

Leistungszahl) sollen automatisch erkannt werden, um auf günstigere Erzeuger umzustellen und so im Jahresverlauf bessere Gesamt Arbeitszahlen zu erreichen. Die Beurteilung der Erzeuger kann unter ökonomischen wie ökologischen Aspekten erfolgen. Verschiedene Einflussfaktoren können Berücksichtigung finden. Die vorgenommenen Auswertungen berücksichtigen die Preise bzw. CO₂ Emissionswerte der Primärenergie. Es könnten aber z. B. auch kapital bzw. betriebsgebundenen Kosten bzw. deren CO₂ Emissionen Berücksichtigung finden.

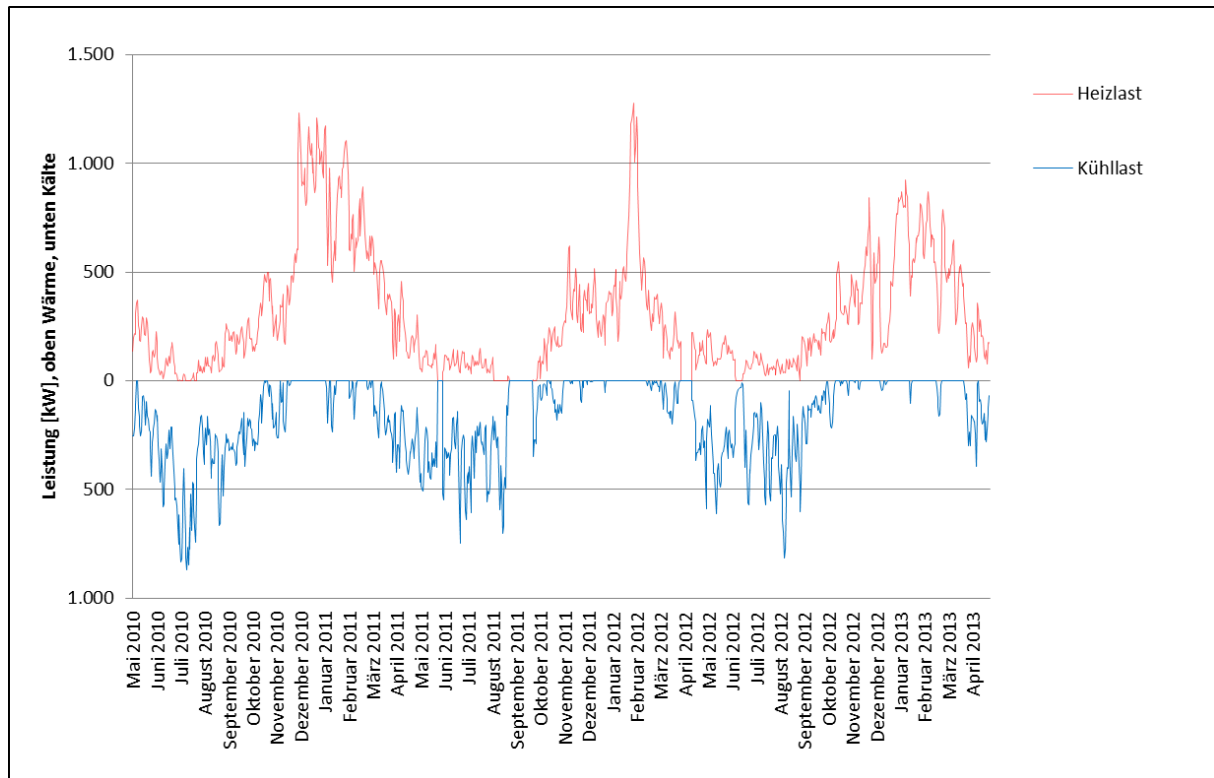


Bild 2: Lastgang

Die Auswertungen erfolgten mittels eines validierten Simulationsmodells. Dieses bildet den Ausschnitt einer realen Erzeugungsanlage ab und berücksichtigt Anlagenaufbau (vgl. Bild 1), zugehörige Erzeugerkennlinien und eine das Realverhalten beschreibende Regelung. Der Lastgang (vgl. Bild 2) ist mit zugehörigem Temperaturverlauf (vgl. Bild 3) für einen Zeitraum von drei Jahren hinterlegt. Die Abweichungen zwischen Realdaten und Simulationsergebnisdaten von Vorlauftemperaturen, Erzeugungsleistung und die Verteilung auf die unterschiedlichen Erzeuger deuten auf ein realistisches Verhalten des validierten Simulationsmodells hin. Aus datenschutzrechtlichen Gründen und der möglichen Rückschlüsse auf den Nutzerbetrieb wird aus diesem validierten Simulationsmodell eine losgelöste Basisvariante erstellt. Zwecks Anonymisierung sind insbesondere die Kennlinien der Erzeuger ersetzt. Diese Basisvariante weist aber weiterhin eine deutliche Übereinstimmung mit der Realanlage auf.

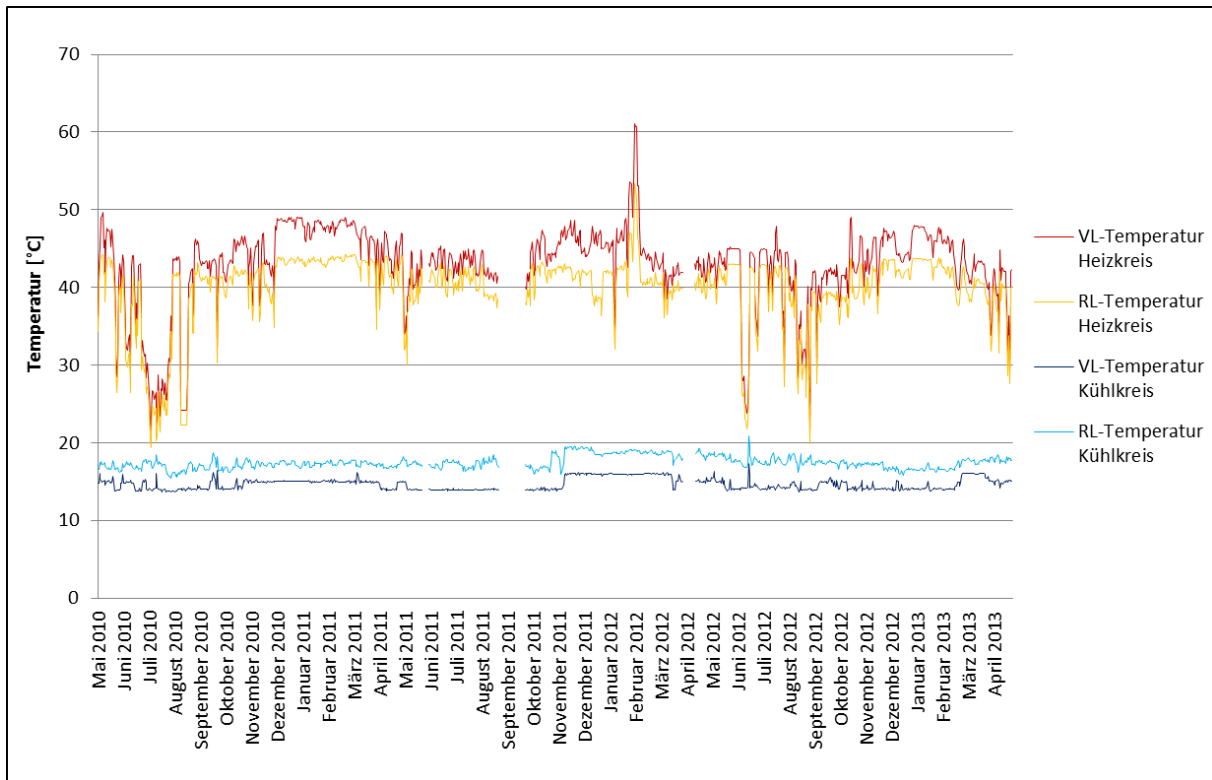


Bild 3: Zum Lastgang gehörender Temperaturverlauf

Die Erzeugerschaltung erfolgt im Simulationsmodell über je einen PI-Regler, welcher die Vorlauftemperatur des Heiz bzw. Kühlkreises mit den Sollwerten aus dem Lastgang vergleicht. Mit steigendem Reglerwert wird zunächst das Wärmepumpenmodul und folgend das Modellelement des entsprechenden konventionellen Erzeugers eingeschaltet, sofern die Systemzustände im jeweiligen Betriebsbereich liegen.

Die Regelung kann ökonomisch oder ökologisch optimiert betrieben werden. Hierzu sind CO₂ Emissionswerte und Energiepreise hinterlegt. Aus den Kennlinien werden jederzeit die erwarteten Wirkungsgrade aller Erzeuger berechnet. Wenn das Wärmepumpenmodul höhere CO₂ Emissionen bzw. Energiekosten als das Modellelement des jeweiligen konventionellen Erzeugers verursacht, würde diese für den Grundlastbetrieb gesperrt (vgl. Bild 4). Das Simulationsmodell wird mit einer klassischen, ökonomischen und ökologischen Regelungsvariante berechnet. Die Simulationsergebnisdaten, insbesondere Systemtemperaturen an den Erzeugermodulen und deren Leistung, Primärenergieverbrauch, Leistungszahlen sowie Regelungsgüte der Vorlauftemperaturen, konnten für die drei Regelungsvarianten direkt miteinander verglichen werden.

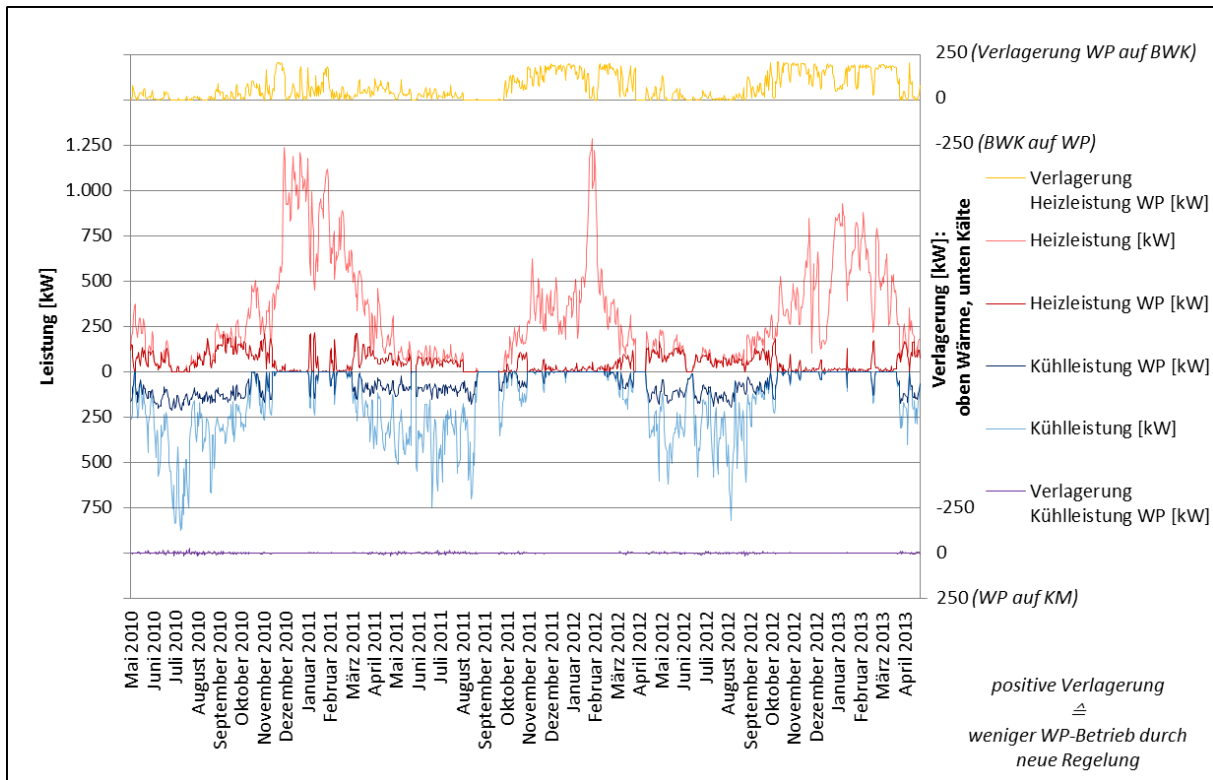


Bild 4: Leistungsverlagerung in der Basisvariante durch die ökonomische Optimierung

Von der Basisvariante des Simulationsmodells ausgehend ist eine Parametervariation durchgeführt worden. Hiermit konnten die Einflüsse wesentlicher Parameter auf die Ergebnisse beurteilt und Anwendungsgrenzen definiert werden. Unter den angenommenen Rahmenbedingungen (insbesondere Anlagenbau, Erzeugereigenschaften, Regelungstechnik und Lastgang) wurden in der Parametervariation unterschiedliche Ergebnisse erzielt. Ausgehend von akzeptablen Wärmepumpeneinsatzzeiten mit der klassischen Regelungsvariante wurden trotz unterschiedlicher Parametrierung der Systemtemperaturen, Wärmequelle und Wärmepumpenkennlinien 5 % bis 8 % Einsparung durch die ökonomische Optimierung festgestellt. Veränderte Energiepreise führten durch eine ökonomische Optimierung zu Einsparungen zwischen 0,5 % und 14 %. Die CO₂ Emissionseinsparungen fielen in allen Parametervariationen sehr gering aus. (Vgl. Bild 5) Für CO₂ Emissionseinsparungen wäre ein umfangreicherer Wärmepumpenbetrieb erforderlich. Dies ist gegenüber dem Grundlasteinsatz nicht möglich, weil dieser schon einen maximalen Wärmepumpeneinsatz anstrebt und einen ökologisch guten Erzeugereinsatz darstellt.

Modellvariante	Veränderung	CO ₂ -Ausstoß [t]		Gesamtenergiekosten [€]	
		monetär	ökologisch	monetär	ökologisch
A	Basisvariante	-2,2 %	+0,1 %	+6,1 %	+0,1 %
B	1 Temperaturen HK - 10 K	-5,6 %	-	+4,8 %	-
	2 Temperaturen HK - 5 K	-4,1 %	-	+6,4 %	-
	3 Temperaturen HK + 5 K	-0,5 %	+0,1 %	+1,1 %	+0,1 %
	4 Temperaturen HK + 10 K	+0,1 %	+0,2 %	+0,4 %	+0,2 %
C	1 Sole-RL fix 10 °C	-3,0 %	-	+5,7 %	-
	2 Soletemperaturen + 5 K	-3,6 %	-	+5,2 %	-
	3 Soletemperaturen - 5 K	-1,1 %	-	+6,4 %	-
	4 geringere Speicherkapazität Erdreich	-1,8 %	-	+6,2 %	-
	5 höhere Speicherkapazität Erdreich	-2,5 %	-	+5,9 %	-
D	1 Wärmepumpenkennlinie WP-II	-0,6 %	-	+7,6 %	-
	2 Nebenstromverbrauch der WP-I erhöht	-0,7 %	+0,1 %	+7,7 %	+0,2 %
	3 WP-I Heizkennlinie + 10 %	-3,7 %	-	+5,0 %	-
	4 WP-I Heizkennlinie - 10 %	-0,6 %	-	+7,1 %	+0,1 %
E	1 Energiepreise 3 Jahre später	-2,1 %	+0,1 %	+4,8 %	+0,1 %
	2 Strom teurer, weniger Emissionen; Gas billiger	-10,3 %	-	+13,9 %	-
	3 Strom günstiger, noch weniger Emissionen	-5,9 %	-	+0,5 %	-

Bild 5: Ergebnisübersicht aller Varianten

Fazit

Die Ergebnisse zeigen unter den gestellten Rahmenbedingungen beachtliche Effizienzsteigerungen mit der ökonomischen Regelungsvariante. Die CO₂ Emissionseinsparungen fielen hingegen gering aus. Entscheidend ist der Umsetzungsaufwand für einen solchen Regelungsansatz, insbesondere in unterschiedlichen Erzeugerkombinationen und hydraulischen Schaltungen von Großanlagen. Großen Einfluss hat die zukünftige Entwicklung des Energiemarktes. Hier sind Energiepreis, Energiemix (und folglich CO₂ Emissionswert) und Vertriebssysteme (insbesondere Tarifstruktur) von Bedeutung. Schwankungen dieser können zu einer sehr positiven Wirkung des Regelungsansatzes (auch bezüglich CO₂ Emissionen) führen.

Eckdaten

Kurztitel: Regelstrategien zum wirtschaftlichen Einsatz von Wärmepumpen im bivalenten Betrieb

Forscher:

RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik
Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Georg Form

Projektleitung:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marten F. Brunk
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph van Treeck

Gesamtkosten: 328.626 €

Anteil Bundeszuschuss: 189.426 €

Projektlaufzeit: 21.09.2011 bis 31.12.2014