

42. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 12. und 13. Oktober 2010, Dresden

Thermodynamische Simulation eines Steinkohleblocks unter Einbezug der Regelungstechnik mit Modelica

Motivation

Der stetig voranschreitende Ausbau bei der Nutzung der regenerativen Energiequellen in Deutschland beeinflusst in zunehmendem Maße den Betrieb der bestehenden elektrischen Erzeugungs- und Verteilungsstrukturen, hierbei spielt die in den letzten Jahren massiv ausgebauten Windenergie die wichtigste Rolle. Mitte 2009 betrug die installierte Kapazität aller Windkraftanlagen in Deutschland bereits über 25 GW. Bis zum Jahr 2020 könnte sich auf Basis aktueller Schätzungen die installierte Anlagenkapazität auf etwa 51 GW erhöhen. Ein Großteil der in den kommenden Jahren zu bauenden Windparks wird sich hierbei im Gegensatz zu den heute vorhandenen, vor den Küsten Deutschlands in der Nord- und Ostsee befinden. Die Kapazität der geplanten Offshorewindparks könnte demnach zwischen 14 GW und 18 GW liegen. Der Beitrag der Windenergie an der elektrischen Energieversorgung könnte damit voraussichtlich von heute 7% auf bis zu 25% steigen.

Durch die volatile Windeneinspeisung, die auch zu Schwachlastzeiten ihre Spitzenwerte erreichen kann, ergeben sich neue Anforderungen an den Betrieb thermischer Kraftwerke, um die verfügbaren Windpotenziale auch vollständig nutzbar zu machen.

Modellbildung

Es wurde am Beispiel des 550MW-Steinkohleblocks Rostock ein stationäres, auf den thermodynamischen und strömungsmechanischen Bilanz- und Transportgleichungen basierendes Modell des Kraftwerks erstellt und mit einem vereinfachten Abbild des Blockleitsystems gekoppelt.

Das Modell umfasst die verfahrenstechnischen Komponenten des Wasser – Dampf – Kreislaufes inklusive der Anfahrerichtungen und des Luftpfades, wie z.B. Frischlüfter, Kohlemöhlen, Brennkammer und Rauchgaszug. Dies erlaubt die Berechnung einer Vielzahl von Prozessparametern wie z.B. Dampfzuständen, Bauteiltemperaturen, Wirkungsgraden oder mühlenscharfe Brennstoffmassenströme.

Aus den berechneten Temperaturverteilungen in den Bauteilen wird im Anschluss eine stationäre Vergleichsspannung abgeleitet. Diese wird anhand des Lebensdauerverbrauchs nach TRD-Richtlinie sowie gemäß Rissfortschrittsrate nach FKM-Richtlinie bewertet.

Das Modell wurde in der objektorientierten Programmiersprache Modelica umgesetzt, als Simulator wurde Dymola® verwendet.

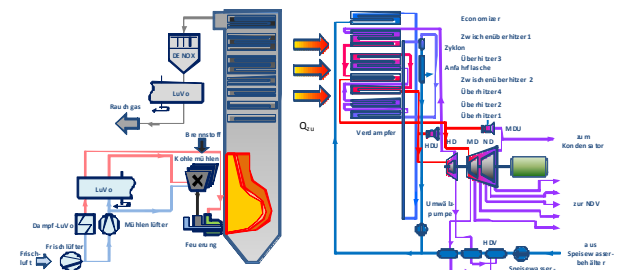


Abb. 2 Struktur des Kraftwerksmodells

Ergebnisse

Validierung

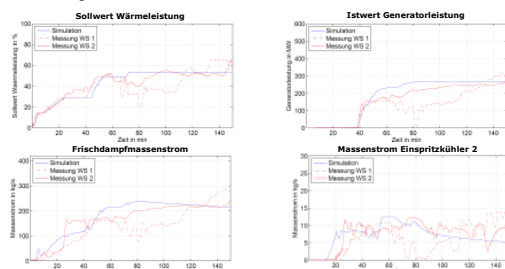


Abb. 5 Vergleich Simulation-Messung für Warmstart des Kraftwerks

Als Validierungsszenario wurde ein Warmstart des Kraftwerks Rostock, d.h. dem Anfahren nach einen 8 – 48 stündigem Stillstand, gewählt. Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit zwei gemessenen Starts zeigt eine gute Übereinstimmung unter Berücksichtigung der Streubreite der gemessenen Starts.

So haben die begrenzte Mindestlast und Laständerungsgeschwindigkeit der Kraftwerke, begründet durch thermische Grenzspannungen in den Bauteilen, Verschleiß und die Regelgeschwindigkeit des thermischen Prozesses, einen signifikanten Einfluss auf die Windintegrationsfähigkeit des Kraftwerks. Im Rahmen des VGB-Forschungsprojektes 333 werden die zu erwartenden Anforderungen und Belastungen, sowie die sich daraus ergebenden Optimierungspotenziale auf verfahrens- und leittechnischer Seite untersucht.

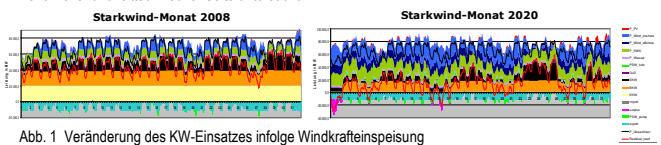


Abb. 1 Veränderung des KW-Einsatzes infolge Windkrafteneinspeisung

Thermodynamische Modellierung am Beispiel einer Überhitzer-Heizfläche

Bilanzgleichungen für Teilmodelle:

Massenbilanz

$$\frac{dm}{dt} = \sum \dot{m}_i$$

Energiebilanz

$$\frac{dU}{dt} = \sum \dot{m}_i h_i + \dot{Q} + \dot{W}$$

Impulsbilanz

$$\frac{d(m\mathbf{c})}{dt} = -\sum A_i \rho_i (\mathbf{c}_i n_i) - A_i \Delta p_i - \sum A_i \rho_i \mathbf{c}_i - \sum A_i \rho_i \mathbf{g}_i$$

Wärmeübertragung

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dT}{dt} \quad Q = \alpha A \Delta T$$

Innerhalb Wand an der Grenzschicht

entsprechend Fourier-Gesetz für Wärmeleitung

Bestimmt über Danov-Büchsen-Gesetz für Konvektion (2-Phasen Strömung)

Komponenten des Teilmodells Heizflächen:

- Axial diskretisierte Rohre
- Adapter für Wärmeübergangskoeffizient
- Adapter axial/radial
- Radial oder axial diskretisierte Wand
- Axial verteilte Wärmequelle

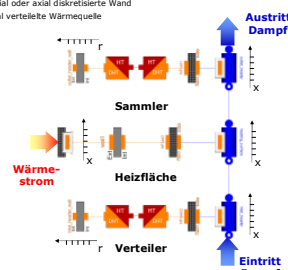


Abb. 3 Modell Überhitzerheizfläche

Bewertungsschema für den zukünftigen Kraftwerksbetrieb

Ideal-elastische mechanische Lochrandspannungen

$$\sigma_{ra} = \sigma_{ra} \frac{d_r}{2s}$$

Ideal-elastische Lochrand-Wärmespannungen

$$\sigma_{ra} = \alpha \frac{\beta_r E_r}{1-\nu_r} (\vartheta_r - \vartheta)$$

Quelle: Technische Richtlinien für Dampfkessel - TRD 301

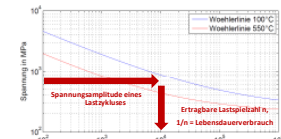


Abb. 4 Ermittlung Bauteilermüdung

Simulation von Beanspruchungsszenarien

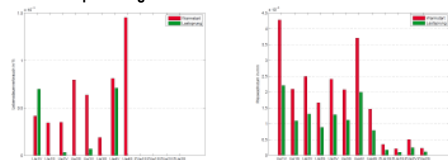


Abb. 6 Ermüdung und Rissausbreitung für 2 Grundbeanspruchungen – Warmstart und Lastrampe >40%

Zusammenfassung

Das entwickelte Modell erlaubt es, die zu erwartenden Auswirkungen der zukünftigen Kraftwerksfahrweise auf einzelne Bauteile des Kraftwerks sowie die Effizienz des Gesamtprozesses bestehender Kraftwerke zu ermitteln. Die Bewertung erfolgt anhand der Simulation von Grundbeanspruchungen, wie Starts, Lastrampen oder unkonventionellen Fahrweisen.

Weiterhin ermöglicht der modulare Aufbau des Modells die Implementierung und Untersuchung von optimierten Anlagenkomponenten oder Regelungskonzepten, wie z.B. einer modellgestützten Kohlemöhlenregelung, welche dann im Anschluss auf ihre Eignung zur Flexibilisierung der konventionellen Kraftwerkspark bewertet werden können.