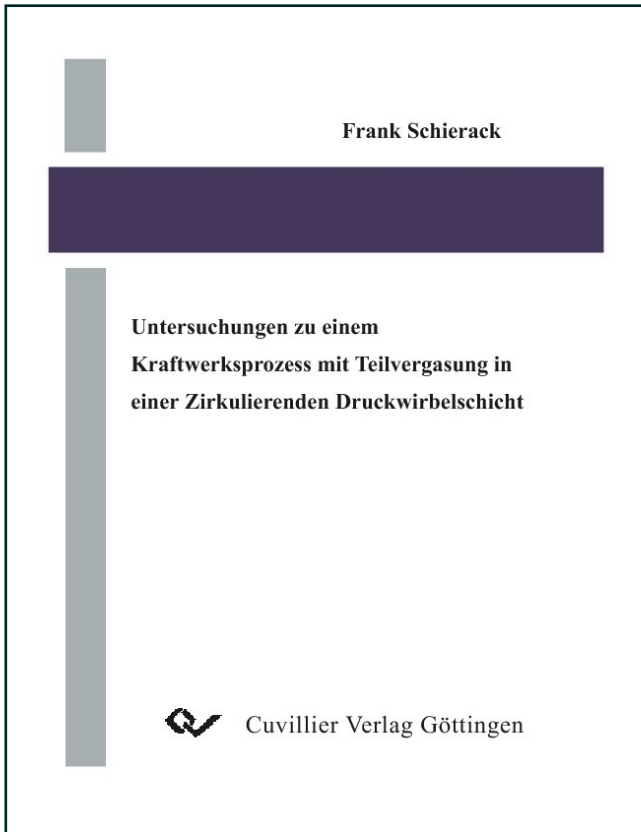




Frank Schierack (Autor)

**Untersuchungen zu einem Kraftwerksprozess mit
Teilvergasung in einer Zirkulierenden
Druckwirbelschicht**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2731>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Auf Grund der wachsenden Weltpopulation und des zunehmenden Pro-Kopf-Energieverbrauches wird der weltweite Primärenergiebedarf von 9,2 Mrd. t Rohöleinheiten (RÖE) im Jahr 2000 bis zum Jahr 2030 jährlich um 2% auf 15,3 Mrd. t RÖE steigen [IEA02]. Die in den verschiedenen UN- Klimakonferenzen beschlossenen Maßnahmen werden die durch den Energieeinsatz verursachte drastische Steigerung an Kohlendioxidemissionen nicht verhindern können. Die damit einhergehende Umweltbelastung und die Verknappung der Energie- und Rohstoffvorkommen gerät zunehmend in das öffentliche Bewusstsein. Die Diskussion, ob das anthropogene CO₂ überhaupt und in welchem Maße den Treibhauseffekt hervorruft, darf auf keinen Fall die begonnene Entwicklung hin zu einer schonenden und nachhaltigen Nutzung der begrenzten, natürlichen Ressourcen in Frage stellen bzw. aufhalten. Alle Sparten der Volkswirtschaft sind aufgefordert, vorhandene Energieeinsparpotentiale zu nutzen. Speziell den Energieversorgungsunternehmen und den in diesem Bereich tätigen Forschungsinstituten kommt die Rolle zu, verstärkt neue, innovative Prozesse zu entwickeln, die verfügbare Primärenergieträger effektiver ausnutzen. Jedoch wird ein innovatives Verfahren erst durch die gleichzeitig ausgeprägte Wirtschaftlichkeit attraktiv und kann durch seine breite Anwendung den gewünschten positiven Effekt auf den globalen Umweltschutz haben.

Zur Zeit spielen im Weltenergiemix die fossilen Primärenergieträger Erdöl mit 40% des Weltprimärenergieverbrauches, Kohle (26%) und Erdgas (24%) die wichtigste Rolle weit vor der Kernenergie (7%) und den erneuerbaren Energieträgern (2%) [IEA02]. Diese Verteilung wird sich bis zum Jahr 2030 nicht entscheidend ändern und ein Rückgang der Nutzung fossiler Brennstoffe erscheint als nicht realistisch, da in absehbarer Zeit keine gleichwertigen Alternativen verfügbar sein werden und in einigen Ländern bereits der Ausstieg aus der Atomenergie beginnt. Auf dem Weltenergiemarkt ist Kohle der fossile Energieträger mit den größten sicher förderbaren Reserven. Ausgehend vom gegenwärtigen Verbrauch beträgt die Reichweite von Steinkohle ca. 160, für Braunkohle sogar 460 Jahre. Für Erdöl mit ca. 42 und Erdgas ca. 60 Jahren sind diese Zeitspannen weitaus geringer [BP03][DEB03]. Somit stellt der Einsatz des Primärenergieträgers Kohle die Basis für eine sichere, zuverlässige und planbare Energieversorgung dar. Nachteilig bei der Kohleverstromung sind jedoch die hohen CO₂- Emissionen pro erzeugter Energieeinheit. Sollen die CO₂- Emissionen einer auch zukünftig funktionierenden Energiewirtschaft bezahlbar reduziert werden, muss neben der Erforschung neuer Energieträger der Handlungsschwerpunkt auf die weitere Steigerung der Effizienz kohlebefuerter Kraftwerke gesetzt werden.

Der Erfolg einer zukünftigen, großtechnischen Anwendung innovativer Kohlekraftwerkstechnik und damit ein merklicher Beitrag zu den vereinbarten Klima-

zielen hängt davon ab, ob die Technik Anforderungen erfüllt, wie ein hoher Wirkungsgrad, eine hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, geringe Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen, ein gutes Lastwechsel- und Teillastverhalten, möglichst hohe Abfall- und Entsorgungsfreiheit und eine breite Bevölkerungsakzeptanz. Hierzu soll die Arbeit einen Beitrag leisten.

1.2 Zielstellung der Arbeit und Bearbeitungsablauf

Moderne Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GUD), befeuert mit den edlen Brennstoffen Erdöl und Erdgas, erreichen bei den zur Zeit verfügbaren Verstromungstechniken für fossile Brennstoffe mit Werten von über 56% den höchsten Nettowirkungsgrad. Diese Technologien kombinieren den Gas- und Dampfturbinenprozess miteinander. Der hohe Wirkungsgrad resultiert aus einer hohen oberen Prozesstemperatur, der Rauchgastemperatur am Gasturbineneintritt, von über 1200 °C. Diese Temperaturen sind in heutigen Kraftwerksanlagen und dem Stand der Technik problemlos zu realisieren, da sich die genannten aschefreien Brennstoffe nahezu rückstandslos in einer der Gasturbine vorgeschalteten Druckfeuerung energetisch umsetzen lassen. Die Restwärme des entspannten Rauchgases treibt einen Dampfkraftprozess an.

Ausgangspunkt und Motivation für die Anfertigung dieser Arbeit ist, das hohe Wirkungsgradpotential des GuD, auch als Kombi- Technik bezeichnet, mit möglichst geringem technischem Aufwand auch für den asche- und schwefelhaltigen Festbrennstoff Braunkohle zu erschließen. Dadurch, dass Braunkohle auf dem Weltenergiemarkt neben Steinkohle der fossile Primärenergieträger mit den höchsten Reserven und Ressourcen ist, kann somit auf lange Sicht ein bedeutender Beitrag zur Versorgungssicherheit, Ressourcenschonung, CO₂- Emissionsreduktion und Erhöhung der Wirtschaftlichkeit im Bereich der Energiewirtschaft geleistet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen erste experimentelle Untersuchungen an einer Versuchsanlage mit einer Zirkulierenden Druckwirbelschichtfeuerung der 2. Generation durchgeführt werden. Ziel ist es, praktisch fundierte Aussagen zum Wirkungsgradpotential der Technologie und Auslegungsgrundlagen für eine halbindustrielle Anlage zu liefern. Von vorrangigem Interesse sind dabei die Einflüsse der verschiedenen verbrennungs- und strömungstechnischen Betriebsparameter auf das Anlagenverhalten, die Effektivität des Kohleumsatzes und die Schadstoffrückhaltung.

Die wichtigste Voraussetzung für die experimentellen Untersuchungen ist die Konzepterarbeitung, die Auslegung, der Aufbau und die Inbetriebnahme einer Versuchsanlage.

Das Konzept der Versuchsanlage ist mit der Zielsetzung zu entwickeln, in einem zukünftigen Kohlekombikraftwerk Rauchgastemperaturen vor der Gasturbine von weit oberhalb des Ascheerweichungspunktes zu ermöglichen. Der Umsatz des Brennstoffes soll zweistufig erfolgen. Die erste Stufe soll eine Teilvergasung bil-

den, in der der Brennstoff vollständig in ein Schwachgas umgesetzt wird. Das Gas soll unmittelbar danach zwischengekühlt und einer Heißgasreinigung zugeführt werden. Die Aschepartikel müssen bis zur Heißgasreinigungsstufe abgeschieden und ausgeschleust werden, damit Probleme durch Anbackung flüssiger Asche und Erosionserscheinungen an nachgelagerten Baugruppen, vor allem an der Gasturbine, ausgeschlossen werden können. In der zweiten Stufe, der Nachbrennkammer, sollen die Temperaturen des gereinigten Schwachgases durch Luftzufuhr deutlich angehoben werden.

Ziel des feuerungstechnischen Konzeptes ist es, bereits durch primäre Maßnahmen mögliche Schadstoffe wie NO_x und SO_2 bei der thermischen Umsetzung der Kohle zu verhindern bzw. zurückzuhalten. Eine besondere technische Herausforderung ist in diesem Zusammenhang, neben dem Erreichen der hohen Temperaturen, die Grenzwerte moderner Gasturbinen für Staub- und Alkalibeladungen des Rauchgases einzuhalten.

Für die Unterstützung der strömungstechnischen Auslegung des Wirbelschichtreaktors sind an einem isothermen Strömungsmodell gezielte Versuche durchzuführen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen können Instrumente zur späteren Bewertung der Feststoffzirkulation während der Braunkohleverbrennung unter hohem Druck und hoher Temperatur entwickelt werden.

Die genannten Aufgabenstellungen werden am Technikum der BTU Cottbus bearbeitet. Für das Erreichen der aufgeführten Ziele wird folgende Herangehensweise gewählt.

- Ein anlagentechnisches Konzept wird erarbeitet, welches experimentelle Untersuchungen einer druckaufgeladenen Verbrennung von Braunkohle zu einem schadstoffarmen und nahezu staubfreien Rauchgas auf einem hohen Temperaturniveau ermöglicht. Dieses Konzept der zweistufigen Verbrennung unter Druck beinhaltet u.a. die Schleus- und Dosierstation für Brennstoff und Inertmaterial, die Zirkulierende Druckwirbelschichtfeuerung mit einem Aschefließbettkühler, das Ascheschleussystem, den Rohgaskühler, den Heißgasfilter, die Nachbrennkammer, die Rauchgasquenche und die Rauchgasableitung.
- Es schließt sich die Auslegung der Versuchsanlage mit einer entsprechenden Leittechnik an.
- Unterstützend zu den Auslegungen des Verbrennungsreaktors wird ein isothermes Strömungsmodell im Maßstab 1:1 aufgebaut und gezielte Untersuchungen zum optimalen Design der strömungstechnisch relevanten Baugruppen der Zirkulation durchgeführt. Mit den Ergebnissen der Untersuchungen am Strömungsmodell werden die Auslegungsarbeiten abgeschlossen.

- Parallel zum Aufbau und zur Inbetriebnahme der Versuchsanlage wird ein Untersuchungsprogramm entwickelt, dessen Schwerpunkte auf dem Brennstoffumsatz, dem Schadstoffemissionsverhalten und der Strömungsmechanik unter Druck- und Temperaturbedingungen liegen.
- Den ersten Untersuchungsabschnitt stellen Fahrweisen dar, die einen Luftüberschuss in der Wirbelschicht vorsehen.
- Den zweiten Untersuchungsabschnitt bilden die Untersuchungen zum Konzept der ZDWSF der 2. Generation. Durch die Teilvergasung im ZDWSF-Reaktor wird ein Schwachgas erzeugt und in der Nachbrennkammer durch Luftzufuhr nachverbrannt. Im Gegensatz zu den reinen Verbrennungsversuchen sind zusätzlich die Schwachgaskonzentrationen am Zyklon der Wirbelschicht in Zusammenhang mit einer stabilen Schwachgaszündung in der Nachbrennkammer von großem Interesse.
- Begleitend zu den Verbrennungs- und Teilvergasungsversuchen werden weiterhin Strömungsuntersuchungen am Kaltmodell durchgeführt. Zum einen werden mit ihnen die Vorgänge innerhalb des Druckbehälters der Feuerungsanlage simuliert und visualisiert, um somit eine fortschreitende Optimierung der Steuerungsalgorithmen für die Feuerungsanlage zu erleichtern.
Zum anderen dienen sie zur Quantifizierung der Abhängigkeiten zwischen Zirkulationsrate, Leerrohrgeschwindigkeit, Feststoffverteilung und den Eigenschaften des Gas- Feststoffsystems. Die später im druckaufgeladenen Feuerungsbetrieb ermittelten Daten werden mit denen aus den Kaltversuchen verglichen und signifikant bewertet.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die experimentellen Untersuchungen an einer Versuchsanlage ohne Rohgaskühler und Heißgasfilter durchgeführt.

Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über den Stand der Technik gegeben, in den sich das in dieser Arbeit untersuchte Verfahren einordnen lässt. Es werden ebenfalls die abgrenzenden Charakteristika des Verfahrens dargestellt.

2 Stand der Technik

Die Technik einer ZDWSF der 2. Generation stellt eine Kombination von drei Verfahren dar. Dazu gehören

- die Wirbelschicht,
- die Vergasung und
- das Kombikraftwerk.

Diese bilden in ihrer Verbindung ein Verfahren, welches erlaubt, den Brennstoff Braunkohle hocheffizient und sauber in elektrische Energie zu wandeln. Im Folgenden wird auf jede einzelne Technologie und den technischen Stand eingegangen.

2.1 Wirbelschichttechnik

Stationäre Wirbelschicht¹

Erstmalig wurde das Prinzip der Stationären Wirbelschicht durch das von Winkler entwickelte Verfahren im Jahre 1922 großtechnisch realisiert. Es diente zur Vergasung von Kohle. Charakteristisch für dieses Verfahren ist, dass eine sich oberhalb von einem Düsenboden befindliche Schüttschicht durch ein aufwärtsgerichtetes Gas durchströmt wird. Ausgehend vom Festbett erreicht man durch Steigerung des Gasvolumenstromes bzw. der Leerrohrgeschwindigkeit den Punkt der Minimalfluidisation, von dem ab das Gut in Schwebe gehalten wird und das Gut sich ähnlich einem Fluid verhält (Abbildung 1). Im Betriebsbereich des Festbettes verhält sich der Druckverlust über der Schüttung proportional zur Leerrohrgeschwindigkeit. Ab der Minimalfluidisation, oder auch Lockerungspunkt genannt, bleibt bei weiterer Steigerung des Gasvolumenstromes der Druckverlust konstant. Der Lückengrad bzw. die Porosität nimmt jedoch zu, was zu einer Ausdehnung des Bettes führt. Für die Gas- Feststoffsysteme typisch kommt es vermehrt zur Bildung feststofffreier Blasen, die sich zur Bettoberfläche hin bewegen. Die zuvor sichtbare, scharf abgegrenzte Oberfläche der Wirbelschicht schwimmt. Wird mit der Leerrohrgeschwindigkeit die Einzelpartikelsinkgeschwindigkeit überschritten, beginnt der Austrag von Feststoffpartikeln. Zwischen Lockerungspunkt und Einzelpartikelsinkgeschwindigkeit liegt der Bereich der Stationären Wirbelschicht. Die breite Anwendung der Wirbelschicht in der Industrie verdankt sie ihren hervorragenden Wärme- und Stoffübergangsbedingungen, dem guten Durchmischungsverhalten und einer gleichmäßigen Temperaturverteilung. An der ZDWSF- Versuchsanlage ist der sogenannte Aschefließbettkühler

¹In der vorliegenden Arbeit werden Stationäre Wirbelschicht und Zirkulierende Wirbelschicht als Eigennamen verwendet.