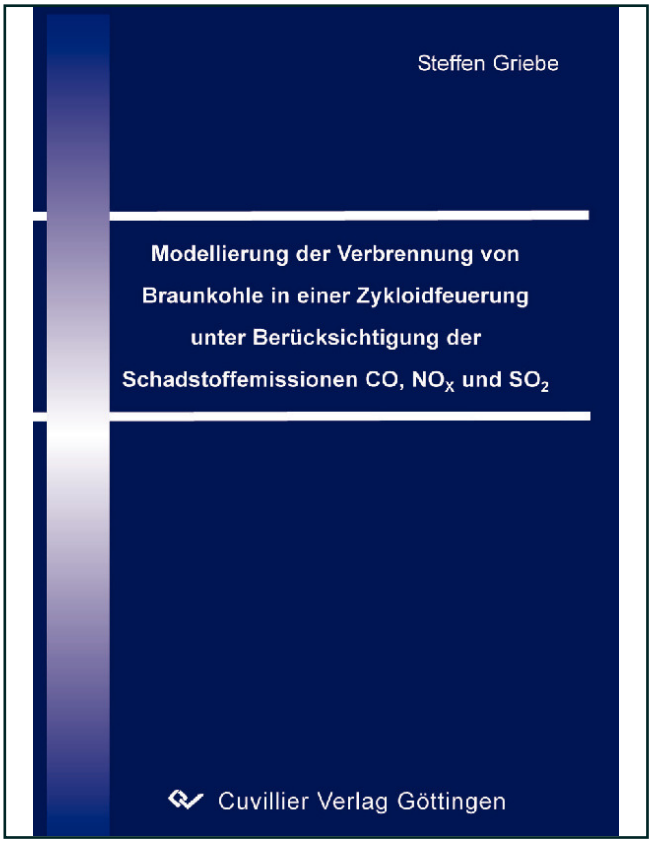
Steffen Griebe (Autor)

Modellierung der Verbrennung von Braunkohle in einer Zykloidfeuerung unter Berücksichtigung der Schadstoffemissionen CO, NOX und SO2



https://cuvillier.de/de/shop/publications/1551

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

1 Motivation und Aufgabenstellung

1.1 Einleitung

Als Energieträger zur Energieversorgung werden künftig, laut aktueller Energiestudien bis 2030, überwiegend fossile Brennstoffe auf Grund ihrer weltweiten, wirtschaftlich verfügbaren Reserven und der Ressourcen eingesetzt [1, 2, 3]. Der weltweite Primärenergiebedarf wird bis in das Jahr 2030 um ca. die Hälfte des gegenwärtigen Standes steigen. Dabei soll der Anteil der fossilen Brennstoffe am Weltenergieverbrauch von derzeit 80% auf 81% wachsen [1]. Ähnliche Ergebnisse werden in [2] ausgewiesen. Dabei wird ein Energiemix unterstellt, der hauptsächlich aus Erdgas, Erdöl und Kohle zusammengesetzt ist. Die ausgewiesenen Reserven der Energieträger liegen bei 62 Jahren für Erdöl, 69 Jahren für Erdgas und 209 Jahren für Kohle [2]. Der jährliche Anstieg des Verbrauchs wird für Kohle und Erdgas mit 1,8% angegeben und für Erdöl mit 1,4%. Ähnliche jährliche Zuwachsraten werden insgesamt für die „sonstigen Energieträger" prognostiziert, die aus Wind und Solar (größter Anteil), Biomasse / Müllverbrennung, Wasserkraft und Kernenergie bestehen. Die durchschnittliche internationale Zuwachsrate im Primärenergieverbrauch bis 2030 wird von der International Energy Agency [1] mit einem Wert von 1,6% angegeben.

Hinsichtlich der Preisentwicklung wird der Trend ausgewiesen, dass trotz zu erwartender Preissteigerungen für Erdgas und Erdöl die Importpreise für Steinkohle und Braunkohle bis zum Jahr 2030 auf einem nahezu konstanten Niveau bleiben [2]. Die weltweite Verteilung der Energieträger wird hierfür als ein Grund genannt. Im Vergleich zu Erdgas und Erdöl ist Kohle nicht auf einige Gebietsregionen konzentriert und wird in den jeweiligen Ländern zur import-unabhängigen Energieversorgung eingesetzt.

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland soll sich bis 2020 verringern. Der gesamte Energieverbrauch in Deutschland lag im Jahr 2005 bei einem Wert von 486 Mio. t SKE [4] und soll bis 2020 voraussichtlich auf 437 Mio. t SKE sinken. Der Energiemix wird voraussichtlich im Jahr 2020 im Vergleich zu 2005 folgende prozentuale Verteilung aufweisen (Tabelle 1.1).

	2005 [%]	2020 [%]
Mineralöl	36,0	38,1
Erdgas	22,7	28,6
Steinkohle	12,9	10,8
Braunkohle	11,2	11,6
Kernenergie	12,5	2,7
Wasser und Sonstige	4,7	8,2

Tabelle 1.1: Primärenergieverbrauch in Deutschland in den Jahren 2005 und 2020 [4, 5]

In Deutschland wurde im Jahr 2005 eine Gesamtmenge von 178 Mio. t Braunkohle gefördert, was einem Anteil von 11,2% am Primärenergieverbrauch entspricht. Von der Gesamtfördermenge entfallen auf das Rheinland 54,7%, Mitteldeutschland 10,7%, die Lausitz 33,4% und Sonstige 1,2% (Helmstedt und Bayern). Der Verwendung nach aufgeteilt, wurden 165 Mio. t Braunkohle (92,7%) direkt zur Stromerzeugung eingesetzt. Der verbleibende Anteil von 13 Mio. t wird in der Veredelung zu Briketts (22,4%), Braunkohlenstaub (49,7%), Wirbelschichtkohle (10,6%) und Koks (4,1%) weiterverarbeitet bzw. zur Stromerzeugung in den

Kraftwerken des Bergbaus (13,2%) eingesetzt [5]. Im Jahr 2005 wurden von der Gesamtleistung der Bruttostromerzeugung in Deutschland (619 TWh) anteilig 25% auf der Basis von Braunkohle bereitgestellt.

Bei der Verbrennung von Braunkohle zur Energieerzeugung werden unterschiedliche Schadstoffkomponenten freigesetzt und emittiert. Neben den klimarelevanten Gaskomponenten wie z. B. Kohlendioxid, deren Emissionen als Treibhausgase reduziert werden müssen, zählen u. a. Schwefeldioxid, Stickoxide und Kohlenmonoxid dazu. Die Höhe der Emissionen an Schwefeldioxid und Stickoxiden, die durch die Stromerzeugung verursacht werden, ist in der EU zwischen den Jahren 1980 und 2000 deutlich zurückgegangen (Bild 1.1). Ein vergleichbarer Trend ist für Kohlenmonoxid zu verzeichnen. Für die Bundesrepublik Deutschland sind die erreichten Werte für SO_2, NO_X und CO für den Zeitraum von 1990 bis 2001 eingetragen. Gründe für die deutliche Minderung der Emissionswerte von Verbrennungsanlagen sind die geltenden Grenzwerte, die durch geeignete technische Maßnahmen eingehalten werden. Auf Grund der von den Emissionen ausgehenden für die Umwelt schädlichen Wirkungen besteht nach wie vor das Interesse, die Schadstoffemissionen gering zu halten. Hierzu werden entsprechende Technologien und Verfahren eingesetzt.

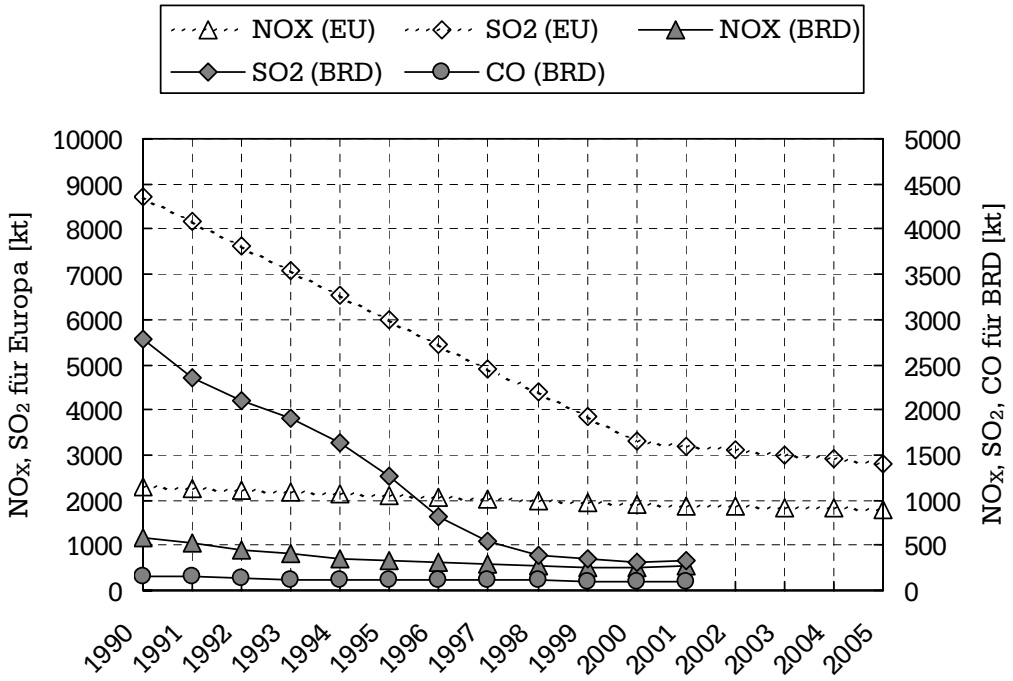


Bild 1.1: In Europa und Deutschland verursachte Emissionen an SO_2, NO_X und CO [6, 7]

Zu den verschiedenen grundsätzlichen Möglichkeiten zur Verringerung der Emissionen zählen die Veredlung der Brennstoffe, feuerungsseitige Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen. Eine Veredlung von fossilen Brennstoffen, in der der Schwefelgehalt verringert wird, findet hauptsächlich für Erdgas und Mineralöl technisch Anwendung. Für die Kohle bestehen ebenfalls technische Möglichkeiten, entweder den Schwefelgehalt zu verringern oder während der Veredlung kalziumhaltige Additive dem Brennstoff zuzusetzen (Brikettherstellung), die jedoch aus wirtschaftlicher Sicht bisweilen geringfügig eingesetzt wurden. Die sogenannten Primärmaßnahmen beeinflussen den Verbrennungsprozess, um durch eine geeignete Wahl der Feuerungsführung die Bildung der Schadstoffkomponenten zu vermin-

dern oder im Feuerraum beispielsweise gebildetes SO_2 oder NO_X zu reduzieren. Die Verringerung der Schadstoffemissionen durch entsprechende Rauchgasreinigungsanlagen zählt zu den Sekundärmaßnahmen. Es werden neben den üblichen staubabscheidenden Filtern beispielsweise SO_2-Rauchgaswäschen oder katalytisch wirkende Verfahren zur Stickoxidminderung eingesetzt.

Mit Hilfe von feuerungsseitigen Primärmaßnahmen können die Grenzwertforderungen bereits erreicht werden, so dass Sekundärmaßnahmen entfallen oder in einem geringeren Umfang realisiert werden müssen. Die Höhe der Konzentrationen der Komponenten im Rauchgas ist eine entscheidende Auslegungsgröße für filternde oder abscheidende Sekundärverfahren, deren apparative Ausführungen kleiner gebaut werden oder vollständig entfallen können. Dadurch werden zum einen die Investitionskosten vermindert und zum anderen die Betriebs- und Wartungskosten gering gehalten.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit richtet sich auf den Einsatz von Primärmaßnahmen. Zur technischen und kommerziellen Umsetzung von Technologien und Verfahren der Energieerzeugung ist ein Entwicklungs- und Erprobungsaufwand erforderlich. Um das Auslegungs- und Betriebsrisiko zu verringern, erfolgt zunächst eine Entwicklung und Erprobung im Labor- und Technikummaßstab. Im Rahmen dieses Entwicklungsschrittes werden meist geeignete Modelle aufgestellt, die eine mathematisch, technisch-wissenschaftlich begründete Beschreibung der Verfahren oder des Prozesses ermöglichen. Diese Modelle werden im Anschluss zur Unterstützung der Auslegung beim Scale-up eingesetzt. Das Übertragungsrisiko kann so verringert, die Betriebsparameter vorhergesagt und eine erste Pilotanlage realisiert werden. Nach der erfolgreichen Absolvierung einer Betriebs- und Untersuchungsphase kann danach die erste Anlage im Demonstrationsmaßstab entstehen. Der begleitende Einsatz von mathematischen Modellen unterstützt die aufgeführten Entwicklungs- und Erprobungsphasen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, spätere Optimierungen, Umbauten oder Ertüchtigungen an Betriebsanlagen durch Modellrechnungen zu unterstützen.

Um die Übertragbarkeit der Modellrechnungen zu erreichen, müssen die technischen Randbedingungen möglichst allgemeingültig erfasst und beschrieben werden. Es sind Messungen an den verschiedenen Anlagen zur Datenvalidierung erforderlich, um eventuelle Anpassungen zu quantifizieren. Es wird bei Untersuchungen an Labor-/Technikum- und Pilotanlagen und Modellierungen weiterhin vorausgesetzt, dass die Ähnlichkeitskriterien eingehalten werden. Das ist nicht immer in vollem Umfang möglich, beispielsweise bei der Übertragung von Ergebnissen isothermer Untersuchungen auf reale thermische Prozesse. Bei der Konzeption und Erstellung eines Prozessmodells ist es erforderlich, den rechentechnischen Aufwand entsprechend der späteren Nutzung gering zu halten. Eine entscheidende Einflussgröße ist, ob das Modell zur physikalisch-chemischen Beschreibung des Verfahrens oder zur Vorhersage von Betriebsparametern und dessen Auswirkungen auf die ablaufenden Reaktionen verwendet werden soll.

1.2 Ausgangssituation der Zykloidfeuerung

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsvorhabens wurde die Zykloidfeuerungstechnologie für den wirtschaftlichen

Einsatz von vorzugsweise Lausitzer Braunkohle und Mischbrennstoffen entwickelt [8, 9]. Das Vorhaben wurde gemeinsam von den Industriepartnern Babcock Borsig Power Environment GmbH (vormals L. & C. Steinmüller GmbH), Lausitzer Braunkohle AG und dem Energieressourcen-Institut e. V. durchgeführt. Inhaltlich wurde in die Bearbeitungszeit von insgesamt 3,5 Jahren auch die Entwicklung einer druckaufgeladenen Zykloidbrennkammer integriert [10, 11]. Die Technologieentwicklung zur atmosphärischen Zykloidfeuerung zielte auf einen Leistungsbereich von 1 MW_{th} bis 20 MW_{th} für den dezentralen Wärmemarkt zur Heißwasser- oder Prozessdampferzeugung, die von Industrie und Kommunen nutzbar ist [12]. Durch den Einsatz von Lausitzer Trockenbraunkohle als Grundbrennstoff besteht die Möglichkeit, kommunalen pressfeuchten Klärschlamm und Holzhackschnitzel effizient mit zu verbrennen. Die im Rahmen der Untersuchungen eingesetzte Trockenbraunkohle entspricht im Wesentlichen der in Schwarze Pumpe hergestellten Wirbelschichtkohle mit einem unteren Heizwert von 19,0 MJ/kg bei einem Wassergehalt von 19,0 Ma.-% (Körnungsband 0 – 6,3 mm). Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind in Veröffentlichungen dokumentiert [8, 9, 11, 13, 14, 15]. Die Brandenburgische Technische Universität begleitete diese Entwicklung mit Grundlagenuntersuchungen zum Strömungsverhalten der kalten, isothermen Gasströmung der Zykloidbrennkammer [14, 16, 17].

Aus Sicht der verfahrenstechnischen Einteilung technischer Verbrennungssysteme kann die Zykloidfeuerung zwischen der zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung und der Staubfeuerung eingeordnet werden (Bild 1.2).

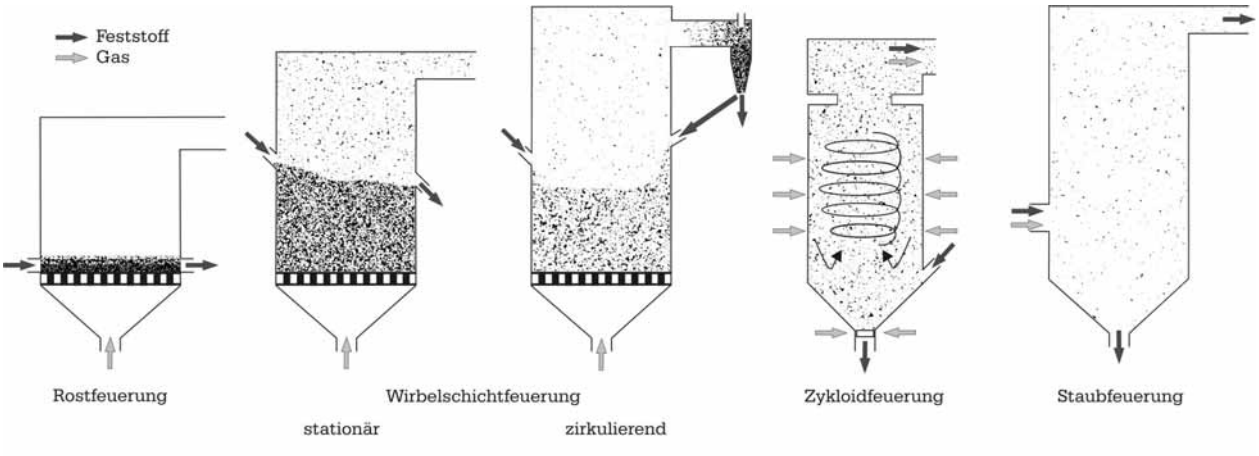


Bild 1.2: Verfahrenstechnische Einteilung der Feuerungen nach Görner [18] und Zelkowski [19] und Einordnung der Zykloidfeuerung

Die Verbrennung der eingetragenen groben Kohlepartikel findet in der Schwebe statt. Bei der Zykloidfeuerung wird generell auf die Zugabe eines inerten Bettmaterials im Gegensatz zur Wirbelschichtfeuerung verzichtet. Der Druckverlust über die Brennkammer nähert sich, vergleichbar mit der Staubfeuerung, dem Wert bei einer reinen Gasdurchströmung an. Die Verbrennungstemperatur wird durch die Fahrweise mit einem hohen Anteil an abgekühlten und entstaubten, rezirkulierten Rauchgas unterhalb der Ascheerweichung gehalten. Bei einer Zusammensetzung des Verbrennungsluftgemisches aus 40 Ma.-% Frischluft und 60 Ma.-% Rauchgas liegt der Sauerstoffgehalt in der Größenordnung von 11,5 Vol.-%.

Auf Grund der Betriebsweise und der Ausbildung der Strömungsart entstehen feuerungsseitige Vorteile, die Primärmaßnahmen zur Minderung der Schadstoffkomponenten SO_2 und NO_X in einem vergleichsweise hohen Maß zulassen. Zu den Vorteilen der Zykloidfeuerung zählen eine ausreichende Vermischung zwischen Gas und Feststoff, eine gleichmäßige vertikale Temperaturverteilung, eine partikelgrößenabhängige Verweilzeit, die einen hohen Ausbrand bei niedrigen CO-Gehalten ermöglicht, und eine flammenlose Verbrennung der Festbrennstoffe in der Brennkammer. Hinsichtlich der Stickoxide wird die Bildung von thermischen und prompten NO_X verhindert. Durch die Rauchgasrezirkulation und die gestufte Verbrennungsführung können die Brennstoffstickoxide, ähnlich dem Prinzip bei Staub- und Wirbelschichtfeuerungen, vermindert werden. Es wird eine Reduzierung auf Werte unterhalb der Grenzwertvorgaben der TA-Luft, in der Größenordnung von 180 mg/Nm^3 (7,0 Vol.-% O_2), für NO erreicht. Bezüglich der Schwefeldioxidkonzentrationen tritt auf Grund der Vergleichmäßigung der Temperaturverteilung, der Verweilzeiterhöhung und des eigenen Kalziumanteils der Lausitzer Braunkohle eine Selbstentschwefelung in Höhe von bis zu 58% auf. Damit werden die für den Einsatzbereich relevanten Grenzwerte für SO_2 von 1.000 mg/Nm^3 (7,0 Vol.-% O_2) bereits durch feuerungstechnische Primärmaßnahmen deutlich unterschritten. Die CO-Konzentrationen liegen innerhalb des gesamten Leistungsbereichs (Lastverhältnis von 1 : 4) unterhalb der zulässigen Grenzwerte im Bereich zwischen 10 und 25 mg/Nm^3 (7,0 Vol.-% O_2). Diese Konzentrationswerte wurden auch bei der Mitverbrennung von mechanisch entwässertem Klärschlamm erreicht, der in einem Masseverhältnis von 1 : 1 der Trockenbraunkohle, ohne Aufbereitung wie Trocknung oder Mischung, zugefeuert werden kann [8].

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden industrielle Anlagenkonzepte repräsentativ für die Leistungsklassen 1, 5, 10 und 20 MW_{th} aufgestellt. Auf Grund der erreichten niedrigen Emissionswerte für SO_2, NO_X und CO konnte auf Sekundärmaßnahmen verzichtet werden. Darüber hinaus wurden die Grenzwerte der SO_2-Konzentration bereits ohne die Zugabe von Entschwefelungsadditiven durch die Feuerungsführung und den Eigenanteil an Kalzium der Brennstoffasche unterschritten. Generell ist die Zugabe von Entschwefelungsadditiven unter den Feuerraumbedingungen sehr effizient möglich und wurde innerhalb des Forschungsvorhabens erprobt [8].

Für ein Scale-up der Brennkammer ist die Kenntnis über die Höhe der zu erwartenden Emissionen insbesondere beim Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe oder verschiedener Braunkohlen erforderlich. Einerseits besteht die Möglichkeit mit der bestehenden 0,5 MW_{th}-Technikumanlage experimentelle Untersuchungen durchzuführen, die einen hohen finanziellen Aufwand erfordern, und andererseits können mittels eines mathematischen Brennkammermodells die Konzentrationen in Abhängigkeit von der Betriebsweise durch Trendrechnungen ermittelt werden. Es ist sowohl die Verbesserung der betrieblichen Konzeption einer in Planung befindlichen kommerziellen Anlage möglich, als auch die betriebliche Optimierung bestehender Anlagen bei wechselnden Einsatzstoffen mittels Simulationsrechnungen.

Ein mathematisches Brennkammermodell für die Zykloidfeuerung, welches die Strömungsvorgänge und die ablaufenden Reaktionen während der Verbrennung zur Bildung und Minderung der Schadstoffemissionen unter Beachtung der Einsatzstoffe und der Betriebsparameter berücksichtigt, existiert bisher nicht.

1.3 Zielsetzungen und Abgrenzung

Im Rahmen einer ersten wissenschaftlich-technischen Arbeit zur Zykloidfeuerung wurde ein CFD-Modell der isothermen, kalten Gasströmung erstellt [16]. Aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen, die im Wesentlichen an einem Kaltmodell durchgeführt wurden, konnten Erkenntnisse über das sich ausbildende Strömungsfeld abgeleitet werden. Auf Grund der isothermen Modellierung der Feuerraumströmung können keine unmittelbaren Aussagen zum Verhalten der heißen, partikelbeladenen und reagierenden Strömung getroffen werden. Strömungsmessungen können ebenfalls nicht ohne weiteres an der bestehenden Feuerungsanlage durchgeführt werden, sind aber als Datenbasis für ein Modell erforderlich.

Aus dem eigenen Erkenntnis- und Wissensstand umfangreicher experimenteller Untersuchungen [8, 9, 11, 13, 15] und unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus [16] wurde die Zielstellung der hier vorgelegten Arbeit abgeleitet, ein mathematisches Brennkammergesamtmodell für die Zykloidbrennkammer zu entwickeln. Im Vordergrund der Anwendung des Brennkammermodells stehen die Analyse der ablaufenden Verbrennungsvorgänge und das Aufzeigen von Optimierungspotentialen.
Aus diesen Anforderungen wurde abgeleitet, dass im Modell sowohl das Strömungsverhalten als auch die Kohleverbrennung einschließlich der Mechanismen zur Bildung und Reduzierung der gasförmigen Schadstoffkomponenten CO, NO_X und SO_2 als Teilmodelle integriert werden müssen. Als wesentliche Einflussgrößen auf das Betriebsverhalten werden die Brennstoffaufgabe, die Verbrennungsluftzuführung, die Brennkammertemperatur, die Korngrößenverteilung der Trockenbraunkohle und deren kinetische Verbrennungscharakteristik einbezogen.

Das Strömungsverhalten der Brennkammer soll mit Hilfe der Verweilzeitverteilung einer Reihenschaltung idealisierter Rührkesselreaktoren beschrieben werden, wodurch die makroskopische Vermischung von Brennstoff und Oxidationsmittel berücksichtigt wird. Die Temperatur- und Konzentrationsprofile innerhalb der einzelnen Rührkesselreaktoren werden, gemäß der Definition für den idealisierten Reaktortyp, als konstant angenommen. Durch die Betrachtung der Makrovermischung werden die wesentlichen Prozessparameter der ablaufenden Verbrennungsreaktion erfasst. Es kann ferner die Kinetik der Brennstoffumsetzung und Schadstoffbildung und -minderung mit dem Bilanzmodell des Rührkesselreaktors mathematisch gekoppelt werden. Die Brennstoffzusammensetzung und das charakteristische Verbrennungsverhalten des Brennstoffs bilden die Grundlage für das Partikelabbrandmodell. Durch die Verknüpfung der Reaktoren zu einer Rührkesselkaskade wird der Gesamtprozess der Feuerung abgebildet, woraus der Konzentrationsverlauf der betrachteten Gaskomponenten (SO_2, NO_X und CO) über den Reaktionsweg berechnet werden kann. Mit dem Gesamtmodell werden die realen Vorgänge der Verbrennung in der Zykloidfeuerung beschrieben, so dass mit Hilfe von Simulationsrechnungen eine Prozessoptimierung der Zykloidfeuerung möglich wird. Um den entwickelten Modellansatz einer Rührkesselkaskade zu bestätigen, wurden eigene experimentelle Untersuchungen an der mit Braunkohle gefeuerten 0,5 MW_{th}-Technikumanlage zum Verweilzeitverhalten durchgeführt.

Zur experimentellen Bestimmung der kinetischen Verbrennungscharakteristik unter Einbeziehung der wesentlichen Prozessparameter Temperatur, Gaszusammensetzung und Korngröße ist vorgesehen, eine geeignete Untersuchungsmethodik im Labormaßstab auszuwählen. Für sechs definierte Partikelklassen werden Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse die kinetischen Parameter Aktivierungsenergie und Frequenzfaktor als Eingabegrößen für das Teilmodell der Einzelkornverbrennung liefern.

Durch die Kombination von theoretischen und experimentellen Untersuchungen wird einerseits eine Daten- und Wissensbasis zur Erstellung des Brennkammermodells erarbeitet und andererseits das Prozessverständnis für diese Feuerungstechnologie wesentlich vertieft. Als Eingangsgrößen des Modells dienen Prozessparameter, die an der realen Feuerungsanlage als Stell- und Einflussgrößen zum Betrieb der Brennkammer genutzt werden, wie die Brennkammerleistung, Verbrennungsluftzusammensetzung, Luftstufung und das Luftverhältnis. Auf Grund dieses Modellaufbaus können die Einsatzmöglichkeiten erweitert werden. Es können Vorausberechnungen der wesentlichen feuerungstechnischen Prozessparameter und der Schadstoffemissionen erfolgen sowie Konzeptionen für Steuerungs- und Regelungsstrategien entwickelt werden. Des Weiteren ist vorgesehen, den Einsatz als Werkzeug für die Unterstützung der Auslegung (Scale-up) betrieblicher Anlagen, für verfahrenstechnische und konstruktive Änderungen und zur Betriebsoptimierung (Trendrechnungen) zu prüfen.

Durch die Einbeziehung der kinetischen Verbrennungscharakteristik der Einsatzbrennstoffe unter den vorliegenden Prozessbedingungen kann das Brennkammermodell ebenso für weitere Forschungsvorhaben verwendet werden. Beispielsweise wird die Zykloidfeuerung derzeit für Prozessuntersuchungen der Oxyfueltechnologie genutzt [20, 21]. Es besteht hierbei die Möglichkeit, die Planung, Auswertung und Bewertung der theoretischen und experimentellen Untersuchungen zu unterstützen. Dies setzt die Bestimmung der Brennstoffkinetik unter Berücksichtigung der wesentlichen Prozessparameter, wie z. B. die O_2 / CO_2-Atmosphäre, voraus.

1.4 Herangehensweise und Lösungsstrategie

In einem ersten Arbeitsschritt wird eine Literaturrecherche durchgeführt, die sich auf die inhaltlichen Schwerpunkte der Modellierung und die erforderlichen experimentellen Untersuchungen bezieht. Ziel ist es, den Kenntnisstand zum Abbrand von Kohlepartikeln, zu den Reaktionsabläufen der Bildung und Minderung der relevanten Schadstoffemissionen (SO_2, NO_X und CO) und zur Ermittlung reaktionskinetischer Parameter darzulegen. Für die Basis des Modellansatzes wurde eine Rührkesselkaskade für das Strömungsverhalten ausgewählt, wodurch die theoretischen Grundlagen von Verweilzeitmodellen, Verweilzeituntersuchungen und deren Auswertemethoden ebenfalls in die Literaturrecherche einzubeziehen sind. Für die mathematische Beschreibung des Kohleabbrands und der Bildung und Minderung der Schadstoffemissionen müssen wissenschaftlich-technisch basierte Modellansätze recherchiert und ausgewählt werden. Abschließend werden für die Verbrennungsführung in Drallströmungen der Stand der Technik und die Potentiale der Schadstoffminderung recherchiert und dargestellt.

Die experimentellen Untersuchungen des zweiten komplexen Arbeitsschrittes sind auf das Verweilzeitverhalten der Zykloidfeuerung, die Bestimmung reaktionskinetischer Parameter, das Verbrennungsverhalten und die Schadstoffemissionen der 0,5 MW_{th}-Zykloidfeuerung ausgerichtet.
Für die experimentelle Ermittlung der reaktionskinetischen Brennstoffcharakteristik ist die Auswahl einer geeigneten Untersuchungsmethodik erforderlich. Es sollen die kinetischen Parameter des Einsatzbrennstoffs unter dem Einfluss der relevanten Prozessparameter im Anschluss experimentell bestimmt und mit den kinetischen Daten der Literatur verglichen werden. Diese Anforderung leitet sich daraus ab, dass eine Übertragung der in der Literatur angegebenen kinetischen Daten nicht in jedem Fall möglich ist. Die Literaturwerte unterliegen einer deutlichen Schwankungsbreite. Es müssen zudem die experimentellen Randbedingungen zur Bewertung der Daten bekannt sein. Darüber hinaus besitzt die Brennstoffzusammensetzung einen wesentlichen Einfluss auf den kinetischen Ablauf der Verbrennungsreaktion, die wiederum den Reaktionsablauf der Bildung und Minderung der Schadstoffemissionen entscheidend beeinflusst.
Zur Bestimmung der Verweilzeitcharakteristik der Brennkammer ist ebenfalls die Auswahl und Konzeption einer geeigneten Untersuchungsmethodik notwendig. Die Brennkammer wird als Reaktor betrachtet, der sich aus einer Reihenschaltung idealisierter Rührkesselreaktoren zusammensetzt. Demzufolge müssen im stationären Betriebszustand Tracermessungen durchgeführt werden, die einen Rückschluss auf das Verweilzeitverhalten der Brennkammer ermöglichen und gleichzeitig den ablaufenden Verbrennungsprozess nicht beeinträchtigen.
Durch die experimentellen Untersuchungen an der Zykloidfeuerung werden das Verbrennungsverhalten und die Austrittskonzentrationen der relevanten Gaskomponenten in Abhängigkeit von der Brennstoffwärmeleistung und der Betriebsweise (Frischluftbetrieb und Rauchgasbetrieb) ermittelt. Des Weiteren werden unter stationären Prozessbedingungen relevanter Betriebszustände die vertikalen und radialen Konzentrationen der Schadstoffkomponenten gemessen. Die Betriebszustände werden durch die Brennstoffwärmeleistung, die Verbrennungsluftzusammensetzung, Brennkammertemperatur, den Luftüberschuss und die Verbrennungsluftstufung definiert.

Nach der Modellentwicklung und programmtechnischen Umsetzung liefern Simulationsrechnungen Ergebnisse, die mit den experimentellen Daten der 0,5 MW_{th}-Zykloidfeuerung verglichen werden. Dadurch erfolgt eine Überprüfung der Einsatzfähigkeit des Brennkammermodells und gleichzeitig die Analyse des ablaufenden Verbrennungsprozesses.

Zum Abschluss der Arbeit sollen mit dem Brennkammermodell Parameterstudien angefertigt werden, die das Optimierungspotential zur feuerungsseitigen Reduzierung der Schadstoffemissionen an der bestehenden Technikumanlage aufzeigen. Im Rahmen dieser Berechnungen werden konkrete Optimierungsvorschläge für die Betriebsparameter der Zykloidfeuerung ausgearbeitet.