

FLEXIBILISIERUNG VON KRAFTWERKEN DURCH REGENERATIVEN SCHÜTTSCHICHTWÄRMESPEICHER

Robert DASCHNER, Samir BINDER, Andreas HORNUNG

Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg,
An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg, 09661 908-416,
Robert.daschner@umsicht.fraunhofer.de, www.umsicht-suro.fraunhofer.de

Kurzfassung: Die zunehmend fluktuierende Energiebereitstellung in Folge der Energiewende erfordert eine erhöhte Kapazität an Ausgleichsleistung im Stromnetz in Form von Regenergie. Biomasseheizkraftwerke und Abfallverbrennungsanlagen können dazu einen Beitrag leisten, derzeit wird dies jedoch kaum praktiziert. Durch den Einsatz von Hochtemperaturwärmespeichern kann die Bereitstellung von Regenergie durch diese Kraftwerkstypen aus technischer Sicht erleichtert werden. Der Regenergiemarkt sieht verschiedene Formen der Regelleistungsbereitstellung vor. Sekundär- und Minutenregelleistung sind für die betrachteten Kraftwerkstypen die relevante Regenergieform.

Der hier betrachtete Hochtemperaturspeicher, der sogenannte Pebble-Heater, ist ein regenerativ betriebener Schüttstichtspeicher mit keramischer oder mineralischer Schüttung, welcher die im Rauchgas enthaltene Wärmeenergie durch den direkten Rauchgaskontakt aufnimmt und bei der Durchströmung mit Umgebungsluft diese aufheizt. Integriert in ein Biomassekraftwerk oder eine Abfallverbrennungsanlage kann mit Hilfe des Pebble-Heaters die Mindestlast abgesenkt und im Fall von hohem Strombedarf der reine Kondensationsbetrieb der Anlage dadurch unterstützt werden, dass die Versorgung der angeschlossenen Wärmeabnehmer über die gespeicherte Energie aufrechterhalten wird.

Keywords: Flexible Kraftwerke, Hochtemperaturwärmespeicherung, Kraft-Wärme-Kopplung, Alternative Brennstoffe

1 Hintergrund

Ein wesentliches Problem, das sich aus der zukünftigen Energieerzeugerstruktur in Deutschland aufgrund der zunehmenden fluktuierenden Erzeugung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen ergibt, ist die zeitliche Diskrepanz zwischen Stromerzeugung und -verbrauch sowie die damit einhergehende Beeinträchtigung der Netzstabilität. Für die Gewährleistung der Versorgungssicherheit ist neben dem Ausbau der Netze unter anderem auch eine möglichst hohe Flexibilität bzw. Regelbarkeit der Stromerzeugung erforderlich. Biomasse(heiz)kraftwerke, Abfallverbrennungsanlagen oder Ersatzbrennstoffkraftwerke leisten derzeit noch keinen nennenswerten Beitrag zur bedarfsgerechten Verstromung bzw. zur Netzstabilität, was auf technische und wirtschaftliche Gründe zurückzuführen ist. Biomasse und Abfall als »speicherbare Energieträger« können jedoch einen sinnvollen Beitrag zur Stabilisierung der Stromnetze leisten. Für den Ausbau der regenerativen Energieerzeugung ist eine optimale Nutzung von Biomassepotenzialen, die nicht in

Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen und deshalb als Brennstoff verwendet werden können, ein wichtiger Baustein. Hierzu sind ganzheitliche Konzepte zur Effizienzsteigerung in Kraftwerksprozessen zu entwickeln sowie die Maßnahmen zur Integration in zukünftige Stromnetzstrukturen unter Berücksichtigung fluktuierender Energiequellen einschließen.

2 Methodik

Das Ziel der Forschungsaktivitäten von Fraunhofer UMSICHT ist die Entkopplung der Strom- und Wärmeerzeugung bei Heizkraftwerken für Biomasse, Ersatzbrennstoffe und Abfall – kurz: schwierige Brennstoffe. Durch die Speicherung von Wärmeenergie auf einem hohen Temperaturniveau von 700 - 800 °C kann flexibel auf die Stromnachfrage reagiert und somit ein Beitrag zur Netzstabilisierung beigesteuert werden. Bei erhöhtem Strombedarf kann das Heizkraftwerk in reinem Kondensationsbetrieb und somit mit höherer elektrischer Leistung gefahren werden. In diesem Zeitraum erfolgt die Versorgung der angeschlossenen Verbraucher, insbesondere die Erzeugung des benötigten Prozessdampfes, über die zwischengespeicherte Wärme. Dazu wird der Einsatz eines regenerativen Schüttschichtwärmespeichers, dem sogenannten Pebble-Heater, für die betrachteten Kraftwerkstypen untersucht.

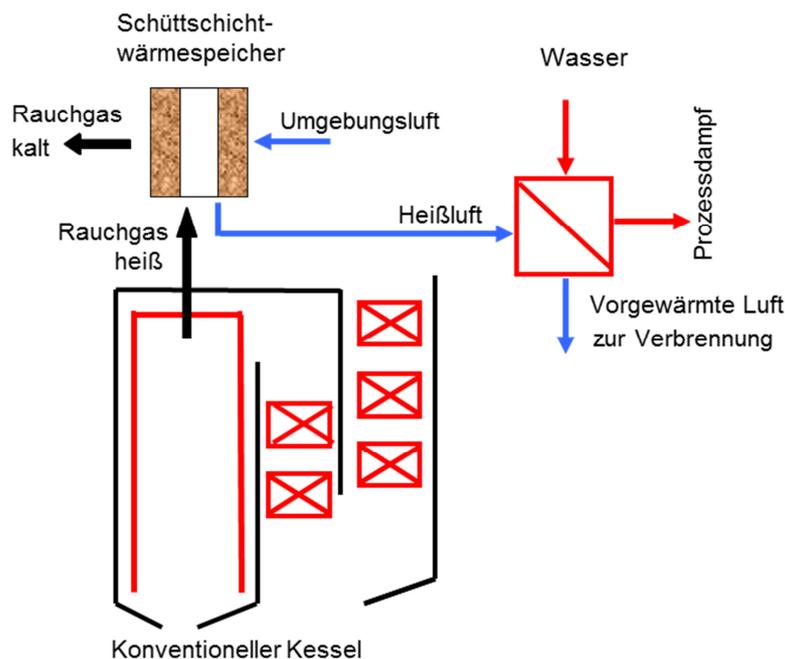


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prozesses zur Externen Wärmespeicherung [eigene Darstellung]

Im gegenteiligen Fall, bei einem Überangebot im Stromnetz kann durch den Betrieb in Teillast negative Regelenenergie bereitgestellt werden. Durch die Drosselung der Kraftwerksleistung kann das Überangebot im Stromnetz ausgeglichen werden. Der Mechanismus der Regelenenergiebereitstellung ist in Kapitel 3 näher erläutert. Die Teillastfähigkeit ist hinsichtlich der Mindestlast, welche bei Biomassekraftwerken meist 65-75 % beträgt, begrenzt und auch die Lastwechselgeschwindigkeit ist durch die Feststoffverbrennung limitiert. An dieser Stelle kann durch den Einsatz des

Schütttschichtwameubertragers über den Zeitraum der Regelenergiebereitstellung von maximal einer Stunde ein Teilstrom des Rauchgases abgezogen und somit die Nennleistung des Kraftwerkes weiter gesenkt werden. Der abgezweigte Rauchgasstrom aus dem Brennraum wird zur Aufheizung des Pebble-Heaters genutzt. Die darin enthaltene Wame wird in der Schüttung zwischengespeichert und kann anschließend in Zeiten hohen Strombedarfs, in denen das Kraftwerk im reinen Kondensationsbetrieb fährt, zur Deckung des Bedarfs angeschlossener Wärmeabnehmer genutzt werden.

3 Der Regelenergiemarkt

Ein gesteigerter wirtschaftlicher Nutzen an der stromgeführten Fahrweise von Kraftwerken für Biomasse und Abfall kann mit der Teilnahme am Regelenergiemarkt realisiert werden. Dieser bietet die Möglichkeit zur Stabilisierung des Netzes durch Bereitstellung von positiver als auch negativer Energie auf Abruf. Die Hintergründe werden im Folgenden näher erläutert.

Zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit bei der Stromversorgung, in erster Linie von Spannung und Netzfrequenz, muss wegen der fehlenden Speichereigenschaften des Stromnetzes immer ein Gleichgewicht zwischen der eingespeisten Leistung und der angeschlossenen Last herrschen. Dafür gibt es einen Verbund der deutschen Netzbetreiber, der die Systemführung inne hat und zur Stabilisierung einen sogenannten Regelenergiemarkt betreibt. Im Stromnetz kommt es bei zu hoher Leistung im Netz zu einer Erhöhung und bei Defizit zu einem Abfall der Netzfrequenz. [Amprion 2014]

Er wird von den vier Übertragungsnetzbetreibern Tennet, TransnetBW, 50hertz und Amprion auf einer eigens dafür erstellten Internetplattform organisiert und soll so eine offene, diskriminierungsfreie und transparente Plattform für den Regelenergiemarkt darstellen. In Ausschreibungsverfahren können sich Kraftwerke um eine Teilnahme bewerben. Zuvor ist eine so genannte Präqualifizierung notwendig, damit gewährleistet wird, dass die Kraftwerke Regelleistung erbringen können. [Baumgart 2013]

In Abbildung 2 ist zu sehen, wie sich der Strom- und Regelenergiemarkt um die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) aufbaut. Die Erzeuger speisen ihren Strom in das von den ÜNB gesteuerten Stromnetze ein, von wo er zu den Verbrauchern geliefert wird. Um das Stromnetz allerdings bei der Netzfrequenz von 50 Hertz zu halten, muss ein Regelenergiekreis dafür sorgen, dass schnell auf Veränderungen im Netz reagiert werden kann.

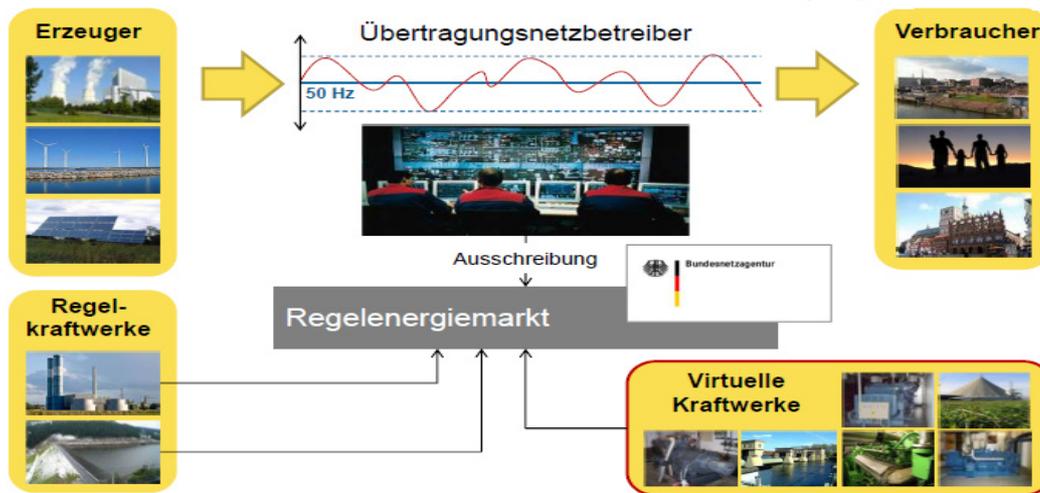


Abbildung 2: Der Aufbau des Regelenergiemarktes [Drescher 2011]

Die Kraftwerke und Großverbraucher verkaufen Regelleistung – sowohl positive durch Hochfahren, als auch negative durch Drosselung oder Zuschaltung von Last – an die ÜNB. Zur Sicherung der Regelleistung wird ein Regelenergiemarkt betrieben, welcher über Ausschreibungen mit der prognostizierten Regelleistung seitens der ÜNB und den Angeboten von Regelleistung der Kraftwerke und Verbraucher seitens der Regelleistungsanbieter zu Stande kommt. Die Formen der Regelleistung werden unterschieden in Primärregelleistung, Sekundärregelleistung, Minuten- und Stundenreserve.

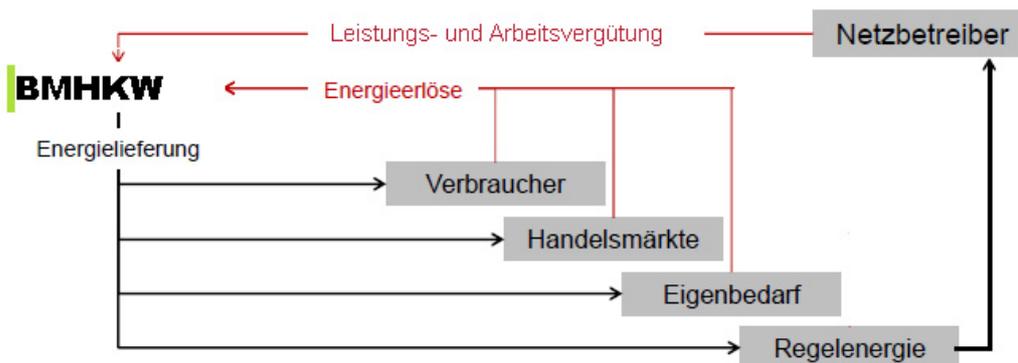


Abbildung 3: Mögliche Strom- und Geldflüsse bei der Teilnahme am Regelenergiemarkt (eigene Darstellung nach [Drescher 2011])

Zur Teilnahme am Regelenergiemarkt muss vom jeweiligen Kraftwerk ein Auswahlverfahren, die sogenannte Präqualifizierung, durchgeführt werden. Bei positiver Bewertung kann anschließend an den Ausschreibungen teilgenommen und der geforderte Leistungspreis sowie Arbeitspreis und die Leistungsgröße angegeben werden. Der Leistungspreis ist als Vergütung für die Leistungsbereithaltung zu sehen, der Arbeitspreis als Vergütung, die nur im Falle des tatsächlichen Abrufes ausbezahlt wird (siehe Abbildung 3). Den Leistungspreis bezahlen die ÜNB an die Kraftwerksbetreiber, den Arbeitspreis müssen die Bilanzkreisverantwortlichen übernehmen, in deren Regelgebiet es zu einem Einsatz von Regelenergie kommt. [ISI 2013] Der Zuschlag erfolgt über den niedrigsten Leistungspreis und wird anschließend in einem weiteren Auswahlverfahren nach dem günstigsten

Arbeitspreis geordnet. Der ausbezahlte Preis ergibt sich somit als Summe aus Leistungspreis und dem Arbeitspreis pro Megawattstunde abgerufene Regellenergie.

Für die Bereitstellung der Regelleistung ist für Biomasseheizkraftwerke wegen ihrer Leistungsklassen und dem Bedarf der verschiedenen Regelleistungsvarianten die Minutenreserveleistung und bei sehr flexiblen Anlagentypen die Sekundärregelleistung interessant. Die Mindestregelleistung liegt für beide Regellenergieformen bei fünf Megawatt. [ISI 2013]

Abbildung 4 macht den zeitlichen Ablauf der Regemaßnahmen und deren Aufeinanderfolgen sichtbar. Zur kontinuierlichen Abdeckung des Strombedarfs greifen die einzelnen Maßnahmen direkt ineinander. Die vollständige Erbringung der jeweiligen Leistung muss bei der Primärregelenergie nach 30 Sekunden, bei der Sekundärregelenergie nach 5 min und bei der Minutenregelleistung nach 15 Minuten erfolgen. Die in diesem Artikel relevante Minutenregelleistung muss für 60 Minuten sichergestellt werden können.

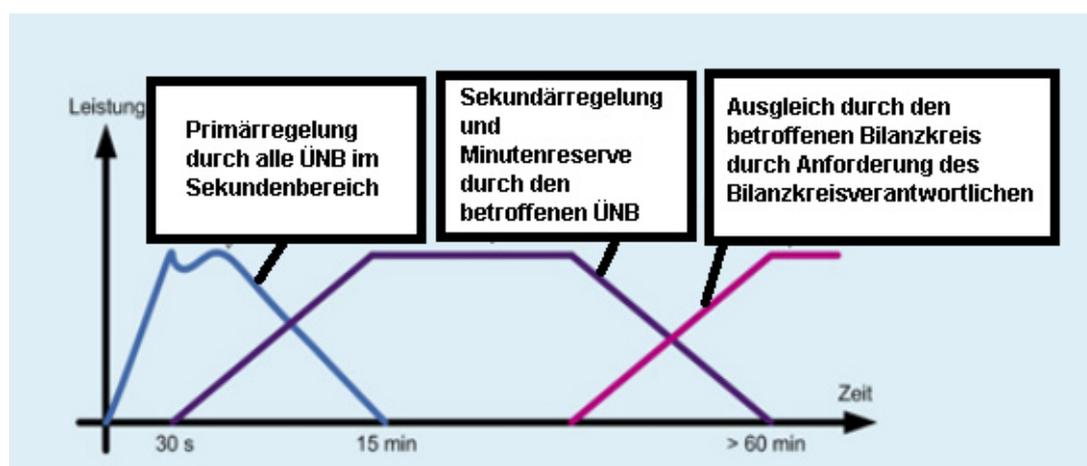


Abbildung 4: Die verschiedenen Regelleistungsmaßnahmen der ÜNB und deren zeitlicher Ablauf [Amprion 2014]

In welcher Höhe diese Regelleistungen notwendig sind, wird anhand eines wahrscheinlichkeitstheoretischen Berechnungsansatzes zur Findung eines Defizitschwellenwertes herausgestellt [Amprion 2014]. Diese, nach Graf/Haubrich benannte Methode, berücksichtigt Lastprognosefehler, PV-Prognosefehler, Windprognosefehler und Kraftwerksausfälle um daraus eine gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung aus einer Defizitwahrscheinlichkeit und einer Überschusswahrscheinlichkeit zu erstellen. [Baumgart 2013]

Die Ausschreibungen finden für Primärregelleistung (PRL) und Sekundärregelleistung (SRL) wöchentlich und für Minutenregelleistung (MRL) täglich in 4h-Produkte unterteilt statt. Bei der SRL und MRL werden getrennt positive und negative Produkte angeboten.

4 Hochtemperaturwärmespeicherung

Die Bereitstellung von Regellenergie durch Kraftwerke für Biomasse und Abfall setzt eine Flexibilisierung deren Fahrweise voraus, welche deutlich über den bislang praktizierten Rahmen hinausgeht. Darüber hinaus ist aufgrund der verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen die Lastabsenkung dieser Kraftwerkstypen auf ca. 65 - 75 % begrenzt.

Mit dem Einsatz eines Hochtemperaturspeichers sollen die Mindestlastabsenkung und die maximale elektrische Leistung erhöht werden und somit mehr Regelenergie zur Verfügung stehen. Ein Schüttgutwärmeübertrager, der Pebble-Heater, ist dabei das zentrale Element, da dort die heißen Rauchgase aus dem Kessel direkt abgekühlt und die thermische Energie auf hohem Temperaturniveau zwischengespeichert werden kann.

Der Pebble-Heater besteht in erster Linie aus zwei zylindrischen, gasdurchlässigen Rosten, die koaxial angeordnet sind (Abbildung 5). Zwischen diesen je nach Anforderung metallischen oder keramischen Rosten befindet sich das Schüttgutbett, beispielsweise aus Aluminiumoxid-Kugeln oder mineralischem Gestein. Die Schüttgutmenge ist ausschlaggebend für die Kapazität der Speichereinheit und ist in ihren Abmessungen variabel. Sowohl Höhe als auch Durchmesser der Schüttung kann angepasst und somit hohe Speicherkapazitäten erreicht werden.

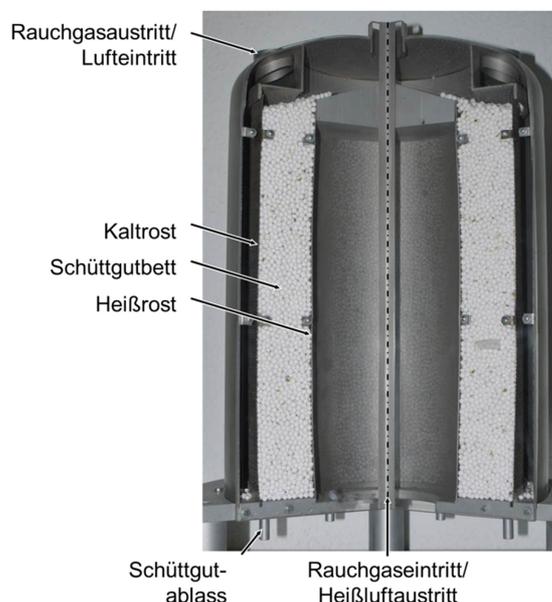


Abbildung 5: Modell des regenerativen Schüttgutwärmspeichers (Pebble-Heater)
[eigene Darstellung]

Der Betrieb ist in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase (Heizphase) strömt das heiße, nach dem Feuerraum der Verbrennungsanlage abgezweigte Rauchgas mit einer Temperatur von ca. 700 - 800 °C an der Unterseite des Pebble-Heaters in den vom inneren Rost (Heißrost) umschlossenen zylindrischen Hohlraum, durchströmt radial das Schüttgut und erwärmt dieses. Das kalte Rauchgas steigt nach Passieren des äußeren Rostes entlang der Außenwand auf und verlässt den Pebble-Heater an der Behälteroberseite.

In der zweiten Phase (Blasphase) wird kalte Luft über den äußeren Rost in das Schüttgut eingeblasen, welches seine Wärme wieder an das Fluid abgibt. Die erwärmte Luft, welche annähernd die Temperaturen des zugeführten Rauchgases erreicht, strömt nun über den inneren Rost zum Austritt und kann als Heißluft in einem externen Wärmeübertrager bedarfsgerecht Prozessdampf auf hohem Druck- und Temperaturniveau erzeugen bzw. die Wärmeversorgung des angeschlossenen Verbrauchers bereitstellen.

5 Konzept des flexiblen Kraftwerks

Der beschriebene regenerative Schüttschichtwärmeübertrager (Pebble-Heater) ist die Schlüsselkomponente beim Konzept des flexiblen Kraftwerks, das in Abbildung 6 dargestellt ist. Die Entkopplung der Strom- und Wärmeerzeugung in Heizkraftwerken für Biomasse, Ersatzbrennstoffe und Abfall ist Grundlage für die flexible Fahrweise, wodurch sie zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen können. Dabei trägt der Pebble-Heater mit seiner variabel auslegbaren Speichergröße optimal zur Speicherung und Bereitstellung von Hochtemperaturwärme bei.

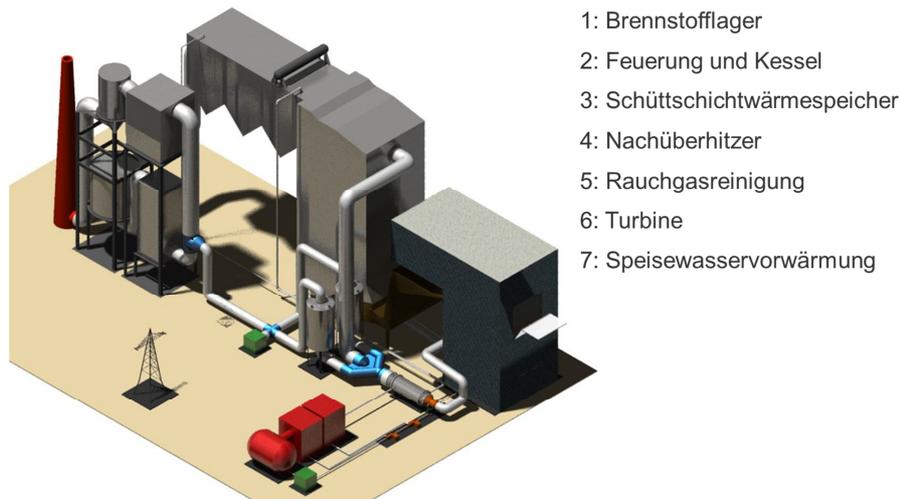


Abbildung 6: CAD-Modell eines Biomasseheizkraftwerkes mit zwei integrierten Schüttschichtwärmespeichern [eigene Darstellung]

Die Abzweigung des Rauchgases erfolgt am Ende des ersten beziehungsweise im zweiten Zug des Kessels und kann ungefiltert über den mit Schüttgütern gefüllten Pebble-Heater geleitet werden.

Wie in Abbildung 6 dargestellt, wird der Rauchgasstrom über eine Heißgasleitung vom Kessel zum Pebble-Heater (3) geleitet, welcher aus statischen Gründen in Bodennähe platziert ist. Die Abzweigung erfolgt über ein Saugzuggebläse auf der kalten Seite des Pebble-Heaters. Das kalte Rauchgas wird in einer Bypassleitung zur Rauchgasreinigung (5) geleitet, wo es zusammen mit dem restlichen Rauchgas gereinigt wird. Aufgrund der mineralischen oder auch keramischen Schüttgüter ist eine Korrosionsgefahr im Speichermaterial ausgeschlossen. Durch die Abkühlung entstehende Kondensate sind somit nicht relevant für die Betriebssicherheit des Aggregates.

In Zeiten hohen Strombedarfs, wenn das Kraftwerk im reinen Kondensationsbetrieb gefahren wird, erfolgt die Wärmebereitstellung für angeschlossene Prozessdampf und Fernwärmeabnehmer durch die im Pebble-Heater zwischengespeicherte Wärmeenergie. Die in Form von Heißluft bereitgestellte Wärme wird über einen Rohrbündelwärmeübertrager an einen Niederdruck-Wasser-Dampf-Kreislauf abgegeben (4), welcher die angeschlossenen Kunden versorgt. Aufgrund der hohen Speichertemperaturen von ca. 600 - 700 °C kann Prozessdampf flexibel bereitgestellt werden.

Für ein Biomasseheizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 20 MW ergibt sich für das beschriebene Konzept ein zusätzlicher Investitionsbedarf für die Erweiterung des

Hochtemperaturwärmespeichers mit Wärmeübertrager und der benötigten Peripherie von 6 - 10 % des Anlagengrundpreises. Dadurch kann die Mindestlast um weitere 15 % gesenkt werden. Somit erhöht sich die bereitstellbare negative Regelleistung, bei 75 % angenommener Mindestlast im Auslegungsfall der Anlage, von 5 MW_{el} auf 8 MW_{el}. Dadurch ist am Regelleistungsmarkt ein zusätzlicher Mehrerlös für negative Sekundär- oder Minutenregelleistung zu erwirtschaften.

Literatur

- Amprion 2014 Beschaffung von Regelleistung und -energie in Deutschland, Amprion GmbH, <http://www.amprion.net/systemdienstleistungen-regelleistung>, Stand: 28.01.2014
- Baumgart 2013 Baumgart, Bastian: Flexibilitätsbereitstellung im Zeichen der Energiewende, Vortrag beim Workshop Zukunftsperspektiven für den Regelleistungsmarkt, 25.11.2013, Berlin, 2013
- Drescher 2011 Drescher, Bodo: Möglichkeiten der Vermarktung im EEG 2012, MT Energie GmbH & Co. KG, 2011
- ISI 2013 Klobasa, Marian, Mario Ragwitz, Frank Sensfuß et al.: Nutzenwirkung der Marktprämie, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 1/2013, Karlsruhe, 2013