

Innovative KWK

zur Bereitstellung von Regelleistung

Dipl. Wi.-Ing. Serafin von Roon

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München

- Erschienen im Tagungsband des 38. Kraftwerkstechnischen Kolloquiums 2006 -

1 Einleitung

Die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme verspricht im Vergleich zur konventionellen getrennten Strom- und Wärmeerzeugung einen geringeren Primärenergieverbrauch und damit weniger CO₂-Emissionen. Eine verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Wohngebäuden ist durch die Marktreife neuer Techniken und die Entwicklung von Anlagen mit kleinsten Leistungen eine denkbare Zukunftsoption. In den KWK-Ausbauszenarien von derzeit 57 bis 62 TWh_{el} [1 bis 3] auf 116 bis zu 276 TWh_{el} [4] im Jahr 2050 nimmt die dezentrale KWK eine bedeutende Rolle ein. Einerseits könnten sich hieraus neue Anforderungen an die konventionellen Kraftwerke ergeben und andererseits könnten durch das Konzept des virtuellen Kraftwerks weitere energiewirtschaftliche Aufgaben übernommen werden, wie z. B. die Bereitstellung von Regelleistung.

2 Das Konzept des virtuellen Kraftwerks

Das Konzept des virtuellen Kraftwerks sieht vor, dezentrale Erzeugungsanlagen informationstechnisch untereinander zu vernetzen und extern zu regeln, um weitere, über die verbrauchsnahe Versorgung hinausgehende energiewirtschaftliche Aufgaben übernehmen zu können. Diese Aufgaben definieren das jeweilige Betriebskonzept des virtuellen Kraftwerks. Die Ziele Primärenergieeinsparung, Peak-Shaving, Lastflussoptimierung, Alternative zum Kraftwerksneubau und Bereitstellung von Regelleistung bestimmen die Betriebskonzepte virtueller Kraftwerke [5].

Unter dem Schlagwort des virtuellen Kraftwerks sind in Deutschland in letzter Zeit zahlreiche Projekte realisiert bzw. begonnen worden. Eine Projektübersicht findet sich in [5]. Die Auswertung bereits abgeschlossener und noch laufender Projekte zu virtuellen Kraftwerken in Deutschland zeigt, dass das Konzept noch nicht die Marktreife erlangt hat und weitere Forschung und Entwicklung notwendig ist. Einerseits liegt dies neben den eingesetzten Technologien, zum Beispiel der Brennstoffzelle, an den teilweise teuren Kommunikationslösungen. In den Projekten werden i. d. R. nur wenige Anlagen, vorrangig Mikro-KWK-, Fotovoltaik- und Windenergieanlagen, und teilweise elektrische Speicher (z. B. Batterien) zusammengeschlossen. Die Untersuchung im Rahmen des Projektes KW21-E2 zeichnet sich gegenüber den bisherigen Projekten darin aus, dass einerseits ausschließ-

lich am Markt erhältliche planbare Erzeugungsanlagen betrachtet werden. Des Weiteren werden die Anlagen im praktischen Einsatz vermessen und eine Bewertung erfolgt unter den heute am Markt vorzufindenden organisatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit einer fundierten Potenzialbestimmung.

3 KW21-E2: Kleine KWK-Systeme im Kraftwerksverbund

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens Kraftwerke des 21. Jahrhunderts wird an der FfE untersucht, inwiefern mit dem Konzept des virtuellen Kraftwerks die Bereitstellung von Regelleistung realisiert werden kann. Das Verbundvorhaben wurde auf dem 37. Kraftwerkstechnischem Kolloquium vorgestellt [6]. Im Rahmen des Projekts werden organisatorische Hemmnisse und wirtschaftliche Potenziale der Bereitstellung von Regelleistung unter heutigen Marktbedingungen untersucht. Für die technische Bewertung bilden messtechnische Untersuchungen an einem Prüfstand des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München die Basis für die Simulation eines virtuellen Kraftwerks.

3.1 Messtechnische Untersuchungen

Der am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik im Rahmen des Verbundprojekts ISOTEG [7] entwickelte Wärmeerzeugerprüfstand wurde zur Prüfung von KWK-Anlagen erweitert. Der erweiterte Prüfstand gestattet das Vermessen verschiedenster Prüflinge unter veränderbaren Rahmenbedingungen. Neben der Variation der Verteilsysteme für Heizwärme und Warmwasser (Stichleitungs- und Zirkulationsbetrieb) können auch unterschiedliche Anlagenkonfigurationen eingestellt werden. Der Prüfstand bietet somit die Möglichkeit, sowohl die Anforderungen der Gebäude als auch die Einsatzkriterien realitätsnah abzubilden. Somit können die Teilsysteme eines virtuellen Kraftwerks wie im praktischen Einsatz getestet werden. Die messtechnischen Untersuchungen liefern in Hinblick auf die technischen Parameter, wie z. B. Wirkungsgradkennlinien und Speicherverhalten, die Basis für die Simulation des virtuellen Kraftwerks.

3.2 Simulation

Die Simulation basiert auf der im Projekt „Innovative KWK-Systeme“ entwickelten Methodik (das Projekt wurde auf dem 37. Kraftwerkstechnischem Kolloquium vorgestellt [6]). Diese 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. Die Simulation wird im Rahmen des Teilprojektes E2 mit dem Fokus auf die Regelleistungsbereitstellung weiterentwickelt. Die Simulation des KWK-Systems erfolgt für fünf Typtage und den Ausschreibungszeiträumen ausgewählter Übertragungsnetzbetreiber. Die Simulationsergebnisse mit externer Regelung werden mit dem Referenzfall des

wärmegeführten Einzelbetriebes verglichen und die veränderten technischen und wirtschaftlichen Kennwerte ausgewiesen. Hierdurch kann das wirtschaftliche Potenzial eingegrenzt werden. Die Elemente der Simulation sind in **Abbildung 1** dargestellt.

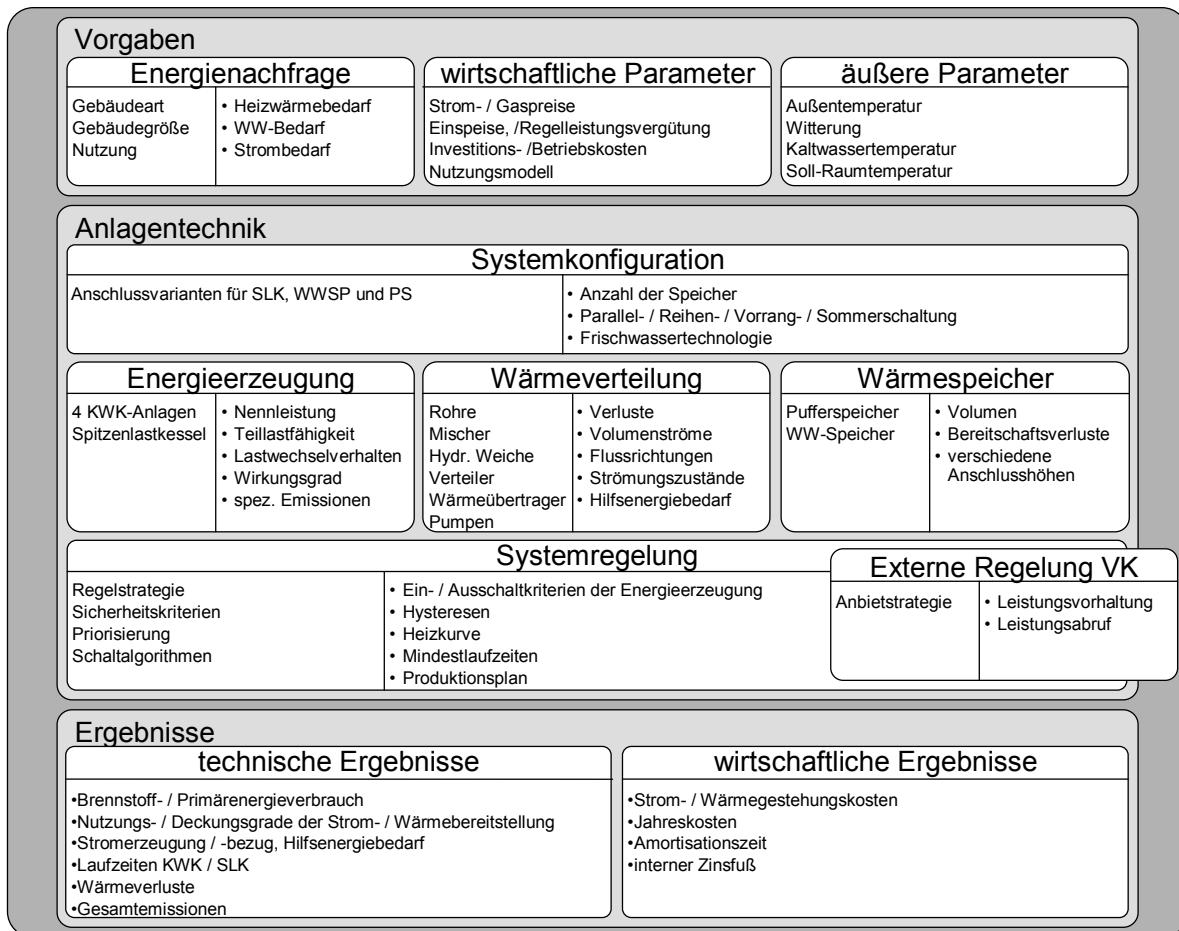


Abbildung 1: Elemente der Simulation

Neben der externen Regelung und den Ergebnissen besteht die Simulation aus Modulen der Anlagentechnik und der durch den KWK-Anlagenbetreiber nicht beeinflussbaren Vorgaben aus energienachfrageseitigen, wirtschaftlichen und äußeren Parametern. Die in dem Modul „Energienachfrage“ zusammengefassten Parameter bestimmen die Bedarfslastgänge, die in Form von Typtagen hinterlegt sind. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden in erster Linie durch die marktüblichen Preise und gesetzlich festgelegten Einspeisevergütungen bestimmt. Im Vergleich zur Einzelgebäudebetrachtung wird dieses Modul um die Datenbasis der Leistungs- und Arbeitspreise des Regelleistungsmarktes ergänzt. Die Module der Anlagentechnik werden unterschiedlich stark durch die Integration einer externen Regelung beeinflusst. Das Modul der Energieerzeugung wird nicht verändert, da das Potenzial von den heute vorzufindenden KWK-Technologien ausgewiesen werden soll. Es sind verschiedene hydraulische Verschaltungen der Anlagenkomponenten im Modul Systemkonfiguration hinterlegt, die hinsichtlich des Regelleistungspotenzials bewertet werden. Für die Entwicklung von Rahmenbedingungen und einer Strategie zur

Regelleistungsbereitstellung zur Vergrößerung des energiewirtschaftlichen Potenzials werden die Module Systemregelung und Wärmespeicher variiert.

4 Wirtschaftliche Potenziale und Hemmnisse der Regelleistungsbereitstellung

4.1 Technische Anforderungen an die Regelleistungsbereitstellung

Für die Sicherstellung einer stabilen Stromversorgung muss ab dem Zeitpunkt einer Über- oder Unterspeisung positive bzw. negative Regelleistung eingesetzt werden. Für das Erreichen des Frequenz-Sollwertes von 50 Hz wird vom Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) in folgender Reihenfolge Regelleistung vorgehalten: Primär- und Sekundärregelung sowie Minutenreserve. Hierdurch wird die Abdeckung der stochastischen Lastschwankungen und Leistungsdefizite bis zu maximal einer Stunde nach einer Störung sichergestellt. Die Regelleistungsarten unterscheiden sich durch die im Transmission Code 2003 [8] definierten technischen Anforderungen. Wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist die Aktivierungszeit, die die Einsatzreihenfolge nach größeren Störungen in der Leistungsbilanz bestimmt (vgl. **Abbildung 2**).

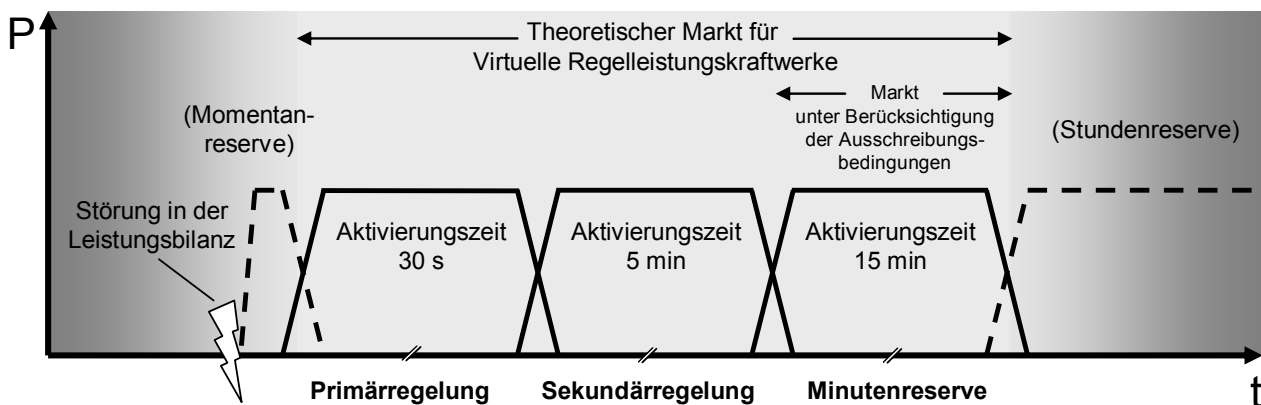


Abbildung 2: Einsatzreihenfolge für unterschiedliche Arten von Regelleistung

Wie Abbildung 2 zeigt, wird beim Auftreten einer Leistungsbilanzstörung zunächst ohne Regeleingriff die Momentanreserve aktiviert, die der elektromagnetischen Energie im Generatorfeld sowie kinetischer Energie in den Schwungmassen entspricht. Da die Momentanreserve automatisch durch alle netzgekoppelten elektromechanischen Generatoren bereitgestellt wird, besteht kein Markt für diese Art der Regelleistung. Falls die Störung länger als eine Stunde anhält, greift die so genannte Stundenreserve. Die Verantwortung hierfür liegt beim Bilanzkreisverantwortlichen und wird daher auch nicht vom ÜNB ausgeschrieben.

Möchte ein KWK-Anlagen-Betreiber Regelleistung anbieten, muss er zunächst entscheiden, welche Regelleistungsart angeboten werden soll. Für jeden dieser Regelleistungsarten existiert ein getrennter Markt, wobei bei Primärregelung nur ein Band an positi-

ver und negativer Regelleistung angeboten werden kann. Bei der Sekundärregelleistung wird hingegen zwischen positiver und negativer Regelleistung unterschieden. Die Entscheidung hängt erstens von der technischen Machbarkeit und zweitens von der Wirtschaftlichkeit ab. Die technische Machbarkeit wird durch die durch die ÜNB geforderten Mindestanforderungen bestimmt, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Tabelle 1: Technische Anforderungen der Regelleistungserbringung nach dem TransmissionCode [8]

Primärregelleistung	Sekundärregelleistung	Minutenreserve
min. ± 2 MW und min. ± 2 % von P_{Nenn} der technischen Einheit	min. 30 MW	min. 30 MW (Kraftwerkspoolung erlaubt!)
Aktivierungszeit 30 s	Aktivierungszeit 5 min	Aktivierungszeit 15 min (Abruf mit min. 7,5 min Vorlauf)
Arbeitsverfügbarkeit min. 15 min	Arbeitsverfügbarkeit bei hydraulischen Anlagen min. 4 h; sonstige technische Einheiten 100 % des Angebotszeitraums	Arbeitsverfügbarkeit 100 % des Angebotszeitraums
Abruf automatisch	Abruf automatisch	manueller Abruf
Zeitverfügbarkeit der Leistung 100 %	Zeitverfügbarkeit der Leistung 95 %	Zeitverfügbarkeit der Leistung 100 %
Nennung des Einspeiseortes für jede technische Einheit	Nennung des Einspeiseortes für jede technische Einheit	Nennung des Einspeiseortes für jede technische Einheit
auf Anfrage: online Ist-Leistung	online-Informationen: $P_{Fahrplan}$, P_{Ist}	auf Anfrage: online Ist-Leistung
Kontaktstelle 24 h erreichbar	Kontaktstelle 24 h erreichbar	Kontaktstelle während der angebotenen Zeitscheibe erreichbar
Primärregelfähigkeit auch im Lastfolge- und im Sekundärregelungsbetrieb	Leistungsänderungsgeschwindigkeit: hydraulische Einheiten 2 % von P_{Nenn} pro s; sonstige technische Einheiten 2 % von P_{Nenn} pro min	
Nennung der technischen Realisierung	Regelzyklus 1 bis 2 s => Messwerterneuerungszeit < 1 s	
Genauigkeit der Frequenzmessung $>_{\pm} 10$ mHz Unempfindlichkeitsbereich $\leq_{\pm} 10$ mHz	jede Gruppe von technischen Einheiten, die unter dem Sekundärregler des ÜNB betrieben werden soll, muss online in den Sekundärregelkreis eingebunden sein	
Statik der technischen Einheit muss einstellbar sein		

Aus Sicht eines virtuellen Regelleistungskraftwerksbetreibers sind folgende Anforderungen von besonderem Interesse:

Mindestleistung

Diese ist bei Mikro-KWK-Anlagen nur durch Leistungsbündelung zu erreichen, die nur bei der Bereitstellung von Minutenreserve erlaubt ist. Für eine Leistung von 30 MW müssten mindestens 3.000 bis 6.000 Anlagen mit Leistungen von 5 bis 10 kW_{el} zusammengefasst werden. Bei der Primärregelung stellt sich zudem das Problem, dass immer ein Leistungsband vorgehalten werden muss.

Abrufart

Der Abruf der Primär- und Sekundärregelleistung erfolgt automatisch, wohingegen die Minutenreserve manuell abgerufen wird. Da ein manueller Abruf jeder KWK-Anlage zu

aufwendig wäre und auch die Erreichbarkeit des KWK-Anlagenbetreibers über den gesamten Ausschreibungszeitraum nicht gewährleistet werden könnte, müsste in jedem Fall ein automatischer Abruf von Seiten des virtuellen Regelleistungskraftwerksbetreibers erfolgen.

Aktivierungszeit

Die Analyse der untersuchten Mikro-KWK-Anlagen zeigt, dass im Falle einer Verfügbarkeit der Anlagen die Aktivierungszeit gewährleistet werden kann.

Zeitverfügbarkeit der Leistung

Für den Fall der positiven Regelleistungsbereitstellung muss gewährleistet werden, dass im gesamten Ausschreibungszeitraum genügend Anlagen zur Verfügung stehen, die ihre Leistung entsprechen der zugesicherten Leistung erhöhen können. Für den Fall der negativen Regelleistungsbereitstellung müssen genügend Anlagen laufen, so dass im Falle eines Abrufs die Leistung entsprechend reduziert werden kann. Dies muss bei der Primärregelung und der Minutenreserve immer erfüllt sein. Bei der Sekundärregelung wird hingegen eine Zeitverfügbarkeit von 95 % akzeptiert.

Arbeitsverfügbarkeit

Bei der Arbeitsverfügbarkeit muss sichergestellt werden, dass die Leistung über den gesamten Ausschreibungszeitraum abgegeben werden kann. Dies kann gerade bei KWK-Anlagen schwierig sein, da die bei der gekoppelten Erzeugung bereitgestellte Wärme eine entsprechende Senke haben muss. Im Bereich der Hausenergieversorgung ist kein Kondensationsbetrieb vorgesehen, so dass die Wärme nur vom Verbraucher abgenommen oder im Speicher zwischengespeichert werden kann. Falls eine kritische Speichertemperatur überschritten wird, muss die KWK-Anlage abschalten.

Leistungsänderungsgeschwindigkeit

Anforderungen an die Leistungsänderungsgeschwindigkeit werden lediglich bei der Sekundärregelung genannt. Diese werden von den untersuchten KWK-Anlagen erreicht.

Nennung des Einspeiseortes

Bei einem Verbund von über 3.000 Anlagen ist für die Nennung jedes Einspeiseortes ein hoher organisatorischer Aufwand notwendig. Der Betreiber des virtuellen Kraftwerks muss für die Abrechnung ohnehin jeden Teilnehmer erfassen, daher wäre auch diese Auflage zu erfüllen.

Aus den technischen Anforderungen wurde das Vorgehen im Projekt KW21 E2 abgeleitet. Zunächst wird überprüft, ob die Anlagen den Anforderungen bezüglich Aktivierungszeit und Leistungsänderungsgeschwindigkeit gerecht werden. Falls dies erfüllt ist, wird mit der Simulation die erforderliche Zeit- und Arbeitsverfügbarkeit getestet.

4.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Regelleistungsbereitstellung

Das wirtschaftliche Potenzial einer Regelleistungsbereitstellung mit Mikro-KWK-Anlagen ergibt sich aus dem potenziellen Gewinn:

$$\text{Gewinn} = \text{disponible Leistung} \cdot \text{Angebotsdauer} \cdot (\text{spezifische Erlöse} - \text{spezifische Kosten})$$

Die disponible Leistung wird durch das technische Potenzial unter den aktuellen Ausschreibungsbedingungen bestimmt. Die spezifischen Erlöse entsprechen den Marktpreisen des Regelleistungsmarktes. Die spezifischen Kosten setzen sich aus den zusätzlichen Kosten und verminderten Erlösen, die dem Anlagenbetreiber durch die veränderte Betriebsweise im Vergleich zu einem Anlagenbetrieb ohne Regelleistungsbereitstellung entstehen, zusammen. Die durch Vorhaltung, Abruf und Organisation des virtuellen Kraftwerks entstehenden Informations- und Kommunikationskosten bleiben in der Betrachtung zunächst unberücksichtigt.

Vergütung für die Regelleistungsbereitstellung

Der ÜNB vergütet den Regelleistungsanbieter zunächst für die Leistungsvorhaltung mit dem Leistungspreis, der unabhängig von einem tatsächlichen Einsatz bezahlt wird. Kommt es zu einem Abruf der Regelleistung, wird darüber hinaus die tatsächlich gelieferte Energie mit dem Arbeitspreis vergütet. Die mittleren Preise im Jahr 2005 sind in **Abbildung 3** zusammengefasst.

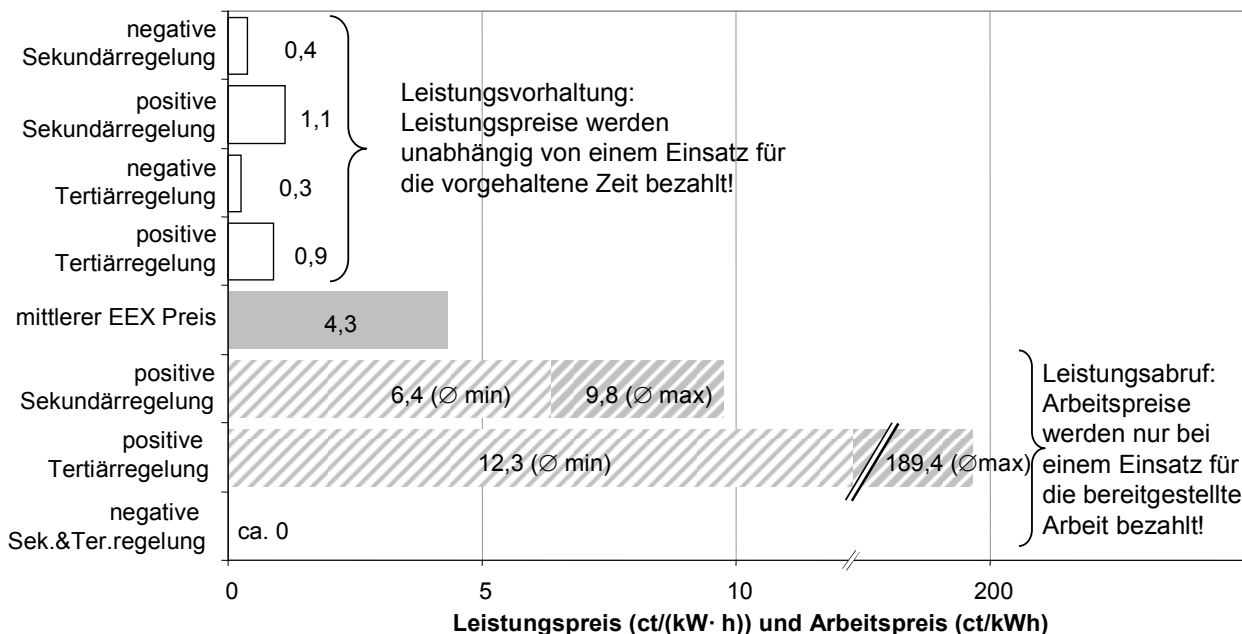


Abbildung 3: Mittlere Preise der Regelleistungsbereitstellung der vier ÜNB in 2005

Für negative Leistungsvorhaltung wird im Mittel 0,3 ct/(kW·h) für die Minutenreserve bzw. 0,4 ct/(kW·h) für die Sekundärregelung gezahlt. Die Vergütung für die positive Leistungsvorhaltung liegt bei 0,9 bzw. 1,1 ct/(kW·h). Damit liegen die Preise deutlich unter den Großhandelspreisen an der EEX. Ein Verkauf an der EEX bedingt aber auch einen ent-

sprechenden Brennstoffeinsatz, der bei der reinen Leistungsvorhaltung im Gegensatz zum Leistungsabruf nicht notwendig ist. Die Arbeitspreise für den positiven Regelleistungsabruf sind deutlich höher und liegen bei der Sekundärregelung zwischen 6,4 und 9,8 ct/kWh. Die Spannweite bei der Minutenreserve ist mit 12,3 bis 189,4 ct/kWh wesentlich höher. Die Mittelwerte basieren auf den Minimal- und Maximalarbeitspreisen jedes Ausschreibungszeitraums, derjenigen Anbieter, die einen Zuschlag erhalten haben. Im Gegensatz zur EEX, an der jeder Anbieter den gleichen Preis über das Market-Clearing-Price-Verfahren erhält, wird im Regelleistungsmarkt jedem Anbieter nach dem Pay-As-Bid-Verfahren der Preis aus seinem Angebot vergütet. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist zu berücksichtigen, dass i. d. R. zunächst die Kraftwerke mit einem niedrigen Arbeitspreis abgerufen werden. Die maximalen Arbeitspreise werden daher in der Praxis so gut wie nie bezahlt. Zur Kalkulation der zu erwartenden Erlöse ist eine Abrufhäufigkeit und -dauer abzuschätzen. Sekundärregelung wird aufgrund geringer Schwankungen der Frequenz vom Sollwert fast ununterbrochen abgerufen, dies zeigen auch die ¼-stündlichen Leistungsbilanzsaldi. Bei einem geringen Regelleistungsbedarf wird jedoch nur der Anbieter mit dem kleinsten Arbeitspreis abgerufen. Die Minutenreserve wird hingegen nur sehr selten abgerufen. Die Auswertung des von den vier ÜNB veröffentlichten tatsächlichen Einsatzes von Minutenreserve zeigt, dass im ersten Halbjahr 2006 in den Regelen von E.ON, EnBW und Vattenfall Minutenreserve jeweils mit einer relativen Häufigkeit von 0,2 bis 1,0 % eingesetzt wurde. Lediglich bei RWE ist der Abruf mit einer relativen Häufigkeit von 4,9 % höher. Die Arbeitspreise für negative Regelarbeit liegen i. d. R. bei 0 ct/kWh, d. h. der Bilanzkreisverantwortliche, der die Regelarbeit z. B. durch Reduzierung der Kraftwerksleistung bereitstellt, wird seinen Lieferverpflichtungen voll gerecht und muss nichts für die aufgenommene Überschussleistung bezahlen.

Kosten der veränderten Fahrweise für die Regelleistungsbereitstellung

Die Wärmenachfrage im Gebäude sollte immer gedeckt werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird die KWK-Anlage um einen Spitzenlastkessel (SLK) ergänzt, wobei im Rahmen des Projektes die KWK-Anlage auf einen Anteil von 25 % der thermischen Gebäudeauslegungsleistung dimensioniert wird. Im regulären Betrieb wird die KWK-Anlage wärmegeführt gefahren. Falls die Leistung der KWK-Anlage zur Deckung der thermischen Last nicht ausreicht, wird die fehlende Leistung durch den Spitzenlastkessel bereitgestellt. Die Kosten der veränderten Fahrweise für die Regelleistungsbereitstellung ergeben sich aus den Differenzen des Gasverbrauchs und der Stromerzeugung im Vergleich zur rein wärmegeführten Fahrweise. Neben den veränderten Energiebilanzen muss berücksichtigt werden, dass sich auch die spezifischen Kosten und Erlöse verändern. Aufgrund der Mineralöl- und Ökosteuerbefreiung für den Gasbezug für KWK-Anlagen ist der Arbeitspreis inkl. Mehrwertsteuer für den Spitzenlastkessel 0,64 ct/kWh höher als bei der KWK-Anlage. Je nach Betriebsmodell muss noch unterschieden werden, ob der KWK-Strom eingespeist wird oder Fremdstrombezug vermieden. Im ersten Fall wird die Ein-

speisevergütung bezahlt und im zweiten Fall werden die Arbeitskosten des Strombezugs gespart. Die mittleren Arbeitspreise und Vergütungssätze für das Jahr 2005 sind in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Tabelle 2: Grunddaten der Wirtschaftlichkeitsanalyse aus [9], [10], [11]

	Arbeitskosten (in ct/kWh)	Einspeisevergütung (in ct/kWh)
Strom	16,9	10,08 ^{*)}
Gas	SLK: 4,30 KWK: 3,66	-

^{*)} Summe aus üblicher Preis , KWK-Zuschlag, vermiedene Netznutzungsentgelte

Wird durch positive Regelleistungsvorhaltung oder negativen Regelleistungsabruf KWK-Erzeugung durch Erzeugung aus dem SLK substituiert, sinkt einerseits der Gasbezug des Gesamtsystems, da der Spitzenlastkessel einen höheren thermischen Wirkungsgrad aufweist als die KWK-Anlage, andererseits muss für den Gasbezug ein höherer Arbeitspreis von 4,3 ct/kWh anstelle von 3,66 ct/kWh bezahlt werden (vgl. Tabelle 2). Die Erlöse für den bei wärmegeführter Betriebsweise erzeugten Strom können nicht erwirtschaftet werden. In **Abbildung 4** sind exemplarisch für ein KWK-System die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit für eine Betriebsstunde durch negative Regelleistungsvorhaltung dargestellt.

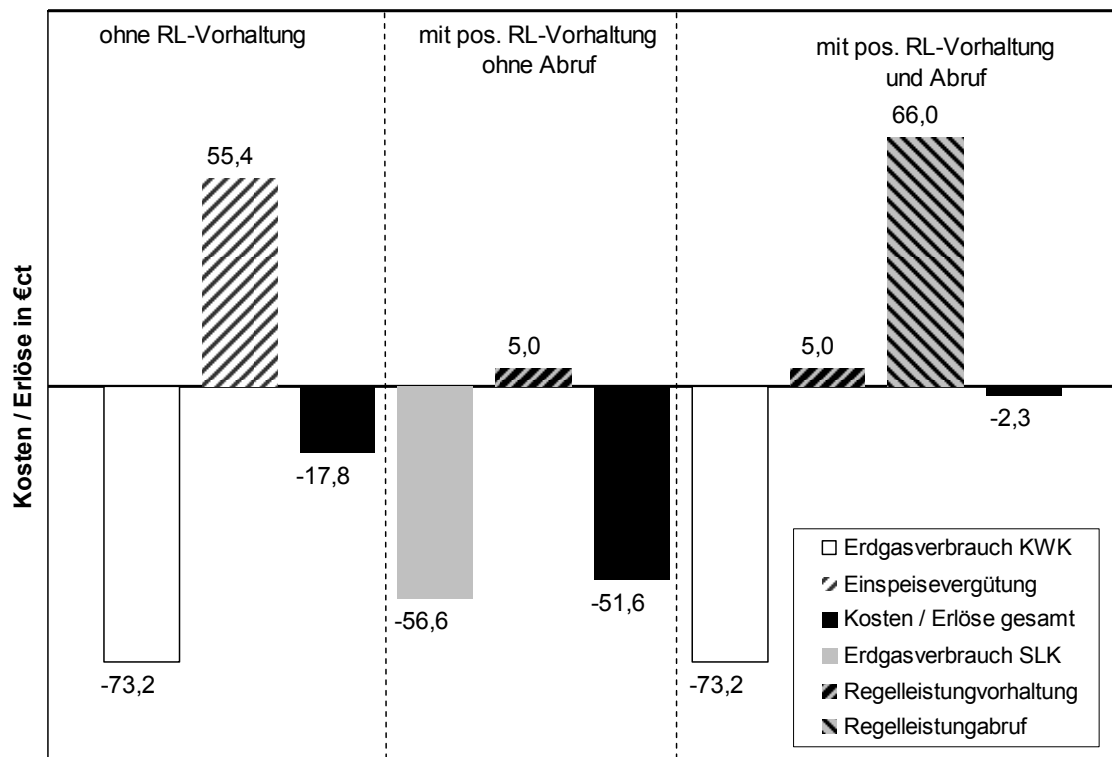


Abbildung 4: Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit durch Vorhaltung positiver Regelleistung

In diesem Beispiel wird angenommen, dass bei einer wärmegeführten Fahrweise (Fall „ohne Regelleistungsvorhaltung“) in der betrachteten Stunde die KWK-Anlage konstant mit einer thermischen Leistung von $12,5 \text{ kW}_{\text{th}}$ betrieben würde. Hierdurch entstehen Gasbezugskosten von 73,2 ct und es wird die Stromeinspeisung mit 55,4 ct vergütet, so dass insgesamt Kosten von 17,8 ct anfallen. Im Falle einer positiven Regelleistungsvorhaltung würde anstelle der KWK-Anlage der Spitzenlastkessel die Wärme von $12,5 \text{ kW}_{\text{th}}$ bereitstellen, hierdurch werden einerseits Erlöse für die Regelleistungsvorhaltung von 5,0 ct erwirtschaftet und die Gasbezugskosten aufgrund des höheren thermischen Wirkungsgrades auf 56,6 ct sinken, andererseits würde keine Stromeinspeisung mehr vergütet, so dass die gesamten Kosten auf 51,6 ct ansteigen würden. Im Falle eines Abrufs der positiven Regelleistung fallen durch den vergüteten Arbeitspreis in Summe Kosten von -2,3 ct an. Hierbei wird angenommen, dass die Stromeinspeisung während des Regelleistungsbabrufs nicht mit der üblichen Einspeisevergütung vergütet wird, sondern nur nach dem vorher gemeldeten Fahrplan.

Disponible Leistung

Um im Rahmen des Projektes die disponible Leistung zu bestimmen, muss im ersten Schritt die im TransmissionCode geforderte Zeitverfügbarkeit überprüft werden. Diese Anforderung ist erfüllt, wenn zu jedem Zeitpunkt des Ausschreibungszeitraums die zugesagte Leistung in der geforderten Aktivierungsgeschwindigkeit bereitgestellt werden kann. Im zweiten Schritt wird die Arbeitsverfügbarkeit getestet, d. h. es wird die maximale Abrufdauer der geforderten Regelleistung simuliert. Falls beide Kriterien erfüllt sind, kann in dem untersuchten Ausschreibungszeitraum die entsprechende Regelleistung angeboten werden.

Die Simulation einer motorischen Mikro-KWK-Anlage zur Bereitstellung von Regelleistung in einer Regelzone mit einer NT- und einer HT-Phase zeigt, dass die Vorhaltung positiver Regelleistung an allen Wochentagen zu jedem Ausschreibungszeitraum möglich ist, da die verminderte KWK-Erzeugung durch den Spitzenlastkessel ausgeglichen werden kann. Die Vorhaltung negativer Regelleistung bzw. der Abruf positiver Regelleistung über den gesamten Ausschreibungszeitraum ist jedoch nur in Zeiten einer entsprechenden thermischen Nachfrage im Gebäude möglich. An heiteren und trüben Wintertagen ist sowohl die Vorhaltung als auch der Abruf der Regelleistung technisch machbar. An einem trüben Übergangstag ist zumindest die Regelleistungsbereitstellung in dem Ausschreibungszeitraum von 6.00 bis 22.00 Uhr realisierbar, wohingegen an heiteren Übergangstagen und an Sommertagen keine Regelleistung bereitgestellt werden kann.

5 Fazit

Die aktuellen Ausschreibungsbedingungen des Regelleistungsmarktes weisen eine Reihe von Hürden für Mikro-KWK-Anlagen auf. Dennoch ist ein Einsatz im Bereich der Minutenreserve bereits heute denkbar. Die Vorhaltung positiver und der Abruf negativer Regelleistung stellt i. d. R. kein technisches Problem dar, da in diesen Zeiten der Spitzenlastkessel die thermische Last decken kann. Begrenzt wird das technische Potenzial durch die Vorhaltung negativer und dem Abruf positiver Regelleistung in Zeiten geringer thermischer Last durch die Speicherkapazität des Pufferspeichers. Daher kann insbesondere an Sommertagen und heiteren Übergangstagen keine Regelleistung bereitgestellt werden. Durch die Regelleistungsbereitstellung ändert sich die Fahrweise der KWK-Anlagen. Hierdurch ergibt sich die Notwendigkeit einer Fahrplanmeldung, da ansonsten durch die Regelleistungsvorhaltung ein Leistungsbilanzsaldo verursacht werden kann. Die spezifischen Erlöse für die Leistungsvorhaltung sind mit kleiner 1 ct/(kW·h) im Vergleich zu einer Einspeisevergütung von ca. 10 ct/(kW·h) bzw. von vermiedenen Strombezugskosten von ca. 17 ct/(kW·h) vergleichsweise gering. Daher sollte nur zu den Zeiten Regelleistung vorgehalten werden, in denen sich die zu erwartende Stromerzeugung mittels KWK nicht wesentlich verringert.

Referenzen

- [1] Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung: Verschiedene Informationen, Website unter www.bkww.de, Berlin 2006
- [2] Wärme- und Heizkraftwirtschaft in Deutschland: Arbeitsbericht 2004 der AGFW, Frankfurt am Main, 2005
- [3] Blesl, M.; Fahl, U.; Voß, A.: Wirksamkeit des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes, *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 56. Jg. (2006), Heft 4, Essen, 2006
- [4] Enquête-Kommission des Bundestags: Nachhaltige Energieversorgung, Bundestags-Drucksache 14/9400, Ziffer 870, Berlin 2002
- [5] Arndt, U.; v. Roon, S.; Wagner, U.: Virtuelle Kraftwerke: Theorie oder Realität?, *bwk*, Heft 6, 2006
- [6] Arndt, U.; v. Roon, S.: Innovative KWK-Systeme – Ersatz für Heizungen und Kraftwerke?, Tagungsband des 37. Kraftwerkstechnischem Kolloquium, Dresden, 2005
- [7] Mühlbacher, H.; Arndt, U.; Schwärzer, M.; Geiger, B.: Wärmeezeuger für die Raumheizung und Warmwasserbereitung – Verbundprojekt ISOTEG, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München, 2002
- [8] Verband der Netzbetreiber: TransmissionCode 2003 – Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Berlin, 2003
- [9] Bund der Energieverbraucher, Website unter <http://www.energienetz.de>, 27.01.2006
- [10] European Energy Exchange AG, Leipzig, Website unter <http://www.eex.de>
- [11] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, *Bundesgesetzblatt* 2002 Teil 1, Nr. 19 vom 22.03.2002

Kontaktinformation des Autors:

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Am Blütenanger 71

80995 München

Dipl.-Ing. Serafin von Roon (sroon@ffe.de)