

Interne Zusatzfeuerung ohne CO₂

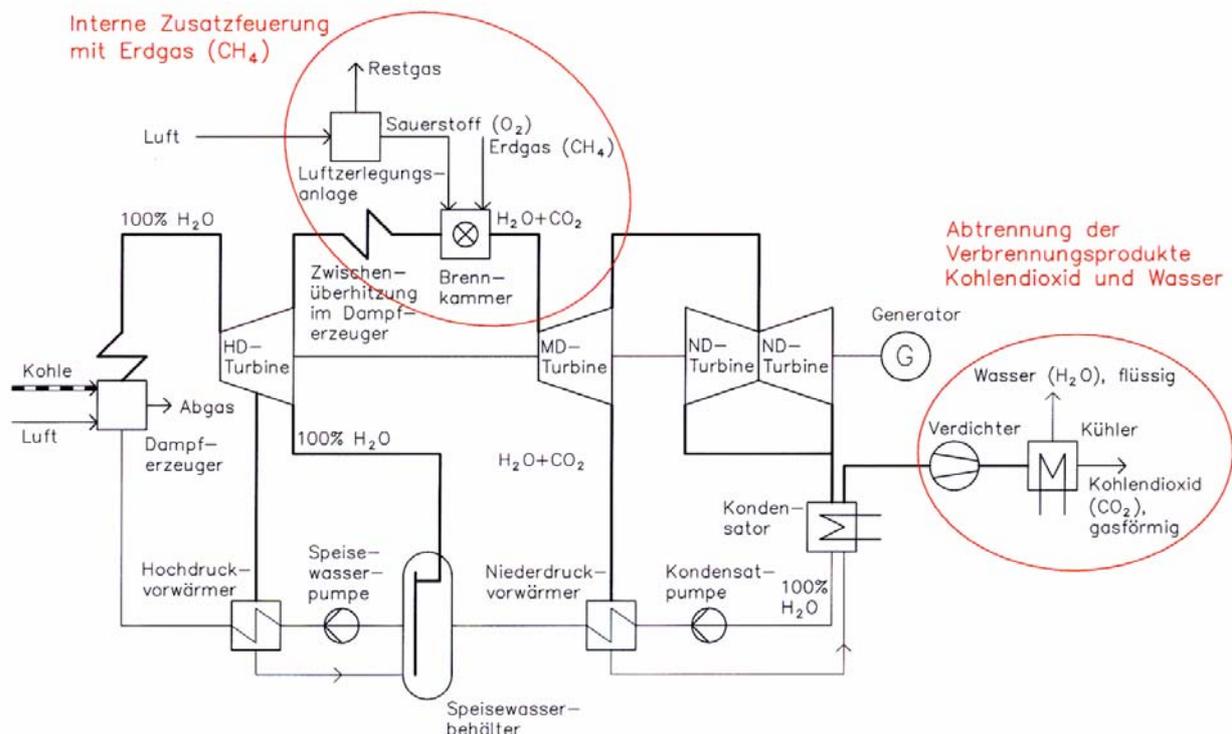
Die Verbrennung von Wasserstoff oder Erdgas im Dampfstrom der Zwischenüberhitzung eines Dampfkraftwerkes macht es möglich, das von dieser internen Zusatzfeuerung verursachte CO₂ mit vertretbarem Aufwand abzutrennen. Außerdem werden im Vergleich zu einem gängigen Dampfkraftwerk der Wirkungsgrad und die Leistung erhöht. Das Konzept, das Christoph Kail und Georg Haberberger* vorgeschlagen haben, kann prinzipiell bei allen Dampfkraftprozessen eingesetzt werden, also auch bei GuD- und Kernkraftwerken sowie bei der Nachrüstung bestehender Anlagen.

Zu den derzeit diskutierten Möglichkeiten, Kohlendioxid-Emissionen zum Schutz der Erdatmosphäre bei der Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen zu vermeiden oder zu verringern, zählt die Abtrennung und Rückhaltung von CO₂. Diese kann prinzipiell vor der Verbrennung aus dem Synthesegas der Kohlevergasung oder Methanreformierung oder nach der Verbrennung aus den Verbrennungsgasen geschehen. Die Abtrennung ist mit einem zusätzlichen Energieaufwand verbunden, der entsprechende Leistungs- und Wirkungsgradeinbußen verursacht. Das zurückgehaltene CO₂ kann in erschöpften Öl- und Ergasfeldern oder im Meer gelagert werden.

Alternativ ist bei flüssigen und gasförmigen Brennstoffen auch eine Abtrennung des Kohlenstoffes aus dem Brennstoff durch katalytische oder thermische Spaltung (Cracking, Pyrolyse) denkbar. Bei dieser Methode bleibt allerdings die Brennstoffenergie des Kohlenstoffs ungenutzt.

Zusatzfeuerung im Dampfstrom der Zwischenüberhitzung

Bei Dampfkraftwerken wird üblicherweise sämtliche Wärme, die im Prozess benötigt wird, durch Verbrennung von Brennstoff im Dampferzeuger freigesetzt und von den heißen Verbrennungsgasen auf das Wasser bzw. den Wasserdampf übertragen. Die Temperatur der Wärmeübertragung, eine der wesentlichen Einflussgrößen auf den Wirkungsgrad des Kraftwerkes, ist hierbei durch die Werkstoffeigenschaften der Wärmeübertragerrohre beschränkt. Diese Temperaturbeschränkungen können vermieden werden, wenn durch eine interne Verbrennung die Wärme direkt im Dampfstrom freigesetzt wird und nicht mehr durch einen Werkstoff übertragen werden muss. Dazu wird eine interne Zusatzfeuerung vorgeschlagen, bei der Erdgas oder Wasserstoff mit reinem Sauerstoff im Dampfstrom zwischen Teilturbinen oder zwischen Dampferzeuger und Dampfturbine verbrannt wird (siehe Prozessschema).



Prozessschema eines Dampfkraftwerkes mit interner Zusatzfeuerung mit Erdgas in der Zwischenüberhitzung

Bei Verbrennung von Erdgas mit reinem Sauerstoff entstehen als Verbrennungsprodukte Wasserdampf und CO_2 , die zusammen mit dem im Kessel erzeugten Wasserdampf in der Turbine als Arbeitsmittel genutzt werden. Wird das Wasserdampf-Kohlendioxid-Gemisch, welches bei der Verbrennung entsteht, im Kondensator dem Kreislauf entnommen, verdichtet und gekühlt, so kondensiert der Wasseranteil weitgehend und es bleibt nahezu reines, gasförmiges CO_2 übrig. Dieses kann anschließend abtransportiert und gespeichert werden. Wird Wasserstoff als Brennstoff eingesetzt, welcher durch Dampfreformierung aus Erdgas hergestellt wird, so kann das anfallende CO_2 aus dem Produktgas abgetrennt werden. In beiden Fällen kann das CO_2 mit vergleichsweise geringem Energieaufwand zurückgehalten werden.

Die zusätzliche Leistung der internen Zusatzfeuerung kann bei entsprechender Brennstoffbevorratung schnell zur Verfügung gestellt werden, so dass die interne Zusatzfeuerung auch zur Abdeckung von Spitzenlastanforderungen oder zur Stützung der Netzfrequenz bei großen Belastungsschwankungen eingesetzt werden kann. Es bleibt allerdings zu prüfen, zu welchen Beschränkungen die maximal zulässigen Temperaturgradienten der Dampfturbine führen.

Bei einem Dampfkraftwerk entsprechend dem Stand der Technik mit einem Frischdampfzustand von 250 bar/540 °C und einer Zwischenüberhitzung bei 56 bar/560 °C kann der Wirkungsgrad durch die interne Zusatzfeuerung in der Zwischenüberhitzung um bis zu 5,3 % erhöht werden. Die Leistung steigt bei konstantem Frischdampf-massenstrom um bis zu 33 %. Die Dampftemperatur nach der Zwischenüberhitzung wurde mit 900 °C angenommen, in Anlehnung an zulässige Materialtemperaturen von Nickel-Basis-Legierungen, die seit vielen Jahren erfolgreich in Gasturbinen eingesetzt werden.

Je mehr Brennstoff in der internen Zusatzfeuerung eingesetzt wird, desto größer ist die Reduzierung der spezifischen CO₂-Emissionen. Wird z. B. die komplette Zwischenüberhitzung bis auf eine Temperatur von 900 °C durch interne Zusatzfeuerung übernommen, so sinken die spezifischen CO₂-Emissionen um bis zu 42,4 %.

Der Zusatzfeuerung kann man einen Wirkungsgrad zuweisen, der durch das Verhältnis der Änderung von abgegebener elektrischer Leistung zu Änderung von zugeführter Brennstoffleistung im Vergleich zum Dampfkraftwerk ohne interne Zusatzfeuerung berechnet wird. Dieser Wirkungsgrad kennzeichnet im Wesentlichen die Qualität eines mit Erdgas befeuerten Prozesses, bei dem CO₂ zurückgehalten wird (hier mit einem Abgabedruck von 34 bar). Er liegt im günstigsten Fall bei 55,8 % und ist damit deutlich höher als bei anderen Konzepten zur CO₂-Rückhaltung in Großkraftwerken. Der Wirkungsgrad von mit Erdgas befeuerten GuD-Kraftwerken liegt bei Betrieb mit CO₂-Rückhaltung zwischen 45 und 50 %. Bei GuD-Kraftwerken mit Kohlevergasung (IGCC) liegt er zwischen 40 und 45 % und bei kohlebefeuerten Dampfkraftwerken bei rund 30 %.

Um einen ersten Eindruck über die Wirtschaftlichkeit von Dampfkraftwerken mit interner Zusatzfeuerung zu erhalten, wurden unter der Annahme gleicher Stromerzeugungskosten die gerechtfertigten Zusatzinvestitionen gegenüber üblichen Dampfkraftwerken ermittelt. Für diese Berechnungen wurden Kosten für Kohlendioxid-Emissionen in Höhe von 30 €/t angenommen. Die Kosten für den Transport und die Einlagerung des zurückgehaltenen Kohlendioxids wurden mit 10 €/t angenommen. Bei diesen Bedingungen betragen die gerechtfertigten Zusatzinvestitionen von Dampfkraftwerken mit interner Zusatzfeuerung gegenüber üblichen Dampfkraftwerken im günstigsten Fall rund 30 % der Basisinvestition. In Anbetracht der Tatsache, dass der Kostenanteil der Dampfturbine an den Gesamtkosten des Kraftwerks nur rund 10 % beträgt, erscheint es machbar zu sein, die Zusatzkosten für die interne Zusatzfeuerung in dem gerechtfertigten Rahmen von 30 % zu halten.

Weiterführende Informationen zu den Berechnungen und das Literaturverzeichnis sind im VDI-Bericht Nr. 1714 (2002), Seite 179 – 190, enthalten oder bei den Autoren erhältlich.

* *Prof. Dr.-Ing. Christoph Kail, Fachhochschule Südwestfalen, Meschede, eMail: kail@fh-swf.de, Homepage: www.fh-meschede.de/public/kail;*

Dipl.-Ing. Georg Haberberger, Siemens AG, Power Generation, Erlangen, eMail: georg.haberberger@siemens.com