

Optimierung der Kraftwerksregelung

Erhöhung der Flexibilität von Steinkohlenkraftwerken durch leittechnische Maßnahmen

Der Wandel des Energiemarkts mit der volatilen Einspeisung erneuerbarer Energien sorgt für neue Anforderungen an Steinkohlenkraftwerke. Sie garantieren die Versorgung mit gesicherter Leistung, werden aber in Zukunft noch stärker Lastschwankungen ausgleichen müssen. Mit leittechnischen Maßnahmen kann die Flexibilität von Steinkohlenkraftwerken in den Bereichen Regelleistung, Anfahren und Mindestlast deutlich verbessert werden.

So lange keine Speicher für elektrische Energie in größerem Umfang zur Verfügung stehen, sind konventionelle Kraftwerke für eine stabile Stromversorgung unabdingbar, wie auch unlängst eine Studie der Prognos AG gezeigt hat [1]. Dies betrifft zum einen das kurzfristige Stützen der Netzfrequenz durch das Ausspeichern von rotatorischer Energie aus den Schwungmassen der Turbosätze. Zum anderen setzen die Übertragungsnetzbetreiber konventionelle Kraftwerke zur Bereitstellung von Regelleistung zur Kompensation von Leistungsdefiziten oder -überschüssen im Netz ein. Konventionelle Kraftwerke erfüllen also eine wichtige Funktion bei der Stabilisierung des elektrischen Netzes. Trotzdem stehen vor allem Betreiber von Steinkohlenkraftwerken vor großen wirtschaftlichen Herausforderungen.

Maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit fossiler Kraftwerke ist der Clean Dark Spread (CDS), der sich aus dem Strompreis abzüglich der variablen Kosten der Stromerzeugung – vor allem Brennstoff- und CO₂-Kosten – ergibt. Die Liberalisierung des Strommarkts und der aufgrund des EEG steigende Anteil an fluktuierend einspeisenden Erzeugern führen dazu, dass der Strompreis und damit auch der CDS volatil geworden ist. Zeiten mit positivem CDS und Zeiten mit negativem CDS wechseln sich, teilweise mehrmals täglich, ab.

Bild 1 zeigt den volumengewichteten Mittelwert des Strompreises am Spotmarkt abhängig von der Tageszeit für das Jahr 2011. Dabei wird zwischen Wochentagen sowie Wochenend- und Feiertagen unterschieden. Dargestellt ist außerdem die jeweilige Preisspanne, die im Jahr 2011 aufgetreten ist. Wie das Bild zeigt, ist der Mittelwert für Wochenend- und Feiertage grundsätzlich niedriger als für Wochentage. Gerade in den Nachtstunden liegen die Mittelwerte häufig unter den typischen variablen Kosten eines Steinkohlenkraftwerks. Außerdem sind die Preisspannen erheblich, so dass auch zu anderen Zeiten mit einem negativen CDS gerechnet werden muss. In Extremfällen wird sogar der Preis selbst negativ und es muss für das Einspeisen gezahlt werden. So war z. B. der Preis am Spotmarkt am 25.12.2012 im Zeitraum 0 bis 9 Uhr durchgehend negativ und betrug bis zu -221,99 €/MWh [2].

Neue Anforderungen

Die Entwicklung des Markts hat dazu geführt, dass sich die Anforderungen an Steinkohlenkraftwerke geändert haben und weiter ändern werden. Die Nachfrage nach flexibel vermarktbar Kraftwerken, die auf die Schwankungen des Markts angemessen reagieren können, nimmt zu, der Bedarf an Grundlastkraftwerken nimmt ab. Um unter den aktuellen und künftigen Marktbedingungen bestehen zu können, müssen gerade Steinkohlenkraftwerke möglichst flexibel einsetzbar sein [3]. Offensichtlich muss der

CDS positiv sein, damit das Kraftwerk einen Deckungsbeitrag erwirtschaften kann. Der Deckungsbeitrag kann mit der Vermarktung zusätzlicher Flexibilitätsprodukte erhöht werden. Dazu zählen z. B. Primär- und Sekundärregelung, weil gerade Kohlekraftwerke diese Produkte kostengünstig bereitstellen können. Weitere Faktoren, die für eine flexible Vermarktung entscheidend sind, sind die Anfahrkosten und -zeit, die Mindestlast als untere Grenze der stabil erzeugbaren elektrischen Leistung sowie mögliche Einschränkungen wie Lieferverpflichtungen von Wärme und Dampf.

Kraftwerke ohne solche Einschränkungen werden in Zukunft deutlich häufiger als bisher ab- und wieder angefahren. Um die Wirtschaftlichkeit sicherzustellen, ist es dabei wichtig, dass die Anfahrten mit möglichst geringen Brennstoffkosten und ohne übermäßige Belastung der Anlage durchgeführt werden. Wenn dagegen, beispielsweise aufgrund von Wärmelieferverpflichtungen, trotz negativem CDS eingespeist wird, sollte so wenig Strom wie möglich produziert werden. Gerade für KWK-Anlagen ist eine tiefe Mindestlast folglich interessant.

Erfüllen der Anforderungen

Alle oben aufgeführten wirtschaftlichen Anforderungen sind direkt mit technischen Anforderungen, hauptsächlich an die Kraftwerksdynamik, verbunden. Eine Optimierung der Kraftwerksregelung kann deutlich zur Verbesserung der Kraftwerksdynamik beitragen. Im Vergleich zu einer verfahrenstechnischen Ertüchtigung sind die Kosten einer solchen Optimierung gering und die Amortisationszeit ist entsprechend kurz. Im Folgenden werden die Konzepte der Steag Energy Services GmbH für eine solche Optimierung vorgestellt.

Regelleistung

Für die Bereitstellung von Regelleistung sind vor allem schnelle Lastwechsel erforderlich. Die Anforderungen sind im Transmission Code der Netzbetreiber [4] und in dessen Anhängen festgelegt. Demnach muss Primärregelung innerhalb von 30 s im vollen Umfang geliefert werden, Sekundärregelung innerhalb von 5 min.

Dr.-Ing. Hendrik Lens, Projektleiter Advanced Process Control, Energy Technologies, Steag Energy Services GmbH, Essen

Um diese Anforderungen erreichen zu können, ist ein optimales und koordiniertes Blockführungskonzept notwendig [5]. Das Blockführungskonzept setzt die im Kraftwerksprozess vorhandenen Energiespeicher koordiniert ein, so dass sich insgesamt schnelle Lastwechsel ergeben, ohne dass die Anlage durch eine hohe Übersteuerung des Brennstoffs unnötig belastet wird. Zu diesen Energiespeichern zählen z. B. der Kondensatstau, die HD-Vorwärmer, der Dampfspeicher des Kessels, die Kohlemühlen und, falls vorhanden, die Fernwärme.

Außerdem sorgt die optimierte Blockführung dafür, dass schnelle Lastwechsel keine Blockschwingungen anregen, so dass – wie vom Transmission Code gefordert – auch mehrere schnelle Lastwechsel in kurzer Folge möglich sind.

Wie viel Regelleistung eine Anlage bereitstellen kann, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Das Potenzial kann vorab grob geschätzt werden. Eine verlässliche Einschätzung ist jedoch nur durch Versuche möglich. Eine Optimierung der Blockregelung mit koordinierter Speichernutzung setzt voraus, dass die unterlagerten Regelungen optimal arbeiten. Bei einer Umsetzung ist deshalb folgende Vorgehensweise sinnvoll:

- grobe Potenzialabschätzung,
- Potenzialermittlung mit Versuchen,
- Optimierung der unterlagerten Regelkreise,
- Optimierung der Blockregelung,
- Präqualifikation der Anlage beim Netzbetreiber.

Der Netzbetreiber präqualifizierte mehrere Kraftwerke für die Vermarktung von Primär- und Sekundärregelung, nachdem die Blockregelung jeweils von Steag Energy Services ertüchtigt worden war. Bild 2 zeigt den Verlauf der elektrischen Leistung eines Steinkohlenkraftwerks nach sprungförmigen Lastwertveränderungen als Nachweis für die Sekundärregelbarkeit. Die Leistung des Kraftwerks folgt den Sprüngen – die mit rd. 15 % der Nennleistung sehr groß sind – wie gefordert innerhalb von 5 min. Dabei bleibt das Blockverhalten nach der Ausführung eines Sprungs ruhig und folgt dem Sollwert mit hoher Genauigkeit.

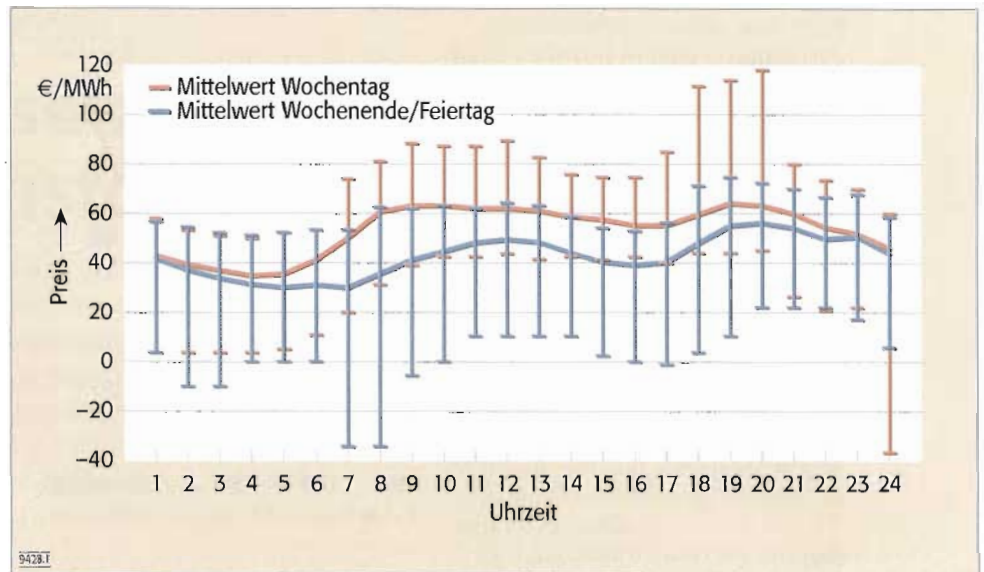


Bild 1. Tagesgang Epex-Strompreis (Spotmarkt) 2011, volumengewichteter Mittelwert der Stundenwerte

Quelle: Epex

Optimiertes Anfahren

Wenn eine Anlage in Zukunft voraussichtlich besonders häufig ab- und wieder angefahren wird, spielen die Kosten des Anfahrvorgangs für die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle. In diesem Fall lohnt es sich, den Anfahrvorgang so zu optimieren, dass er anlagenschonend, optimal bezüglich der Brennstoffkosten und reproduzierbar ist.

Schonend bedeutet, dass die Dampftemperaturen nur so schnell steigen, dass die durch Temperaturunterschiede während der Aufwärmung verursachten Spannungen in den dickwandigen Bauteilen ein vorgegebenes Maß nicht überschreiten. Vor allem heißt das, dass die Temperaturen gleichmäßig und ohne Schwingungen steigen sollen. Optimal bezüglich der Brennstoffkosten ist eine Anfahrt dann, wenn sie mit möglichst wenig Brennstoff und vor allem mit möglichst wenig Öl durchgeführt wird.

Für solch eine schonende und gleichzeitig Brennstoff sparende Anfahrt wird eine automatisierte, vorausschauende Anfahrführung benötigt. Diese führt die wichtigsten Stellgrößen, die Wärmeleistung und die Stellung der Hochdruckumleitstation

(HDU), so, dass die Dampftemperaturen so steigen, dass der zulässige Bereich möglichst ausgenutzt wird, ohne dessen Grenzen zu überschreiten. Dabei wird im Rahmen des Zulässigen möglichst wenig Dampf produziert, weil dieser nur zur Temperatursteigerung dient und bis zur Synchronisierung energetisch vernichtet wird.

Außerdem sollten die Anfahrten reproduzierbar sein, so dass aus ähnlichen Anfangsbedingungen ein ähnlicher Anfahrverlauf resultiert. Nur so ist eine zuverlässige Planung zwecks Vermarktung möglich. Um die Reproduzierbarkeit sicherzustellen, muss zusätzlich zur Anfahrführung ein Anfahrprogramm eingesetzt werden. Damit werden die notwendigen Schritte, die einen Einfluss auf die Länge des Anfahr-

Anzeige



www.aprovis-gmbh.de

- Abgaswärmetauscher
- Dampferzeuger-Systeme
- FriCon – Gasaufbereitung
- ActiCo – Aktivkohlefilter
- Marktführer
- Service



Ornbauer Str. 10 · 91746 Weidenbach · Tel.: +49 (0) 9828 / 8583-0 · info@aprovis-gmbh.de

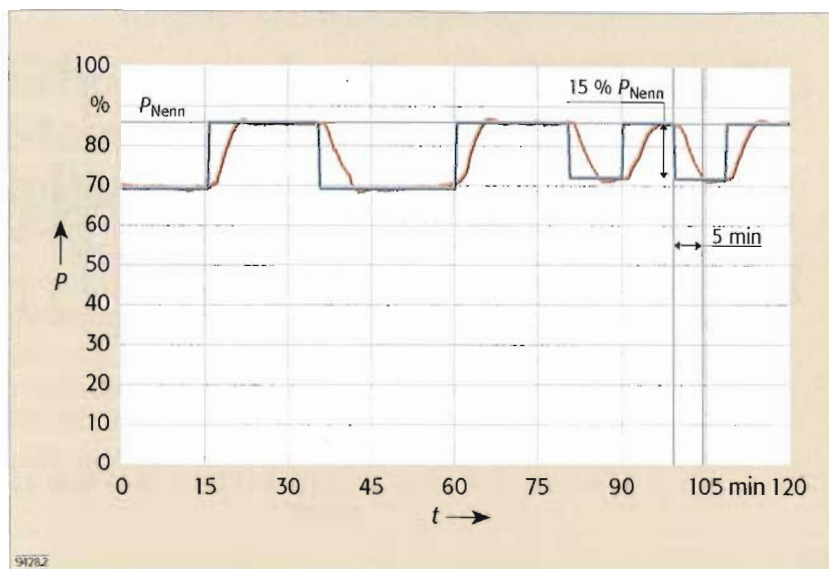


Bild 2. Verlauf der elektrischen Leistung des Steinkohlekraftwerks nach Optimierung der Blockregelung mit koordinierter Speichernutzung

vorgangs haben, automatisch nach fest definierten Kriterien durchgeführt.

Absenken der Mindestlast

Die Umsetzung einer Mindestlastabsenkung hängt vor allem davon ab, wie weit diese abgesenkt werden soll. Eine geringe Absenkung ist möglicherweise schon mit geringem Aufwand umsetzbar, indem beispielsweise leittechnische Begrenzungen angepasst werden. Dabei ist immer sicherzustellen, dass ein häufiger Betrieb in diesem Bereich ohne unerwünschte Folgen für die Anlage möglich ist. Eine deutliche Absenkung bedingt jedoch einen stationären Umwälzbetrieb über längere Zeit anstelle des Bensonbetriebs, für den der Block ausgelegt ist. Dies ist i. d. R. nur möglich, wenn umfangreiche leittechnische Maßnahmen durchgeführt werden.

Um einen sicheren Betrieb bei geringerer Last als die bisherige Mindestlast zu ermöglichen, müssen die begrenzenden Parameter ermittelt werden. Im Allgemeinen können u. a. folgende Faktoren eine Begrenzung darstellen und eine weitere Absenkung der Last verhindern oder die Laständerungsgeschwindigkeit begrenzen: Stabilität des Umwälzbetriebs, stoßfreier Übergang zwischen Benson- und Umwälzbetrieb, Dampftemperaturen, Flammenstabilität, Ventilation in der Turbine, Regelgüte der unterlagerten Regler und der Blockführung, dynamische

Anforderungen bezüglich der Wärmeauskopplung.

Die genaue Identifikation der Begrenzungen und ihrer Auswirkungen sollten im Rahmen von Versuchen geschehen, weil sich die benötigten Informationen i. d. R. nicht aus der verfügbaren Dokumentation, die sich auf den Auslegungsbereich bezieht, gewinnen lassen. Bei Begrenzungen, die sich nicht direkt beobachten lassen, ist dies nicht möglich. Dies ist z. B. der Fall bei der Frage, in welchem Bereich die Turbine betrieben werden darf. Je nach Informationsstand kann deshalb eine Überprüfung der neuen Fahrweise durch den Turbinenhersteller sinnvoll sein. Die automatische Einhaltung der identifizierten Grenzen im Betrieb wird regelungstechnisch realisiert. Das Konzept von Steag Energy Services sieht also nicht eine neue feste Mindestlast vor, sondern die Blockführung fährt automatisch die unter den vorliegenden Bedingungen aktuelle Mindestlast an. Dies ist vor allem für KWK-Anlagen entscheidend, weil deren Mindestlast direkt von der ausgekoppelten Wärme abhängt.

Außerdem sind normalerweise Optimierungen in unterlagerten Regelungen nötig. Der Lastbereich unter 30 % Nennlast wird i. d. R. nur beim Anfahren durchfahren. Für eine längere stabile Fahrweise in diesem Lastbereich sind die Regelkreise nicht ausgelegt, geschweige denn optimiert worden. Außer den

regelungstechnischen Maßnahmen können auch verfahrenstechnische Maßnahmen, beispielsweise zur Verbesserung der Stabilität der Feuerung bei Mindestlast, sinnvoll und notwendig sein. Wenn sich herausstellt, dass die Mess- bzw. Positioniergenauigkeit von Messumformern oder Stellgliedern für diesen Lastbereich nicht ausreicht, kann es notwendig sein, diese zu ersetzen. Typische Mindestlasten für Steinkohlekraftwerke im Bestand liegen bei 25 bis 40 % der Nennleistung. Zum Vergleich: für Braunkohlekraftwerke liegen sie bei 50 bis 60 %, für GuD-Anlagen mit einer Gasturbine bei 40 bis 50 % der Nennleistung [3]. Je nach Anlage können mit dem oben beschriebenen Konzept Mindestlasten unter 15 % der Nennleistung erreicht werden.

Literatur

- [1] Hobohm, J.; Klotz, E.; Peter, F.; Wünsch, M.: Bedeutung der thermischen Kraftwerke für die Energiewende. Prognos AG im Auftrag des VDKi, 2012.
- [2] Phelix Spotmarkt: Market Data Auction vom 25.12.2012. www.epexspot.com/de/marktdaten/auktionshandel/auction-table/2012-12-25/DE.
- [3] VDE: Erneuerbare Energie braucht flexible Kraftwerke – Szenarien bis 2020. Studie der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG), April 2012.
- [4] Verband der Netzbetreiber VDN e. V. beim VDEW: Transmission Code 2007. Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. August 2007. www.regelleistung.net.
- [5] Kurth, M.; Greiner, F.: Herausforderungen an die Kraftwerksleittechnik durch steigende dynamische Anforderungen an die Verfahrenstechnik. VGB Powertech, 2008, H. 8, S. 38 – 48.

hendrik.lens@steag.com

www.steag-energyservices.com