

Modellbasierte Exergieanalyse und Evaluation von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung transienter Kraftwerksprozesse

Raphael Wittenburg

Kurzfassung

Der mit dem Fortschreiten der Energiewende zunehmende Anteil fluktuierender Stromeinspeisung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen hat einen erheblichen Einfluss auf das Betriebsregime konventioneller Kraftwerke. Dies äußert sich in reduzierten Betriebsstunden, häufigeren Erzeugungspausen, zusätzlichen An- und Abfahrvorgängen sowie einer starken Zunahme der Lastwechsel und damit insgesamt in einer deutlich dynamischeren Fahrweise. Da häufige Lastwechsel in der Vergangenheit nicht im Fokus von Optimierungen standen, werden Potenziale zur Verbesserung des transienten Betriebsverhaltens vermutet, für deren Untersuchung und Bewertung sich Exergieanalysen anbieten, mit denen die tatsächlichen thermodynamischen Verluste in Energiewandlungsprozessen quantifiziert werden können.

Durch eine systematische Literaturanalyse wurde der Forschungsbedarf zur Exergieanalyse des transienten Betriebsverhaltens komplexer Kraftwerksprozesse deutlich aufgezeigt. In der Schließung der so identifizierten Forschungslücke als zentralem Ziel der Arbeit liegt auch ihr Neuheitsgrad begründet.

Um eine transiente Exergieanalyse des als primären Untersuchungsobjekt dienenden Gas- und Dampf-Kombikraftwerks auf Komponentenebene durchführen zu können, wurde ein umfassendes, dynamisches Simulationsmodell entwickelt, das neben den verfahrenstechnischen Komponenten wie Abhitzeessel und Wasser-Dampf-Kreislauf auch die Leittechnik umfasst. Das Modell wurde in der Modellierungssprache Modelica unter Verwendung der Komponentenbibliothek ClaRa entwickelt, die im Rahmen der Arbeit um die Berechnung der exergetischen Bilanz und Zustandsgleichungen erweitert wurde, wodurch die benötigten Exergiegrößen aller räumlich null- und eindimensional diskretisierten Komponenten ermittelt werden können.

Die mit dem Simulationsmodell durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass im transienten Betrieb insbesondere die Wärmeübertragung bei erhöhten Temperaturdifferenzen und die Ein- und Ausspeicherung von Exergie in den verschiedenen Teilsystemen für eine erhöhte Exergievernichtung ursächlich sind. Geringere Laständerungsgeschwindigkeiten und eine Annäherung an eine quasistationäre Fahrweise erhöhen die Exergieeffizienz des Prozesses.

Basierend auf den Analyseergebnissen wurden Maßnahmen zur Verbesserung der exergetischen Effizienz im transienten Betrieb untersucht. Dies umfasst Modifikationen an der Regelung des Speisewasserbehälterdrucks und des Dampftrömmelniveaus, wie z. B. Anpassung von Reglerparametern, asymmetrische Regelung, Störgrößenaufschaltung und lastabhängige Sollwertführung. Die untersuchten Maßnahmen haben aufgrund verschiedener Ausgleichseffekte nur einen sehr geringen Einfluss auf die Exergieeffizienz. Die maximal erreichte Steigerung des exergetischen Wirkungsgrades beträgt 0,04 %-Punkte. Die Übertragung der entwickelten Methodik auf das Modell eines Braunkohlekraftwerks konnte die Beobachtungen bestätigen. Für die GuD-Anlage wurden zusätzlich verschiedene Lastwechselfahrweisen im Dreiblockbetrieb untersucht, die im günstigsten Fall einen um 0,1 %-Punkte höheren exergetischen Wirkungsgrad zeigen. In der vorliegenden Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass durch regelungstechnische Anpassungen keine signifikante Steigerung des exergetischen Wirkungsgrades im transienten Betrieb erreicht werden kann, jedoch Potentiale zur Verbesserung transienter Fahrweisen bestehen.