

BEDARFSGERECHTE STEUERUNG DEZENTRALER ENERGIESYSTEME AM BEISPIEL DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Patrick HAASE^{1*}, Bernd THOMAS²

Inhalt

Durch den zunehmenden Ausbau der volatilen Energieerzeugung im Zuge der Energiewende bedarf es vermehrt verschiedener Instrumente für den Erhalt der Versorgungssicherheit im elektrischen Verbundnetz. Die Kopplung mit flexiblen und netzdienlich steuerbaren Erzeugungseinheiten im Wärmesektor – insbesondere mit Kraft-Wärme-Kopplungs- (KWK-) Geräten und Wärmepumpen – bietet hierbei großes Potenzial. Die bedarfsgerechte Steuerung jener Erzeugungsanlagen kann damit einen entscheidenden Beitrag zur Deckung bzw. Reduktion der Residuallast leisten und so zur Stützung der Verteilnetze beitragen. Entgegen der wärmegeführten Betriebsweise verschiebt die bedarfsgerechte Steuerung die Betriebszeiten dafür bewusst in Zeiträume mit hohem Strombedarf (KWK-Optimierung) bzw. hoher Stromerzeugung (Wärmepumpen-Optimierung) und passt sich damit den Gegebenheiten im elektrischen Energiesystem an. Um diese optimierte Kopplung mit dem Stromsektor bei gleichzeitiger Deckung des Wärmebedarfs unter Gewährleistung der maximalen Effizienz der Geräte umzusetzen, ist ein Energiespeicher in Verbindung mit einem intelligenten Speichermanagement erforderlich.

Methodik

Der für die genannten Anforderungen entwickelte Steuerungsalgorithmus berechnet auf Basis von historischen Verbrauchsdaten und aktuellen Anlagedaten einen optimierten Fahrplan für den Betrieb der thermischen Erzeugungseinheit, die Teil eines mehr oder weniger komplexen Energiesystems ist. Denkbar sind hierbei verschiedene Kombinationen. Als Basiskomponenten kommen ein KWK-Gerät oder eine Wärmepumpe in Verbindung mit einem Wärmespeicher in Frage. Dieses Basissystem ist flexibel erweiterbar; beispielsweise durch einen Zusatzkessel, einen Batteriespeicher, eine Photovoltaik-Anlage oder auch eine Solarthermie-Anlage. In dieser Abhandlung liegt der Schwerpunkt auf der Steuerung eines KWK-Geräts in Verbindung mit einem Wärmespeicher. Die Fahrplanoptimierung basiert auf einem stochastisch-heuristischen Verfahren, dem sogenannten Monte-Carlo-Verfahren. Hierbei wird aus einer gewissen Anzahl an zufälligen Lösungen die „beste“ Lösung hinsichtlich einer flexibel wählbaren Zielgröße (Eigenstromdeckung, Residuallast, etc.) bestimmt. Ein großer Vorteil dieser Methode stellt die einfache Implementierung weiterer Nebenbedingungen dar; beispielsweise die Begrenzung der Startvorgänge der Erzeugungseinheit oder die Minimierung der Betriebszeit des Zusatzkessels [1].

Zur praktischen Anwendung der Steuerung stehen zwei Umsetzungsvarianten zur Verfügung, die in *Abbildung 1* an einer KWK-Anlage schematisch dargestellt sind. Eine Möglichkeit bietet die rein lokale Umsetzung auf einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS); beispielsweise direkt auf dem Steuergerät des KWK-Geräts oder der Wärmepumpe. Zur Erprobung dieser Variante wurde der ursprünglich in MATLAB entwickelte Steuerungsalgorithmus in eine CoDeSys-Version übersetzt und auf eine WAGO-SPS implementiert. Eine weitere Möglichkeit stellt eine über das Internet aufrufbare Serviceanwendung dar. Ein Webservice in Verbindung mit einer Datenbank ermöglicht dabei die Kommunikation zwischen dem auf einem globalen Server ausgeführten und in eine Python-Version übersetzten Steuerungsalgorithmus und mehreren (beliebig vielen) Energiesystemen. Eine Web-App erlaubt dem Benutzer dabei das Anlegen und Verwalten von Energiesystemen. Die bedarfsgerechte Steuerung wurde am KWK-Prüfstand der Hochschule Reutlingen auf Basis von gemessenen Lastprofilen zweier Einfamilienhäuser ausführlich erprobt; die Ergebnisse sind im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

¹ Hochschule Reutlingen, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen, patrick.haase@reutlingen-university.de, www.reutlingen-university.de

² Hochschule Reutlingen, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen, +49 7121 271-7041, bernd.thomas@reutlingen-university.de, www.reutlingen-university.de

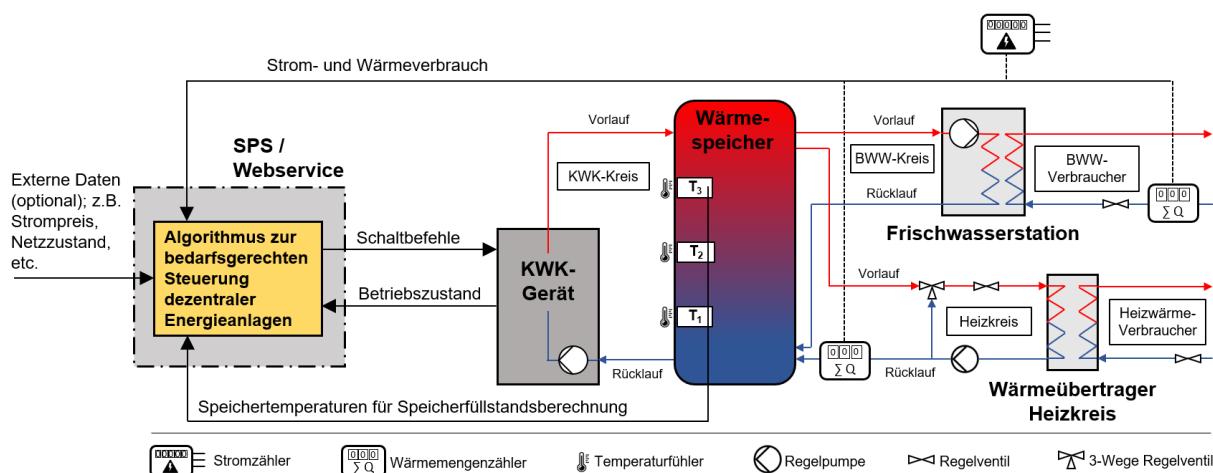


Abbildung 1 – Umsetzung der Steuerung an KWK-Anlage

Ergebnisse

Umfangreiche Tests am KWK-Prüfstand der Hochschule Reutlingen haben gezeigt, dass der Steuerungsalgorithmus in der Lage ist, ein Energiesystem unter realistischen Bedingungen zuverlässig und optimiert zu betreiben. Unter der Zielgröße „Optimierung der Eigenstromdeckung“ werden die Laufzeiten des KWK-Geräts (bei Möglichkeit) stets in Phasen mit hohem elektrischen Verbrauch gelegt. Auf diese Weise konnte in den durchgeführten Tests die Eigenstromdeckung um bis zu 27 % gegenüber dem wärmegeführten Betrieb gesteigert werden. Das KWK-Gerät folgt dem berechneten Fahrplan dabei mit hoher Genauigkeit, wobei das interne Steuergerät mit all seinen Sicherheitsfunktionen der bedarfsgerechten Steuerung stets überlagert ist. Damit ist ein sicherer Betrieb zu jeder Zeit garantiert. Das Optimierungspotenzial ist von drei Einflussgrößen entscheidend abhängig: Dem Verlauf des elektrischen Lastprofils, der effektiven Speicherkapazität sowie der Prognosegüte der Bedarfsdaten. Allgemein gilt, ein elektrisches Lastprofil mit ausgeprägten Lastspitzen und einer geringen Grundlast birgt ein größeres Potenzial im Vergleich zu einem Profil mit nur wenig ausgeprägten Lastspitzen. Zudem bringen eine größere effektive Speicherkapazität und eine bessere Prognosegüte ein höheres Optimierungspotenzial mit sich [2].

Ausblick und Fazit

Neben der bedarfsgerechten Steuerung bedient der entwickelte Algorithmus ein weiteres Anwendungsfeld: Den vorhersagbaren KWK-Betrieb, den der Gesetzgeber z.B. in Form von täglichen Einspeiseprognosen durch den Redispatch 2.0 einfordert. Diese Vorhersageanforderung kann dabei durch den Algorithmus auf zwei Weisen erfüllt werden: Zum einen kann direkt der zukünftige wärmegeführte KWK-Betrieb prognostiziert werden. Die dabei erzielbare Prognosegüte ist stark von der vorhandenen Messtechnik und der Prognosegüte der Verbrauchsdaten abhängig. Eine andere Möglichkeit stellt wiederum die Steuerung der Anlage im bedarfsgerechten Betrieb dar. Der dabei berechnete optimierte Fahrplan entspricht gleichzeitig der Vorhersage des KWK-Betriebs. Diese Variante bringt zwei Vorteile mit sich: Zum einen wird das Energiesystem hinsichtlich einer Zielgröße optimiert betrieben, zum anderen liegt aufgrund der erzielbaren hohen Fahrplanreue eine hohe Prognosegenauigkeit vor.

Zusammenfassend ermöglicht der entwickelte Algorithmus die netzdienliche Integration dezentraler Energiesysteme in das elektrische Verbundnetz, um so zum Gelingen der Energiewende beizutragen.

Referenzen

- [1] Widmann, C., Lödige, D., Toradmal, A., Thomas, B., „Enabling CHP units for electricity production on demand by smart management of the thermal energy storage“, Applied Thermal Engineering, 114 (2017), S. 1487-1497, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.065
- [2] Haase, P., Thomas, B., „Test and optimization of a control algorithm for demand-oriented operation of CHP units using hardware-in-the-loop“, Applied Energy 294 (2021) 116974, doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116974