



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/149687 A2

PCT

(51) **Internationale Patentklassifikation:**
F23D 1/02 (2006.01)

(21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2010/058878

(22) **Internationales Anmeldedatum:**
23. Juni 2010 (23.06.2010)

(25) **Einreichungssprache:** Deutsch

(26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch

(30) **Angaben zur Priorität:**
10 2009 030 322.7 24. Juni 2009 (24.06.2009) DE

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** **BEHMANN, Matthias** [DE/DE]; Gebhardstr. 23, 76137 Karlsruhe (DE). **SPÄTH, Till** [DE/DE]; Luisenstraße 111, 76137 Karlsruhe (DE). **WENDELBERGER, Klaus** [DE/DE]; Brahmsstr. 2, 68789 St. Leon-Rot (DE).

(74) **Gemeinsamer Vertreter:** **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

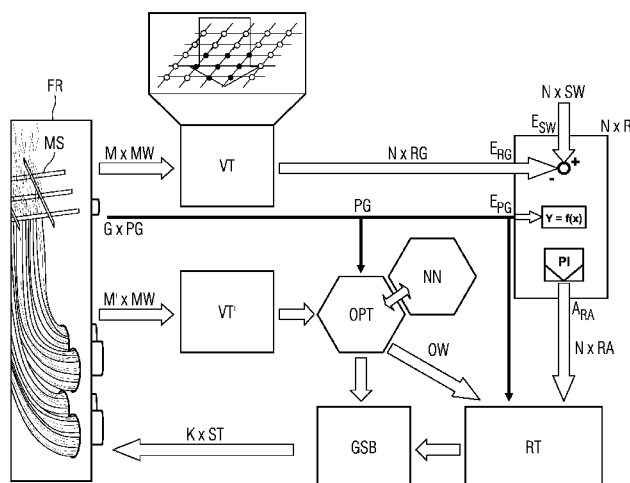
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A COMBUSTION PROCESS, IN PARTICULAR IN A COMBUSTION CHAMBER OF A FOSSIL-FUELED STEAM GENERATOR, AND COMBUSTION SYSTEM

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES VERBRENNUNGSPROZESSES, INSBESONDERE IN EINEM FEUERRAUM EINES FOSSILBEFEUERTEN DAMPFERZEUGERS, UND VERBRENNUNGSSYSTEM



(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a combustion process, in particular in a firing chamber of a fossil-fired steam generator, in which spatially resolved measuring values are determined in the firing chamber. Spatially resolved measuring values are transformed into state variables that can be used for control engineering, and they are subsequently fed as actual values to control circuits. The changes in the controlled variables determined in the control circuits are divided among a plurality of actuators in a backward transformation considering an optimization target. The invention further relates to a corresponding combustion system.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/149687 A2



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Verbrennungsprozesses, insbesondere in einem Feuerraum eines fossilbeheizten Dampferzeugers, bei dem räumlich aufgelöste Messwerte in dem Feuerraum ermittelt werden. Räumlich aufgelöste Messwerte werden in regelungstechnisch verwertbare Zustandsgrößen transformiert und anschließend als Istwerte Regelkreisen zugeführt. Die in den Regelkreisen ermittelten Stellgrößenänderungen werden in einer Rücktransformation unter Berücksichtigung eines Optimierungsziels auf eine Vielzahl von Stellgliedern verteilt. Die Erfindung betrifft ferner ein entsprechendes Verbrennungssystem.

Beschreibung / Description

Verfahren zur Regelung eines Verbrennungsprozesses, insbesondere in einem Feuerraum eines fossilbefeuerten Dampferzeugers, und Verbrennungssystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines Verbrennungsprozesses, insbesondere in einem Feuerraum eines fossilbefeuerten Dampferzeugers, bei dem räumlich aufgelöste Messwerte im Feuerraum ermittelt werden. Die Erfindung betrifft ferner ein entsprechendes Verbrennungssystem.

Beim Verbrennungsprozess eines Dampferzeugers wird der Brennstoff zunächst aufbereitet (z.B. Mahlen der Kohle in der Kohlemühle, Vorwärmen des Heizöls oder ähnliches) und dann kontrolliert mit der Verbrennungsluft dem Verbrennungsraum entsprechend des aktuellen Wärmebedarfs der Anlage zugeführt. Das Einbringen des Brennstoffs in den Feuerraum erfolgt dabei an verschiedenen Stellen des Dampferzeugers an den so genannten Brennern. Auch das Zuführen der Luft erfolgt an verschiedenen Stellen. An den Brennern selbst findet stets auch eine Luftzuführung statt. Zusätzlich kann es Zuführungen von Luft geben an Stellen, an denen kein Brennstoff in den Feuerraum strömt.

Es besteht nun die Aufgabe, den Verbrennungsprozess so zu führen, dass er möglichst effizient, verschleißarm und/oder mit möglichst geringen Emissionen abläuft. Die typischen wesentlichen Einflussparameter für den Verbrennungsprozess eines Dampferzeugers sind:

- Verteilung des Brennstoffes auf die einzelnen Brenner
- Verteilung der Verbrennungslüfte auf die verschiedenen Feuerungsbereiche
- Gesamtmassenstrom der Verbrennungsluft
- Qualität der Brennstoffaufbereitung (z.B. Mahlkraft, Siehterdrehzahl, Siehtertemperatur der Kohlemühlen)

- Rauchgasrückführung
- Position von Schwenkbrennern

Diese Einflussgrößen werden in der Regel zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Dampferzeugers eingestellt. Dabei werden je nach betrieblichen Randbedingungen verschiedene Optimierungsziele in den Vordergrund gestellt, wie maximaler Anlagenwirkungsgrad, minimale Emissionen (NO_x, CO, ...), minimaler Kohlenstoffgehalt in der Asche (Vollständigkeit der Verbrennung). Durch die zeitliche Variabilität der Prozessparameter - insbesondere die schwankenden Eigenschaften des Brennstoffes (Heizwert, Luftbedarf, Zündverhalten usw.) - ist jedoch eine ständige Überwachung und Anpassung des Verbrennungsprozesses notwendig. In technischen Anlagen wird die Verbrennung daher durch messtechnische Einrichtungen überwacht und die zur Verfügung stehenden Einflussgrößen werden durch Regeleingriffe gemäß der aktuell erfassten Verbrennungssituation modifiziert.

Die Variation der Einflussparameter während des Anlagenbetriebs wird jedoch nur in sehr begrenztem Maße durchgeführt. Der Grund hierfür ist, dass durch die hohen Temperaturen, sowie die chemisch und mechanisch verschleißreiche Umgebung, nur wenige bis gar keine Messergebnisse in hinreichender Qualität aus der verbrennungsnahen Umgebung zur Verfügung stehen. Es können daher nur Messdaten, die im Rauchgasweg weit weg von der Verbrennung aufgenommen werden, zur Verbrennungsregelung herangezogen werden. Die Prozessdaten stehen somit nur verzögert und ohne spezifischen Bezug zu den einzelnen Stellgliedern für regelungstechnische Optimierungen zur Verfügung. Durch die großen Abmessungen von technischen Großfeuerungen sind die verfügbaren Punktmessungen außerdem oft nicht repräsentativ und geben kein differenziertes Bild der realen räumlichen Prozesssituation wieder.

Da in vielen Fällen keine Regelung bzw. Optimierung des Verbrennungsprozesses möglich ist, werden die Prozessparameter

(z.B. Luftüberschuss) in hinreichendem Abstand zu den technischen Prozessgrenzen eingestellt. Dies verursacht Verluste durch einen Betrieb mit reduzierter Prozesseffizienz, höherem Verschleiß und/oder höheren Emissionen.

5

Eine ggf. vorhandene Regelung und Optimierung des Verbrennungsprozesses wird nach dem momentanen Stand der Technik mit unterschiedlichen Ansätzen durchgeführt:

10 - Regelung des Gesamtluftmassenstromes auf Basis einer Messung des Sauerstoffgehaltes im Rauchgasstrom.

- Regelung des Verhältnisses zwischen Verbrennungs- und Oberluft auf Basis einer NO_x- und ggf. CO-Messung im Rauchgasstrom.
15

- Bei Kohlekesseln wird der zugeführte Brennstoffmassenstrom als Drehzahl des Zuteilerbandes, mit dem die Kohle in die Kohlemühle gefördert wird, gemessen. Die genaue Aufteilung
20 des Kohlestroms auf die durch diese Mühle versorgten Brenner wird dabei oft nicht erfasst. Es wird daher angenommen, dass jeder Brenner einen festen Anteil am Brennstoffmassenstrom trägt und die Verbrennungsluft entsprechend einstellt. Es existieren jedoch verschiedene Messsysteme, mit deren Hilfe
25 die Kohleströme der einzelnen Brenner erfasst werden können. Eine genauere Luftregelung, bei der der Luftmassenstrom pro Brenner an den entsprechenden Kohlemassenstrom angepasst wird, wird somit ermöglicht.

30 - Bei Kesseln, die mit einer Windbox ausgerüstet sind, ist zunächst auch der Luftmassenstrom pro Luftzuführung unbekannt. Um eine Luftregelung pro Luftzuführung dennoch durchführen zu können, werden die Druckdifferenzen über die einzelnen Luftklappen messtechnisch erfasst und die Luftmassenströme aus diesen Messdaten errechnet. Somit ist wiederum
35 eine genauere, auf den Brennstoff abgestimmte Regelung der Luftmassenströme möglich.

- Neuronale Netze werden dazu verwendet, den Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Einflussgrößen und den Prozessmessdaten zu lernen. Auf Basis des so entstehenden Neuronalen Modells des Dampferzeugers wird dann eine Optimierung des Verbrennungsprozesses durchgeführt.

- In der Patentanmeldung EP 1 850 069 B1 ist ein "Verfahren und Regelkreis zur Regelung eines Verbrennungsprozesses" definiert, bei dem eine bildliche Erfassung des Verbrennungsprozesses an den Brennern dazu verwendet wird, Neuronale Netze zu trainieren, mit deren Hilfe dann eine Optimierung der Verbrennung durchgeführt wird.

- Um der großen räumlichen Ausdehnungen der Großfeuerungen zu begegnen, werden teilweise wichtige Prozessgrößen, wie die Sauerstoffkonzentration im Rauchgas, durch Gittermessungen am Kesselaustritt erfasst. In begrenztem Maße lassen sich somit Rückschlüsse auf die räumliche Verteilung der Prozessgrößen im Verbrennungsprozess ziehen.

Eine noch weitergehende Optimierung der Verbrennung wird möglich, wenn man ein räumlich auflösendes Messsystem einsetzt, mit dessen Hilfe Messdaten aus der unmittelbaren Nähe der Verbrennung zur Verfügung gestellt werden können.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Regelung eines Verbrennungsprozesses anzugeben, bei dem räumlich aufgelöste Messwerte im Feuerraum verwendet werden. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein entsprechendes Verbrennungssystem anzugeben.

Diese Aufgaben werden durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind jeweils in den abhängigen Patentansprüchen wiedergegeben.

Die wesentlichen Merkmale der Erfindung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Räumliche Messinformationen werden in regelungstechnisch verwertbare Zustandsgrößen transformiert.

- Zu diesen Zustandsgrößen werden anschließend Sollwerte definiert, die das gewünschte Betriebsverhalten beschreiben.

5 - Diese Zustandsgrößen werden dann als Istwerte für insbesondere konventionelle Regelkreise verwendet und dort mit den vorgegebenen Sollwerten verglichen.

- Die so gebildeten Regeldifferenzen werden Reglern zugeführt, die dann notwendige Stellgrößenänderungen ermitteln.

10 - Die Reglerausgänge werden auf die vorhandenen Stellglieder verteilt, wobei eine Rücktransformation der Reglerausgänge auf die vorhandenen Stellglieder stattfindet, da das Ergebnis der Reglerausgänge an die Anlage angepasst werden muss.

15 Die Erfindung nutzt somit eine verbesserte Erfassung des aktuellen Zustands von Feuerungsprozessen durch den Einsatz mindestens einer Messtechnik mit räumlich auflösendem Erfassungsbereich zur quantitativen Bestimmung der Verbrennungsprodukte nach der Verbrennung im Innern der technischen
20 Feuerungsanlage für eine differenziertere und schnellere Prozessregelung. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung liegt darin, dass die komplexen Messwertverteilungen der räumlich auflösenden Messtechnik durch die Transformation auf einfache Zustands- oder Regelgrößen anhand konventioneller Regler verarbeitet werden können. Ferner wird durch die Rücktransformation
25 erreicht, dass die Ausgangssignale der herkömmlichen Regler gemäß einem vorgegebenen Optimierungsziel auf die vorhandenen Stellgrößen verteilt werden. Es wird somit ein optimales Zusammenspiel zwischen den neu definierten Regel-
30 konzepten und der installierten komplexen Messtechnik erreicht. Insbesondere wird aber durch die derart verbesserten Regelstrukturen ein möglichst effizienter, verschleißarmer und mit möglichst geringen Emissionen ablaufender Verbrennungsprozess realisiert.

35

In einer ersten Ausführungsvariante werden die Zustandsgrößen anhand statistischer Informationen der räumlich aufgelösten Messwerte ermittelt. Dies hat den Vorteil, dass hier die

enorme Vielfalt der Informationen über die vorhandenen beispielsweise Temperatur- oder Konzentrationsverteilungen verdichtet werden können. Es können Wichtungen eingeführt werden und andere Methoden der Bildverarbeitung zur Anwendung
5 kommen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass auf diese Art und Weise Prozessgrößen entstehen, mit denen der Verbrennungsprozess beschrieben und geregelt werden kann.

Weitere Ausführungsvarianten betreffen die Sollwertermittlung. Der Vorteil bei der Vorgabe der Sollwerte liegt darin,
10 dass ein Optimierungsziel konkret und allgemeinverständlich vorgegeben werden kann. Dadurch wird das gewünschte optimale Anlagenverhalten eindeutig und nachvollziehbar beschrieben. Der Anlagenbetreiber hat dann jederzeit die Möglichkeit durch
15 Variation der Sollwerte den optimalen Arbeitspunkt neu zu definieren, z.B. ein höheres Gewicht auf minimale Emissionen zu legen auf Kosten eines etwas schlechteren Wirkungsgrades.

Die Verteilung der Reglerausgänge auf die Stellglieder wird
20 in einer Ausführungsvariante mit Hilfe eines Neuronalen Netzes optimiert. Die Stelleingriffe können mit Hilfe des Neuronalen Netzes ferner fein justiert werden. Dadurch wird eine besonders intelligente und exakte Regelung erreicht, die robust gegen die Variation äußerer Einflüsse, z.B. veränderlicher Brennstoffqualität ist.
25

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Dabei zeigt die
30

Figur ein Schema zur Verdeutlichung der erfindungsgemäßen Verbrennungsregelung.

Der Feuerraum FR eines Kraftwerks oder einer anderen technischen Anlage, in der ein Verbrennungsprozess stattfindet, ist
35 mit einem räumlich auflösenden Messsystem (in der Figur mit MS bezeichnet) ausgerüstet. Dabei kann es sich um beliebige Messsysteme handeln, mit dessen Hilfe Messdaten aus der un-

mittelbaren Nähe der Verbrennung zur Verfügung gestellt werden. Beispiele für solche Messsysteme sind:

- 5 - Feuerraumkameras, mit deren Hilfe der Verbrennungsvorgang im Feuerraum erfasst werden kann. Dabei werden durch eine Spektralanalyse des von den Flammen emittierten Lichts zusätzliche Informationen über die Verbrennung gewonnen.
- 10 - Anordnung aus Lasern und entsprechenden Detektoren. Hierbei werden Laserstrahlen durch den Feuerraum auf Photodetektoren geleitet. Die Spektralanalyse, der aus dem Feuerraum wieder austretenden Laserstrahlen liefert aufgrund der Absorption bestimmter Wellenlängen eine Information über die Verbrennung selbst. Werden die Laserstrahlen gitterförmig auf mehreren
15 Wegen durch den Feuerraum geschickt, kann die Messinformation räumlich aufgelöst werden.

Entscheidend bei der Auswahl der Messtechnik ist, dass sie zur Bestimmung von wesentlichen Eigenschaften der Verbrennung mit räumlicher Auflösung geeignet ist. Messungen werden dabei
20 beispielsweise auf einem Querschnitt des Feuerraums nahe des Verbrennungsvorgangs durchgeführt. Die ermittelten Messwerte charakterisieren die Verbrennung anhand von Eigenschaften wie beispielsweise lokale Konzentrationen (CO, O₂, CO₂, H₂O,...)
25 und Temperatur.

In allen Fällen erhält man eine Vielzahl unterschiedlichster Messwerte in Abhängigkeit von räumlichen Koordinaten. Am Eingang des erfindungsgemäßen Regelungssystems liegen somit
30 nicht einzelne Messwerte, sondern ganze Messwertverteilungen ähnlich einem zwei- oder dreidimensionalen Muster, an.

Im Rahmen einer Variablentransformation VT werden diese in der Figur durch M Messwerte MW gekennzeichneten Daten in
35 einem ersten Schritt in regelungstechnisch verwertbare Zustandsgrößen umgewandelt. Die räumliche Information über den Brennraum wird hierbei auf einzelne Kennzahlen abgebildet und somit verdichtet.

Für die Ableitung der verschiedenen Zustandsgrößen aus der räumlichen Messinformation werden typischerweise folgende Punkte ausgewertet:

- 5 a) Gewichtete Mittelwerte mit Betonung bzw. Unterdrückung von Teilen des messtechnisch erfassten Raumes,
- b) der Mittelwert der Messgröße über den messtechnisch erfassten Raum.
- c) Räumliche Lage des Schwerpunkts der Messwerte,
- 10 d) Statistische Kennzahlen für räumliche Verteilungsmuster.

Für die regelungstechnisch verwertbaren Zustandsgrößen kann ein Optimierungsziel als Sollwert definiert werden. Außerdem charakterisieren diese Zustandsgrößen in Verbindung mit her-
15 kömmlichen, leittechnisch verfügbaren Mess- und Prozessinformationen den aktuellen Betriebszustand des Verbrennungsprozesses.

Durch die beschriebene Variablentransformation VT wird demnach eine beliebige Anzahl von M Messwerten MW in eine
20 wiederum beliebige Anzahl von N Regelgrößen RG umgewandelt, wobei M und N natürliche Zahlen darstellen und N üblicherweise kleiner als M ist. Bei den Regelgrößen RG handelt es sich um Zustandsgrößen, die anschließend als Istwerte für
25 einzelne Regler verwendet werden.

Die N Regelgrößen werden N Reglern R zugeführt. Dies ist in der Figur anhand des Regelbausteins, der einen Subtrahierer und weitere regelungstechnische Bausteine wie beispielsweise
30 einen PI-Regler enthält, dargestellt. Es handelt sich hierbei um einen herkömmlichen Regelbaustein, der ggfs. in der zu regelnden technischen Anlage bereits vorhanden ist. Es kann sich auch um einen Mehrgrößenregelbaustein handeln, je nach Ausführungsvariante. Der hier betrachtete Regelbaustein weist
35 ferner einen Eingang ESW für den Sollwert der abgeleiteten Zustandsgröße auf. Dieser wird entweder manuell vorgegeben, ist konstant oder lastabhängig vorgegeben und soll das gewünschte Betriebsverhalten charakterisieren. Weiterhin exis-

tiert neben dem Eingang ERG für die Regelgröße RG ein weiterer Eingang EPG für weitere beliebige Prozessmessgrößen PG, die außerhalb des räumlich auflösenden Messsystems erfasst werden. Innerhalb des Reglers wird die Regeldifferenz zwischen dem Soll- und Istwert gebildet, die Regeldifferenz
5 durch die weiteren Prozessmessgrößen variiert, z.B. zur Anpassung der Reglerverstärkung in Abhängigkeit der aktuellen Lastsituation, und dem vorhandenen Regler (hier PI-Regler) zugeführt, der die notwendigen Stellgrößenänderungen ermittelt.
10 telt. Dieses Signal liegt am Ausgang ARA des Reglers an.

Sind nun N Regler vorhanden, so existieren an dieser Stelle N Werte für die Regelausgänge RA (vgl. Figur). Es gilt nun, in einer Rücktransformation RT diese als Regelausgänge bezeichneten Signale RA der Anzahl N derart umzuwandeln, dass eine
15 bestimmte Anzahl von K Stellgliedern jeweils das Stellsignal erhält, das zur Erreichung des Regelziels notwendig ist. Mit anderen Worten müssen aus den Regelausgängen RA der N Regler R nun Regeleingriffe für verschiedene Stellglieder abgeleitet
20 werden, mit denen der Verbrennungsprozess günstig beeinflusst werden kann. Hierbei kann ein Regeleingriff auf mehrere Stellglieder in differenzierter Stärke erfolgen.

Stellglieder sind beispielsweise die Öffnungen von im Verbrennungsraum angeordneten Luftklappen.
25 In der Berechnungseinheit RT findet die Aufteilung von N Regelausgängen auf K Stellglieder statt (N, K jeweils natürliche Zahlen). Hierbei werden auch Prozessmessgrößen PG berücksichtigt, die außerhalb des räumlich auflösenden Messsystems erfasst werden. Bei der Rücktransformation der
30 Reglerausgänge auf die vorhandenen Stellgrößen ist es von besonderem Vorteil, dass die Aufteilung der Reglerausgänge auf die Stellglieder auf optimale Art und Weise durchgeführt wird, so dass z.B. eine Minimierung der Emissionswerte
35 stattfinden kann und aber gleichzeitig ein möglichst hoher Wirkungsgrad der Anlage erreicht wird. Dies wird in diesem Ausführungsbeispiel dadurch erreicht, dass der Berechnungseinheit RT auch Optimierungswerte OW aus dem Optimierer OPT

zugeführt werden. Der Optimierer erhält Informationen aus unterschiedlichen Bereichen.

Neben Prozessmessgrößen, die außerhalb des räumlich auflösenden Messsystems erfasst werden, kann der Optimierer ebenfalls Messergebnisse der im Verbrennungsraum angeordneten räumlich auflösenden Messeinrichtungen erhalten. Im Rahmen der Variablentransformation VT' wird eine Anzahl M' der räumlich aufgelösten Messwerte in eine beliebige Anzahl N' von Zustandsgrößen umgewandelt, welche dem Optimierer OPT zugeführt werden. Es kann sich dabei um die gleichen Messwerte handeln wie weiter oben beschrieben, alternativ können auch andere Messwerte verwendet werden. Optional kann der Optimierer OPT mit einem neuronalen Netz NN verbunden sein.

In diesem Fall wird eine hybride Regelstruktur aus herkömmlichen Regelbausteinen sowie neuronalen Netzen erreicht. Das Neuronale Netz wird mit Prozessmessgrößen trainiert und dient als spezifisches Modell zur Vorhersage des Verhaltens der Feuerung. Ein iterativer Optimierungsalgorithmus bestimmt anhand der vom Neuronalen Netz vorhergesagten Feuerungsreaktion die optimale Verteilung der Regeleingriffe auf die Stellglieder sowie Korrekturwerte für die Stellglieder. Dadurch wird der Prozess entsprechend einer vorgegebenen Zielfunktion optimiert.

Bei den Optimierungswerten OW kann es sich beispielsweise auch um Trimmfaktoren handeln. Mittels der Trimmfaktoren werden die Ergebnisse der Rücktransformation RT unter Berücksichtigung des Optimierungsprozesses entsprechend des gewünschten Regelungsziels gewichtet, verschoben und angepasst.

Anhand der Ausgabewerte der Rücktransformation und gegebenenfalls unter weiterer Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Optimierungsprozess findet abschließend eine Gesamtstellgrößenberechnung GSB für die vorhandenen K Stellglieder statt. Die unterschiedlichen Regeleingriffe auf verschiedene Stellglieder von verschiedenen identifizierten Sollwert-

abweichungen überlagern sich additiv zu einem Gesamtregel-
eingriff für jedes Stellglied. Am Ende des Algorithmus werden
K Stellgrößenänderungen ST an die einzelnen Stellglieder wie
Luftklappen oder Brennstoffzufuhreinrichtungen weitergelei-

5 tet.

Während des gesamten Regelungsverfahrens werden Geschwindig-
keit und Größe der einzelnen Regeleingriffe an die gegebenen
technischen Randbedingungen und Grenzen der technischen An-
lage angepasst. Vom Prozess vorgegebene Grenzen werden nicht
10 überschritten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Verbrennungsprozesses, insbesondere in einem Feuerraum eines fossilbefeueren Dampf-
5 erzeugers, bei dem räumlich aufgelöste Messwerte (MW) in dem Feuerraum (FR) ermittelt werden, dadurch gekennzeichnet,
- dass die räumlich aufgelösten Messwerte (MW) in regelungstechnisch verwertbare Zustandsgrößen (RG) transformiert werden,
10 den, die anschließend als Istwerte Regelkreisen (R) zugeführt werden,
- dass die in den Regelkreisen (R) ermittelten Stellgrößenänderungen (RA) in einer Rücktransformation (RT) unter Berücksichtigung eines Optimierungsziels auf Stellglieder
15 verteilt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Bestimmung der verschiedenen Zustandsgrößen aus den räumlichen Messwerten (MW)
20 Referenzgrößen ausgewertet werden aus der Gruppe folgender Referenzgrößen
a) Gewichtete Mittelwerte mit Betonung bzw. Unterdrückung von Teilen des messtechnisch erfassten Raumes, und/oder
b) der Mittelwert der Messgröße über den messtechnisch
25 erfassten Raum, und/oder
c) Räumliche Lage des Schwerpunkts der Messwerte, und/oder
d) Statistische Kennzahlen für räumliche Verteilungsmuster.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für die Zustandsgrößen ein Optimierungsziel als Sollwert (SW) definierbar ist, wobei die
30 Zustandsgrößen in Verbindung mit herkömmlich verfügbaren Mess- und Prozessinformationen den aktuellen Betriebszustand des Verbrennungsprozesses charakterisieren.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Sollwerte (SW) für die abgeleiteten Zustandsgrößen zur Vorgabe des gewünschten Betriebsverhaltens definiert werden.

5

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Regeleingriffe für verschiedene Stellgrößen abgeleitet werden, mit denen der Verbrennungsprozess gezielt beeinflusst wird, wobei insbesondere ein
10 Regeleingriff auf mehrere Stellglieder in differenzierter Stärke einwirkt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Sollwertabweichungen zur Identifikation von Abweichungen für regelungstechnische Korrektureingriffe in den Prozess berechnet werden.
15

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass unterschiedliche Regeleingriffe
20 auf verschiedene Stellglieder von verschiedenen identifizierten Sollwertabweichungen additiv zu einem Gesamtregel-eingriff für jedes Stellglied überlagert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
25 bei dem zur Erreichung des Optimierungsziels ein Neuronales Netz mit Prozessmessgrößen trainiert wird und als spezifisches Modell zur Vorhersage des Verhaltens der Feuerung verwendet wird.

30 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem mittels eines iterativen Optimierungsalgorithmus anhand der vom Neuronalen Netz vorhergesagten Feuerungsreaktion eine günstige Verteilung der Regeleingriffe auf die Stellglieder sowie Korrekturwerte für die Stellglieder be-
35 stimmt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung auf einem Querschnitt des Feuerraums nahe der Verbrennungszone durchgeführt wird.

5

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als charakteristische Eigenschaften der Verbrennung die lokalen Konzentrationen von CO, O₂, CO₂, H₂O und der Temperatur oder Untergruppen dieser oder vergleichbarer Messgrößen bestimmt werden.

10

12. Verbrennungssystem mit einem Feuerraum, insbesondere für einen fossilbefeuelten Dampferzeuger, umfassend ein Regelungssystem mit einer Verbrennungsdiagnoseeinheit, wobei die Verbrennungsdiagnoseeinheit mit einem räumlich auflösenden Messsystem im Feuerraum ausgerüstet ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Regelungssystem zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 ausgebildet ist.

15

20

13. Fossilbefeuelte Kraftwerksanlage mit einem Verbrennungssystem nach Anspruch 12.

