gegenseitigen Abhängigkeiten von thermischer und elektrischer Leistung, Gasverbrauch, Volumenstrom und Rücklauf- und Vorlaufemperaturen dar. Es konnte gezeigt werden, dass die Simulation ausreichend genau die einzelnen funktionalen Zusammenhänge abbildet, so dass die veränderte Betriebsweise durch die Regelleistungsbereitstellung bewertet werden kann.

Methoden zur Bestimmung des Regelleistungspotenzials

Ziel des Projektes war die Bestimmung des technischen Potenzials zur Bereitstellung von Minutenreserve (MR) mit Mikro-KWK-Anlagen. Darüber hinaus wurde eine Methodik entwickelt, mit der das Potenzial von Mikro-KWK-Anlagen zur Regelleistungsbereitstellung losgelöst von den aktuellen Ausschreibungsbedingungen untersucht werden konnte. Somit ließ sich das Potenzial zur Bereitstellung von Sekundärregelleistung abschätzen.

Zur Ermittlung des technischen Potenzials der Bereitstellung von MR wurden die geltenden Ausschreibungsbedingungen als Randbedingung genommen. Die MR muss somit mindestens für vier Stunden in einem der sechs Angebotsblöcke vorgehalten werden. Von den als technisch machbar bewerteten Angebotsprofilen wurde jeweils das Profil mit dem höchsten wirtschaftlichen Potenzial ausgewählt und mit dieser Auswahl eine Jahressimulation durchgeführt. Hierdurch konnte eine energiewirtschaftliche Bewertung auf Basis der veränderten Kosten-, Primärenergie- und CO₂-Bilanzen durchgeführt werden.

Für eine von den aktuell geltenden Ausschreibungsbedingungen losgelöste Bewertung des technischen Potenzials wurde die Kenngröße „dynamisches Potenzial“ definiert. Auf Basis der Pufferspeichertemperaturen und der Heizwärme- und Warmwasserlastgänge kann mit dem dynamischen Potenzial für jeden Zeitpunkt berechnet werden, wie lange die zu erwartende maximale KWK-Laufzeit ab diesem Zeitpunkt sein könnte. Des Weiteren wurde eine Darstellungsform des dynamischen Potenzials für ein ganzes Jahr für verschiedene Bereitstellungszeiträume entwickelt und der „Füllungsfaktor“ definiert. Hierdurch können Modifikationen des KWK-Systems (Auslegungsleistung, Speichergröße oder Regelung) hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das technische Potenzial zur Regelleistungsbereitstellung bewertet werden.

4 Ergebnisse

Technisches Potenzial

Es sind bereits heute KWK-Systeme verfügbar, die die technischen Anforderungen des Regelleistungsmarktes erfüllen. In Abbildung 2 ist die elektrische Leistung eines KWK-Systems während eines Kalt- und Warmstarts dargestellt.

Der thermischer Bedarf des Versorgungsobjektes bestimmt das technische Potenzial zur Regelleistungsbereitstellung.

An Wintertagen kann die gesamte KWK-Leistung in der Zeit von 8.00 Uhr bis 20.00 Uhr als Minutenreserve vermarktet werden.

An Übertagtagen kann die volle KWK-Leistung in der Zeit von 8.00 Uhr bis 12.00 Uhr als Minutenreserve vermarktet werden.

An Sommertagen (nur Warmwasserbedarf) könnte mit der Vernetzung von etwa sieben Anlagen die elektrische Leistung einer einzigen Anlage konstant vermarktet werden.

In etwa 60 % der Zeit ist ein Betrieb mit Nennleistung über eine Stunde möglich. Hiermit ließen sich losgelöst von den aktuellen Ausschreibungsbedingungen Konzepte zur Regelleistungsbereitstellung entwickeln.

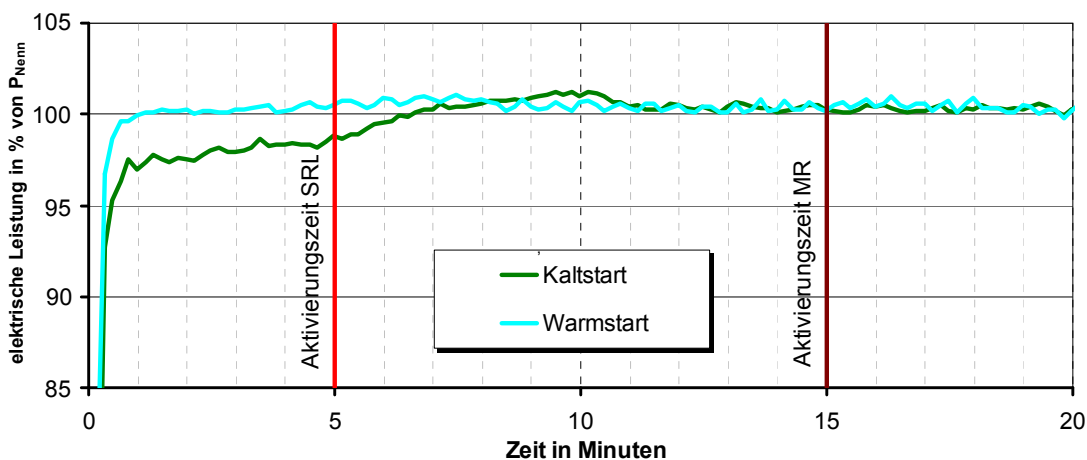


Abbildung 2: Kalt und Warmstart eines motorischen KWK-Systems

Wirtschaftliches Potenzial

Eine Verringerung der Ausnutzungsdauern der KWK-Anlagen durch die Regelleistungsvorhaltung verschlechtert die Wirtschaftlichkeit. Wird negative Regelleistung vorgehalten, läuft die KWK-Anlage, um im Falle eines Abrufs die Leistung verringern zu können. Die Energiebilanzen dieser Angebotsstrategie sind mit der wärmegeführten Fahrweise vergleichbar und das Anbieten negativer Regelleistung ist somit wirtschaftlicher als das Anbieten positiver Regelleistung.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit sind vorrangig die Leistungspreise relevant, da die Minutenreserve nur sehr selten abgerufen wird.

Die potenziellen Erlöse mit ca. 5 € pro Jahr aus der Vermarktung der elektrischen KWK-Leistung als Minutenreserve sind für den Betreiber einer KWK-Anlage von untergeordneter Bedeutung.

Modifikation der KWK-Systeme

Eine geringere Auslegungsleistung der KWK-Systeme erhöht das technische Potenzial zur Regelleistungsbereitstellung.

Ein größerer Pufferspeicher erhöht das technische Potenzial zur Regelleistungsbereitstellung bei längeren Bereitstellungszeiträumen und wirkt sich nur geringfügig für den Bereitstellungszeitraum von 4-Stunden aus.

Die modulierenden Systeme sind in Zeiten mit hohem thermischen Bedarf gegenüber schaltenden Systemen nicht im Vorteil, da sie in dieser Zeit gleichfalls mit Nennleistung betrieben werden.

Energiewirtschaftliche Bewertung

Der Einsatz von Mikro-KWK-Anlagen kann im Vergleich zur ungekoppelten Erzeugung die CO₂-Emissionen und den Primärenergieverbrauch um ca. 30 % verringern. Aus der Vernetzung dieser Anlagen zu einem virtuellen Regelleistungskraftwerk resultieren jedoch keine nennenswerten CO₂- und Primärenergieeinsparungen.

Konventionelle Regelleistungskraftwerke könnten maximal um etwa 14 % der installierten KWK-Leistung ersetzt werden.

Fazit

Es konnte die technische Machbarkeit der Regelleistungsbereitstellung mit Mikro-KWK-Anlagen nachgewiesen werden. Die Preise für Regelleistung- und -arbeit im Untersuchungszeitraum lassen jedoch keinen nennenswerten Beitrag aus Mikro-KWK-Anlagen zur Regelleistungsbereitstellung erwarten. Die energiewirtschaftlichen Auswirkungen einer Bereitstellung von Regelleistung mit Mikro-KWK-Anlagen sind hinsichtlich der CO₂- und Primärenergiebilanz gering und es ließen sich auch nur in kleinem Umfang konventionelle Regelleistungskraftwerke einsparen.

Auftraggeber:	Bayerische Forschungsstiftung, E.ON Energie AG
Ansprechpartner:	Dipl. Wi.-Ing. Serafin von Roon
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Tomás Mezger Dipl.-Ing. Ulli Arndt Dipl.-Ing. Thomas Gobmaier Dipl.-Ing. Anna Gruber