

Techno-ökonomische Optimierung eines innovativen Kraft-Wärme-Kopplungs-Systems unter Berücksichtigung regulatorischer Rahmenbedingungen (Master thesis)

Autor: Alexander Matter
Erstprüfer: Univ.-Prof. Dr.-Ing Aaron Praktiknjo
Betreuung: Jan Priesmann, M. Sc.; Marius Tillmanns, M. Sc.

Kurzfassung

Die Ziele der Energiewende sind die nachhaltige Deckung des Energiebedarfs mit dem gleichzeitigen Erreichen der Klimaziele. Für eine zeitnahe Änderung bedienen sich Gesetzgeber regulatorischer Werkzeuge, wie Förderprogrammen. Diese Programme definieren Rahmenbedingungen für Energiesystembetreiber zur Umsetzung neuartiger Systeme.

In diesem Kontext werden systemdienliche Energiesysteme von der Bundesregierung finanziell gefördert, die durch Einbindung Erneuerbarer Energien bedingte Schwankungen ausgleichen sollen. Ein nach § 5 Abs. 2 KWKG im Jahr 2017 eingeführtes Förderprogramm ist die innovative Kraft-Wärme-Kopplung. Ob ein solches System auch wirtschaftlich und netzdienlich betrieben werden kann, und inwiefern die regulatorischen Bedingungen die Auslegung und Betriebsführung beeinflussen, wird in dieser Arbeit untersucht.

Gegenstand dieser Analyse ist die Entwicklung eines gemischt-ganzzahligen linearen Optimierungsmodell für ein innovatives Kraft-Wärme-Kopplungs-System. In Anlehnung an Arbeiten, die die Einbindung von regulatorischen Nebenbedingungen untersuchen, wird ein mathematisches Modell formuliert. Anhand eines Anwendungsfalls aus der Industrie werden verschiedene Szenarien und Sensitivitäten zur Untersuchung des entwickelten Systems unter Einbezug der Forschungsfragen aufgestellt.

Das Modell findet eine wirtschaftlich optimale Lösung. Ein System ist so lange netzdienlich bis der Brennstoff- oder Strommarktpreis eine spezifische Schwelle unter- bzw. überschreitet. Der ermittelte Mindestförderbetrag, der zu realistischen Erzeugerdimensionen und Betriebsweisen führte, beträgt 9 Cent/kWh für den eingespeisten KWK-Strom. Elektrodenkessel tragen in den betrachteten Szenarien aufgrund der geringen Auslastung nur geringfügig zur Wirtschaftlichkeit und zur Netzdienlichkeit bei. Der Elektrodenkessel bezieht seine Antriebsenergie in den aufgestellten Szenarien durchschnittlich zu negativen Strompreisen. Zusätzlich ist die Einbindung eines Wärmespeichers in Kombination mit innovativer erneuerbarer Wärmeenergie ein zentraler Punkt in der Auslegung eines innovativen Kraft-Wärme-Kopplungs-Systems. Aus den aufgestellten Untersuchungen zeigt sich im Allgemeinen, dass die Förderbedingungen einen monetären Anreiz zum Erreichen der wirtschaftlichen und netzdienlichen Ziele liefern. In Bezug auf die Einbindung der Power-To-Heat-Anlage ist das Förderprogramm noch verbesserungswürdig. In Zukunft können Modelleigenschaften verschärft, Eingangsgrößen präzisiert und Wechselwirkungen weiter untersucht werden.

Abstract

The goal of the energy transition is to sustainably meet energy demand while simultaneously achieving climate targets. For a timely change, legislators use regulatory tools such as support programs. These programs define framework conditions for energy system operators to implement novel systems.

In this context, system-serving energy systems are financially supported by the federal government, which are intended to compensate for fluctuations caused by the integration of renewable energies. One funding program introduced in 2017 in accordance with § 5 Section 2 of the KWKG (engl.: combined heat and power law) is innovative cogeneration. Whether such a system can also be operated economically and in a grid-serving manner, and to what extent the regulatory conditions influence the design and operation management, is investigated in this thesis.

The subject of this analysis is the development of a mixed-integer linear optimization model for an innovative cogeneration system. A mathematical model is formulated following work that investigates the incorporation of regulatory constraints. Based on a use case from industry, different scenarios and sensitivities for the investigation of the developed system are set up, taking into account the research questions.

The model finds an economically optimal solution. A system is grid-serving until the fuel or electricity market price falls below or exceeds a specific threshold. The minimum subsidy calculated, which led to realistic generator dimensions and operating modes, is 9 cents/kWh for the CHP electricity fed into the grid. In the scenarios considered, electrode boilers contribute only slightly to economic efficiency and grid efficiency due to low utilization. On average, the electrode boiler obtains its drive energy at negative electricity prices in the scenarios presented. In addition, the integration of a heat storage in combination with innovative renewable heat generation is a central point in the design of an innovative cogeneration system. In general, the studies show that the subsidy conditions provide a monetary incentive to achieve the economic and grid-serving goals. With respect to the integration of the Power-To-Heat plant, the subsidy program still needs improvement. In the future, model properties can be tightened, input variables can be made more precise, and interactions can be further investigated.