

FORSCHUNGS- REPORT [ws 2014/15]

■ ■ ■ für den Maschinenbau in Baden-Württemberg

ISSN 2196-8659

Stromoptimierter Betrieb von KWK-Anlagen durch intelligentes Pufferspeichermanagement

Gegenwärtig werden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) überwiegend wärmegeführt und damit wie ein klassischer Wärmeerzeuger betrieben. Dieses bedeutet konkret, dass das KWK-Gerät anläuft, sobald die Anlage einen Wärmebedarf im Gebäude beispielsweise durch eine absinkende Vorlauftemperatur oder eine zu geringe Temperatur im Wärmespeicher detektiert. Dem entsprechend schaltet das Gerät ab, sobald die Heizkreis- oder die Speichertemperatur einen oberen Grenzwert erreicht. Die parallel vom KWK-Gerät produzierte elektrische Energie fällt dabei quasi ungesteuert zu den Zeiten der Wärmeerzeugung an und somit unabhängig davon, ob ein Bedarf an elektrischer Energie vorliegt oder nicht. Offensichtlich ist diese Betriebsweise nicht optimal, insbesondere im Hinblick auf die steigende, ebenfalls nicht steuerbare Stromproduktion auf Basis der erneuerbaren Energien Wind und Sonne.

Abhilfe kann hier ein Energiespeicher schaffen, um die im KWK-Gerät parallel erzeugten Energien Strom und Wärme zeitlich zu entkoppeln und unterschiedlichen Bedarfsmustern zuzuführen. In einem ersten Schritt ist man versucht, an dieser Stelle einen Stromspeicher in Form von Batterien einzuplanen, um die eingangs beschriebene wärmegeführte Betriebsweise und damit die Wärmedeckung im Objekt beibehalten zu können. Der elektrische Strom würde in diesem Fall gespeichert und zu Bedarfszeiten abgerufen werden können. Nicht zuletzt aus der E-Mobilität ist jedoch bekannt, dass die Entwicklung geeigneter Batterien mit ausreichend langer Lebensdauer und vertretbaren Kosten bei weitem noch nicht abgeschlossen ist. Auch im Bereich der Photovoltaik ist die Ausrüstung der Anlagen mit Batteriespeichern trotz der besseren Anpassung an den jeweiligen Strombedarf nicht unbedingt lohnend. Für den Einsatz von Batteriespeichern in KWK-Anlagen ist ein ähnliches Szenario zu erwarten, was sich durch entsprechende Wirtschaftlichkeitsrechnungen belegen lässt.

In KWK-Anlagen stellt die Variante einer Batterie aber nicht die einzige Möglichkeit der Energiespeicherung dar. Aufgrund der Erzeugung

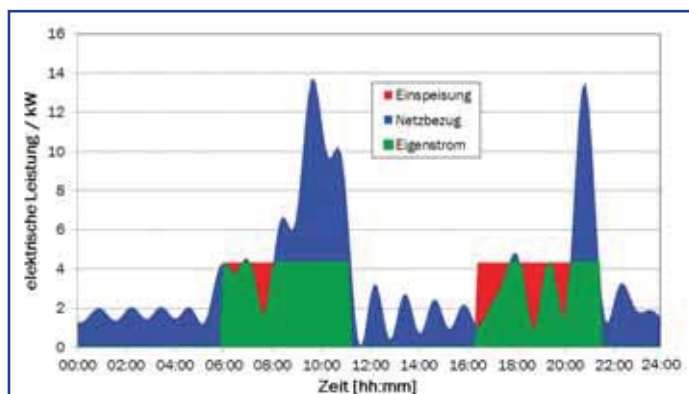


Bild 1: Eigenstromoptimierung im Einfamilienhaus (KWK-Anlage mit 4,3 kW_e)

zweierlei Formen Nutzenergie, Strom und Wärme, kann auch die Wärmeenergie in einen thermischen Speicher eingebracht werden, um das KWK-Gerät auf diese Weise vornehmlich zu Zeiten mit hohem Strombedarf zu betreiben und die Heizwärme bei Bedarf aus dem Wärmespeicher abzurufen. Bei näherer Betrachtung kommt diese Anordnung den speziellen Randbedingungen beim Betrieb eines KWK-Gerätes viel mehr entgegen als ein Batteriespeicher. Genau genommen werden KWK-Anlagen bereits mit einem Wärmespeicher, dem sogenannten Pufferspeicher, ausgerüstet, um ausreichend lange Betriebszeiten für das KWK-Gerät zu gewährleisten und so den mit Blick auf die Lebensdauer und den Wartungsaufwand schädlichen Taktbetrieb der Geräte zu vermeiden. Ziel muss es demnach sein, den Pufferspeicher für eine am Strombedarf orientierte Betriebsweise der KWK-Anlage zu ertüchtigen. Wie Bild 1 zeigt, sind die für die Deckung des Wärmebedarfs erforderlichen Betriebsstunden demnach zeitlich so zu abzustimmen, dass eine maximale Eigenstromnutzung möglich ist.

Eine auf diese Anwendung ausgerichtete Steuerung wird derzeit am Reutlingen Research Institute (RRI) der Hochschule Reutlingen im Rahmen eines vom Umweltministerium Baden-Württemberg über das Programm BWPLUS geförderten Forschungsprojektes entwickelt. Zweck der Steuerung ist es, ein intelligentes Energie- oder besser Wärmemanagement des Pufferspeichers zu ermöglichen, das den Betrieb der KWK-Anlage nicht mehr am momentanen Wärmebedarf, sondern in erster Linie am Strombedarf im Objekt ausrichtet ohne dabei auf die Wärmenutzung zu verzichten. Die letztgenannte Bedingung ist unabdingbar, da ansonsten ein Einsatz der KWK-Anlage nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch im Hinblick auf die Energieeffizienz nicht mehr sinnvoll wäre. Neben der vollständigen Wärmenutzung gilt es zudem, die Belange des KWK-Gerätes im Hinblick auf die Vermeidung von Taktbetrieb und unwirtschaftlichem Teillastbetrieb zu berücksichtigen.

Nach derzeitigem Status im Projekt, das am 1.12.2012 begonnen wurde und auf 3 Jahre konzipiert ist, besteht die Steuerung gemäß Bild 2 aus den Blöcken Prognose, Speicherenergieberechnung, Fahrplanerstellung und Ad-hoc Ereignisse. Im Block Prognose werden die Bedarfsprofile für Strom und Nutzwärme jeweils für den Folgetag abgeschätzt. Zu diesem Zweck werden sowohl eine aktuelle Wetterprognose abgerufen als auch Bedarfsprofile aus der Vergangenheit verwendet. Dabei hat sich sowohl beim Strom- als auch beim Wärmebedarf gezeigt, dass die Bedarfsprofile aus der jüngsten Vergangenheit die besten Vorhersagen erlauben. Auf diese Weise ist das System schnell einsatzbereit, und es muss nicht abgewartet werden, bis eine für eine belastbare Prognose ausreichende Menge vergangenheitsbezogener Daten vorliegt.

Die Berechnung des Energieinhaltes im Speicher bezieht sich nicht allein auf die Wärmeenergie, sondern auch auf die verfügbaren Temperaturen. Diese Erweiterung ist erforderlich, da sowohl zur Trinkwasser-

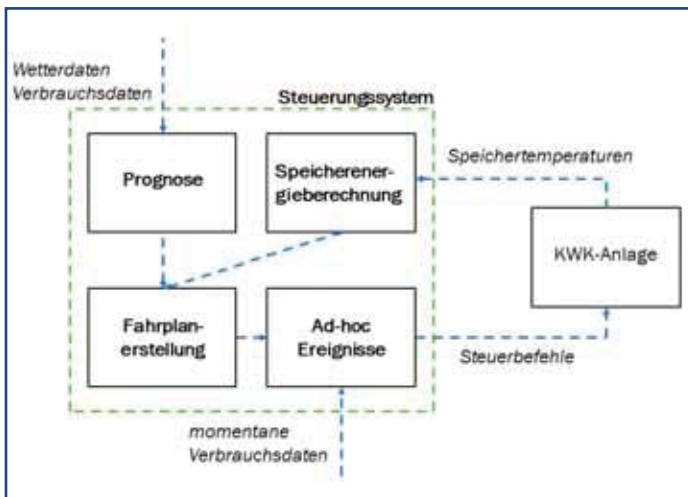


Bild 2: Grobstruktur des Steuerungssystems

erwärmung als auch zur Versorgung des Heizungssystems neben der erforderlichen Wärmeenergie auch eine bestimmte Vorlauftemperatur gehalten werden muss. Dabei sollten die erforderlichen Berechnungen auf Basis der standardmäßig am Pufferspeicher von KWK-Anlagen verbauten 3 Temperaturfühler möglich sein, was durch entsprechende Korrelationsfunktionen erreicht wird.

Der Block Fahrplanerstellung stellt den Kern des Steuerungssystems dar. Hier wird der Einsatzplan des KWK-Gerätes erstellt, der eine möglichst hohe Deckung des elektrischen Bedarfs erbringen soll bei gleichzeitig kompletter Nutzung der KWK-Wärme zu Heizzwecken. Als weitere Randbedingung sind die Belange des KWK-Gerätes im Hinblick auf die Begrenzung von Teillastbetrieb und eine übermäßige Anzahl Gerätestarts zu beachten. Der nachgeschaltete Block Ad-hoc Ereignisse soll die Möglichkeit einer nachträglichen Fahrplankorrektur einräumen, die aufgrund von aktuellen und nicht vorhersehbaren Ereignissen erforderlich werden kann. Hintergrund und Ursache für das Vorhalten dieser Option ist die begrenzte Güte der Vorhersagbarkeit der Strom- und Wärmelastprofile im Rahmen der Prognose, was durch das variable Nutzerverhalten bedingt ist.

Zur Entwicklung, Validierung und Optimierung der so konzipierten Steuerung dient in der ersten Phase ein auf MATLAB-Simulink basierendes Simulationstool, in dem die KWK-Anlage bestehend aus KWK-Gerät, Pufferspeicher und Zusatzkessel abgebildet wird. Da der Pufferspeicher das zentrale Element des Systems darstellt, wurde besonderer Wert auf eine detaillierte Modellierung dieser Komponente gelegt. Konkret ist der Pufferspeicher zu diesem Zweck in eine beliebige Anzahl Bilanzzonen entlang des Temperaturgradienten unterteilt, um insbesondere die Temperaturschichtung möglichst realistisch nachbilden zu können. Berechnet werden der Wärmeaustausch zwischen den einzelnen Schichten aufgrund der von den Wärmeerzeugern und den Verbrauchern aufgeprägten Stoffströme sowie aufgrund von Wärmeleitung infolge der Temperaturunterschiede zwischen den Schichten. Ebenso werden Wärmeverluste an die Umgebung eingerechnet. Das Simulationsmodell selbst wurde mit Hilfe von Versuchen am BHKW-Prüfstand der Hochschule Reutlingen abgeglichen und validiert (s. Bild 3). Hier stehen Mikro-KWK-Geräte verschiedener Bauart mit elektrischen Leistungen von 1,0 bis 4,7 kW und thermischen Leistungen zwischen 2,5 und 12,0 kW zur Verfügung. Ebenso können Pufferspeicher mit verschiedenen Volumina zwischen 300 und 800 Litern und unterschiedlicher Bauart – mit und ohne Wärmetauscherwendel – eingesetzt werden. Durch ein



Bild 3: Messaufgaben am BHKW-Prüfstand der Hochschule Reutlingen

Creating Tool Performance

A member of the UNITED GRINDING Group

KARRIERE BEI WALTER – WELTWEIT ZU HAUSE

Als System- und Lösungsanbieter für die Werkzeugbearbeitung sind WALTER und das Schwesterunternehmen EWAG weltweit die Nummer 1. Unser technologisch anspruchsvolles Produktprogramm umfasst CNC-Maschinen zum Schleifen und/oder Erodieren von Metall-/Holz- und PKD-Werkzeugen, CNC-Messmaschinen sowie hierfür eigenentwickelte Software. Damit bietet WALTER innovative und international ausgerichtete Tätigkeitsfelder und Karrierechancen für Young Professionals bzw. Studierende der ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studienrichtungen.



komfortables und gut ausgebautes Steuerungskonzept können am Prüfstand zudem nahezu beliebige Bedarfsprofile aufgeprägt und abgefahren werden. Auf diese Weise ist es inzwischen möglich, die Temperaturverteilung im Pufferspeicher und damit den Energieinhalt mit ausreichend hoher Genauigkeit zu berechnen.

Der Prüfstand wird außerdem genutzt, um das in der ersten Phase mit Hilfe des Simulationstools entwickelte Steuerungssystem an einer realen KWK-Anlage zu erproben und eine Verifizierung und Optimierung auf Basis konkreter Versuchsdaten vorzunehmen. Im weiteren Fortgang des Projektes soll die Steuerung an zwei Anlagen im Feld getestet werden, wovon eine Anlage bereits aufgebaut ist. Hier handelt es sich um ein Mikro-KWK-Gerät ecopower 1.0, das zusammen mit einem Spitzenlastkessel und einem 800 Liter-Pufferspeicher zur Versorgung eines Einfamilienhauses dient. Die Heizanlage ist komplett mit Zählern für die Wärmeerzeugung, den Wärmeverbrauch, die Stromerzeugung des

KWK-Gerätes, den Stromverbrauch und die Erdgasverbräuche ausgestattet (vgl. Bild 4). Auf diese Weise können sowohl die Bedarfsprofile aufgezeichnet als auch die Prognosewerte mit den aktuellen Werten verglichen werden. Außerdem sind insgesamt sieben Temperaturfühler über der Höhe des Pufferspeichers angebracht worden, um die Berechnung der Temperaturverteilung und des Energieinhaltes überprüfen zu können. Die Steuerung selbst ist auf einer SPS aufgebaut und kann über das Internet von der Hochschule aus überwacht und justiert werden. Derzeit dient diese Anlage noch der Überprüfung und Verfeinerung der Algorithmen zur Bedarfsprognose. Demnächst sollen die Blöcke Fahrplanerstellung und Ad-hoc Ereignisse hinzukommen, um letztendlich den angestrebten stromorientierten Betrieb unter realen Randbedingungen zu ermöglichen. Dabei gilt es, neben der generellen Eignung des Steuerungssystems den Mehrwert dieser Betriebsart gegenüber der heute vorherrschenden wärmegeführten Betriebsweise von KWK-Anlagen herauszuarbeiten.

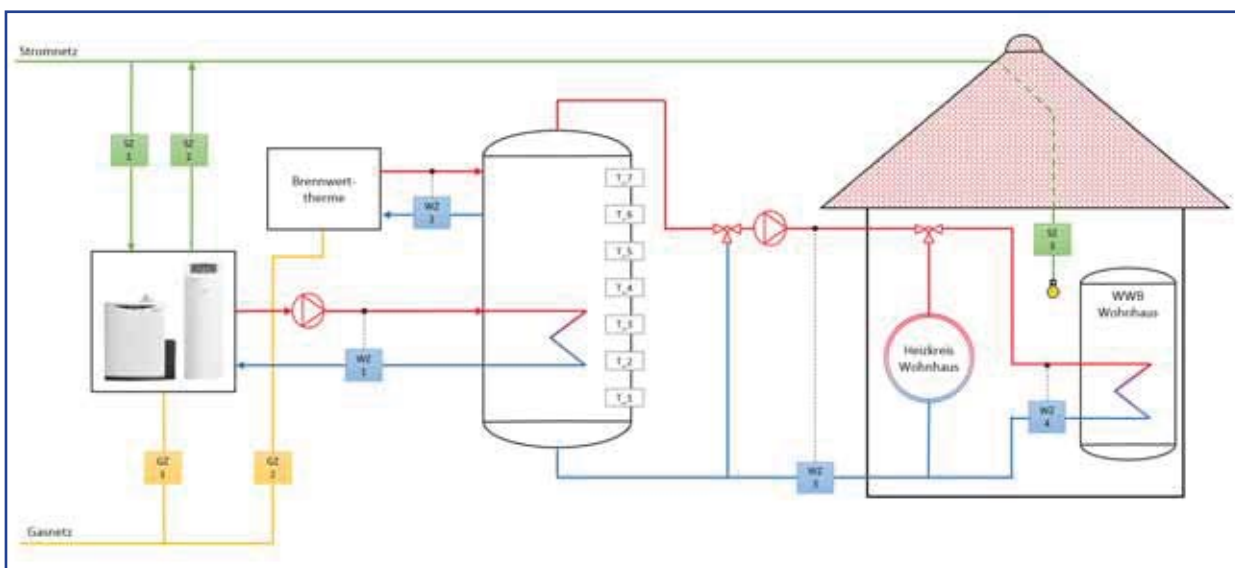


Bild 4: Instrumentierungsschema der Feldtestanlage

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bernd Thomas
Christine Widmann M.Sc.
Daniel Lödige M.Sc.

Reutlingen Research Institute (RRI)
Hochschule Reutlingen
Alteburgstr. 150, D-72762 Reutlingen

Tel.: +49 (0) 7121 / 271-7041
Fax: +49 (0) 7121 / 271-1404
E-Mail: bernd.thomas@reutlingen-university.de
www.reutlingen-university.de