

Einrichtung und Verfahren zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage

- Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, die Mittel zur pneumatischen Förderung der gemahlene Kohle zu den Brennern der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage sowie Mittel zur Zuführung von Verbrennungsluft zu den Brennern bzw. in den Feuerungsraum der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage aufweist, wobei die Kohlekraftwerksfeuerungsanlage in Strömungsrichtung der Luft mindestens nachfolgende Einrichtungen aufweist:
- 5 Einen Frischlüfter zum Ansaugen von Frischluft aus der Umgebung, einen Mühlenlüfter zur Förderung eines Teiles der angesaugten Frischluft als Tragluft zur Beladung mit gemahlener Kohle, einen Luftvorwärmer zur Vorwärmung der angesaugten Frischluft und eines Teiles der Tragluft unter Nutzung der Rauchgaswärme der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, eine Luftmengensteuereinrichtung zur Steuerung der in den Feuerungsraum eingeleiteten Verbrennungsluftmenge, eine Luftmengensteuereinrichtung zur Steuerung der für die pneumatische Förderung der gemahlene Kohle zu verwendenden Tragluft sowie Messeinrichtungen zur Messung der in den Kohlekraftwerksfeuerungsraum eingeleiteten Verbrennungsluftmenge und eine
- 10 Einrichtung zur dosierten Zuführung einer vorgewählten Menge an gemahlener Kohle zu den Brennern.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, die mindestens die vorstehend aufgeführten Merkmale aufweist.

- 25 Der Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in Kohlekraftwerksfeuerungsanlagen kommt zur Erreichung einer im Wesentlichen vollständigen Verbrennung des zugeführten Brennstoffes bzw. zur Einhaltung einer vorgegebenen Stöchiometrie des Verbrennungsprozesses und damit zur Erreichung eines hohen energetischen Wirkungsgrades sowie zur Einhaltung niedriger Emissionswerte eine besondere Bedeutung zu. Feuerungsanlagen in Kohlekraftwerken weisen daher neben geeigneten Einrichtungen zur dosierten Zuführung einer entsprechend der abgeforderten Last vorgewählten Brennstoffmenge zu den Brennern Steuereinrichtungen auf, mit denen die den Brennern bzw. dem Feuerungsraum zugeführte Luftmenge in Abhängigkeit von der zugeführten Brennstoffmenge
- 30 gesteuert wird. Dazu sind Messeinrichtungen erforderlich, mittels derer die in den Feuerungsraum eingeleitete Luftmenge, und zwar die Verbrennungsluftmenge und die Tragluftmenge, möglichst exakt messtechnisch erfasst werden kann. Beides ist
- 35

notwendig, um lastabhängig den Verbrennungsprozess optimal zu regeln, wobei die Brennstoffmenge und damit auch die Tragluftmenge entsprechend der abgeforderten Last vorgewählt wird und die Verbrennungsluftmenge zur Erzielung einer vorbestimmten Stöchiometrie der Verbrennung gesteuert wird.

- 5 In der Praxis sind sowohl Kohlekraftwerksfeuerungsanlagen anzutreffen, bei denen jedem einzelnen Brenner oder einer Gruppe von Brennern eine vorgewählte Menge an gemahlener Kohle zugeführt wird und entsprechend dieser vorgewählten Menge an gemahlener Kohle die diesem Brenner oder dieser Gruppe von Brennern zugeführte Luftmenge zur Erzielung einer vorbestimmten Stöchiometrie der Verbrennung
10 gesteuert wird, als auch Feuerungsanlagen, bei denen lediglich die Gesamtmenge der allen Brennern eines Kessels zugeführten Menge an gemahlener Kohle vorgewählt wird und entsprechend auch nur die insgesamt allen Brennern dieses Kessels bzw. dem Kessel insgesamt zugeführte Luftmenge gesteuert wird.

- In jedem Fall ist es notwendig, die dem Kessel zugeführte Luftmenge entweder
15 bezogen auf einen einzelnen Brenner oder auf eine Gruppe von Brennern oder auf alle Brenner eines Kessels bzw. den Kessel insgesamt messtechnisch zu erfassen, um die entsprechende/n Steuerung/en der Verbrennungsluftmenge zu realisieren und so den Verbrennungsprozess zu regeln.

- Weiterhin wird bei Kraftwerksfeuerungsanlagen mit pneumatischer Förderung der gemahlene Kohle zu den Brennern die Tragluftmenge für den pneumatischen
20 Kohletransport gesteuert. Auch diese Steuerung erfordert eine messtechnische Erfassung der Tragluftmenge.

- Überwiegend erfolgt in Kohlekraftwerksfeuerungsanlagen die Luftmengenmessung unter Anwendung von Druckmesssonden mittels Differenzdruckmessung. Dazu
25 werden jeweils in das die Verbrennungsluft führende Rohr- bzw. Kanalsystem sowie in das die Tragluft führende Rohr- bzw. Kanalsystem Druckmesssonden installiert. Anhand der gemessenen Drücke kann die Strömungsgeschwindigkeit in den Kanälen bestimmt und unter Einbeziehung der Kanalgeometrie die jeweilig Luftmenge ermittelt werden. Bevorzugt befinden sich die Druckmesssonden nicht direkt im
30 Kanalquerschnitt, sondern sind über sogenannte Impulsleitungen mit den die Luft führenden Kanälen verbunden.

- Zur Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades einer Kraftwerksfeuerungsanlage ist es üblich, die Frischluft vorzuwärmen. Häufig werden hierzu Regenerativ-Luftvorwärmer eingesetzt. Bei Regenerativ-Luftvorwärmern wird eine Speichermasse,
35 se, meist glatte oder gewellte Bleche, abwechselnd zunächst vom heißen Rauchgas erwärmt und nachfolgend von der Frischluft abgekühlt, so dass eine Wärmeübertragung vom Rauchgas auf die Frischluft erfolgt. Verbunden hiermit ist der Eintrag von Flugaschepartikeln in die Frischluft. Beim Betrieb einer Kraftwerksfeuerungsanlage

führt dies regelmäßig zur Verschmutzung der Druckmesssonden bzw. der Impulsleitungen. Kontinuierliche Reinigungs- und Wartungsarbeiten sind die Folge. Problematisch ist, dass der Grad der Verschmutzung der Druckmesssonden nicht eindeutig anhand der gemessenen Differenzdrücke bestimmt werden kann und die

- 5 Messergebnisse daher bei fortschreitendem Betrieb mit einem erheblichen Fehlerisiko behaftet sind. Ein nur mit hohem Aufwand feststellbares Driften der Luftmengenmessung ist die Folge. Letztlich führt dieses zu einer ungenauen Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses, verbunden mit einem verschlechterten Wirkungsgrad und erhöhten Schadstoffemissionen.
- 10 Aus dem Stand der Technik sind Messeinrichtungen bekannt, die triboelektrische Effekte an in Strömungsrichtung des partikelbeladenen strömenden Mediums hintereinander angeordneten Sensoren auswerten. Derartige Messeinrichtungen ermöglichen die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit eines partikelbeladenen strömenden Mediums, aber auch die Bestimmung der Beladung des strömenden Mediums. So wird beispielsweise in der DE 696 34 249 T2 ein Messsystem
- 15 beschrieben, mit dem die Geschwindigkeit eines aus Gas und Pulver bestehenden Volumenstromes, das Verhältnis zwischen Gas und Pulver im Volumenstrom und der Turbulenzgrad in der strömenden Pulversuspension durch Auswertung triboelektrischer Effekte an zwei im Volumenstrom angeordneten Fühlelementen bestimmt
- 20 werden kann. Mit einem derartigen Messsystem ist es möglich, die Menge eines pneumatisch transportierten pulverförmigen Feststoffes in einem pulverbeladenen Gasstrom zu bestimmen. Das Messsystem kann beispielsweise zur Steuerung der einem Prozess zugeführten pulverförmigen Feststoffmenge verwendet werden. Aus der US 4,512,200 A ist ein Verfahren zur Bestimmung der in einer Rohrleitung zu
- 25 einem Brenner pneumatisch transportierten Kohlenstaubmenge bekannt, bei dem ebenfalls triboelektrische Effekte der Kohlenstaubpartikel an in Strömungsrichtung hintereinander angeordneten Sensoren zur Bestimmung der pneumatisch transportierten Kohlenstaubmenge ausgewertet werden.
- Die vorstehend genannten Messsysteme und Verfahren zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit und der Beladungen von partikelbeladenen strömenden
- 30 Medien unter Auswertung triboelektrischer Effekte an in Strömungsrichtung der partikelbeladenen Medien hintereinander angeordneten Sensoren sind grundsätzlich dazu geeignet, die Menge eines im strömenden Medium transportierten partikel-förmigen Feststoffes zu bestimmen. Sie werden dazu auch mit hoher Zuverlässigkeit
- 35 und Präzision angewendet. Sie versagen jedoch bei der Bestimmung des Volumenstromes eines in einem Rohrleitungssystem geförderten Gases ohne Partikelbeladung.

Daher wird In der DE 10 2008 030 650 A1 ein Verfahren zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, die zur Vorwärmung der Frischluft einen Regenerativ-Luftvorwärmer aufweist, vorgeschlagen, bei dem die Verbrennungsluftmengenmessung und die Tragluftmengenmessung auf der Grundlage der Auswertung triboelektrischer Effekte an in Strömungsrichtung der Luft hintereinander im Luftstrom angeordneten Sensoren nach der Korrelationsmethode erfolgt, wobei in den Luftstrom vor den Sensoren zwischen 0,1 mg bis 10 mg feinkörnige Partikel je m³ Luft eingetragen werden. Bevorzugt erfolgt der Eintrag feinkörniger Partikel in den Luftstrom nur während der Anfahrphase der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, also nur in der Phase in der keine gemahlene Kohle verbrannt wird und somit über den Regenerativ-Luftvorwärmer keine Flugaschepartikel in die Frischluft eingetragen werden. Der Aufwand zum kontinuierlichen Eintrag von feinkörnigen Partikeln während der gesamten Betriebszeit einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage ist zu erheblich. Die in der DE 10 2008 030 650 A1 vorgeschlagene Lösung ist daher auch nur bei Kohlekraftwerksfeuerungsanlagen mit einem Regenerativ-Luftvorwärmer zur Vorwärmung der Frischluft zweckmäßig.

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Verbrennungsluftmengenmessung und die Tragluftmengenmessung in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage auf der Grundlage der Auswertung triboelektrischer Effekte von im Luftstrom geführten triboelektrisch geladenen Partikeln an in Strömungsrichtung der Luft hintereinander im Luftstrom angeordneten Sensoren nach der Korrelationsmethode dann nicht mehr mit ausreichend hoher Messgenauigkeit anwendbar ist, wenn die Partikelbeladung der Luft und/oder die Strömungsgeschwindigkeit des Luftstromes einen kritischen Wert unterschreitet. Die vorgenannten kritischen Werte liegen etwa bei einer Partikelbeladung von 0,1 mg Flugasche/m³ Luft bzw. einer Strömungsgeschwindigkeit von 10 m/s, wobei beide Werte bezüglich einer hohen zu realisierenden Messgenauigkeit derart voneinander abhängen, dass die Partikelbeladung der Luft kleiner sein kann als die angegebenen 0,1 mg Flugasche/m³ Luft, wenn die Strömungsgeschwindigkeit der Luft erheblich größer als 10 m/s ist bzw. umgekehrt, dass die Strömungsgeschwindigkeit der Luft auch unterhalb von 10 m/s liegen kann, wenn die Partikelbeladung der Luft größer als die genannten 0,1 mg Flugasche/m³ Luft ist.

Ziel der Erfindung sind eine Einrichtung und ein Verfahren zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, mit denen die vorstehend genannten Nachteile beseitigt werden. Insbesondere soll die Verbrennungsluftmengenmessung und die Tragluftmengenmessung in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage auf der Grundlage der

- Auswertung gewonnener Signale durch in Strömungsrichtung der Luft hintereinander im Luftstrom angeordneten Sensoren nach der Korrelationsmethode dahingehend verbessert werden, dass sie auch bei Kohlekraftwerksfeuerungsanlagen bzw. bei einer Betriebsweise einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, bei der keine oder
- 5 nur eine extrem geringe Beladung der Luft mit Partikeln auftritt und/oder bei der die Strömungsgeschwindigkeit der Luft klein ist, anwendbar ist.

Erfindungsgemäß wird dieses Ziel mit einer Einrichtung gemäß dem 1. Patentanspruch sowie einem Verfahren gemäß dem 9. Patentanspruch erreicht. In den auf

10 den 1. Patentanspruch bezogenen Ansprüchen 2 bis 8 sind vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Einrichtung beschrieben, in den auf den 9. Patentanspruch bezogenen Ansprüchen 9 bis 16 vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

- 15 Eine erfindungsgemäße Einrichtung zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, die Mittel zur pneumatischen Förderung der gemahlene Kohle zu den Brennern der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage sowie Mittel zur Zuführung der Verbrennungsluft zu den Brennern bzw. in den Feuerungsraum der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage aufweist, wobei in Strömungsrichtung der Luft mindestens nachfolgende Einrichtungen angeordnet sind,
- ein Frischlüfter zum Ansaugen von Frischluft aus der Umgebung, ein Mühlenlüfter zur Förderung eines Teiles der angesaugten Frischluft als Tragluft zur Kohlemühle, ein Luftvorwärmer zur Vorwärmung der angesaugten Frischluft und eines Teiles der
- 25 Tragluft unter Nutzung der Rauchgaswärme der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, eine Luftmengensteuereinrichtung zu Steuerung der in den Feuerungsraum eingeleiteten Verbrennungsluftmenge, eine Luftmengensteuereinrichtung zur Steuerung der für die pneumatische Förderung der gemahlene Kohle zu verwendenden Tragluftmenge sowie Messeinrichtungen zur Messung der in den Feuerungsraum eingeleiteten Verbrennungsluftmenge und der zur pneumatischen Förderung der gemahlene Kohle zu verwendenden Tragluftmenge und eine Einrichtung zur dosierten Zuführung einer vorgewählten Menge an gemahlener Kohle zu den Brennern und bei
- 30 der die Luftmengenmessung mittels einer durch elektrostatische Induktion an mindestens zwei im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales, in Strömungsrichtung der Luft hintereinander angeordneten Sensoren erzeugte Signale auswertende Korrelationsmesseinrichtung erfolgt, ist dadurch charakterisiert, dass in Strömungsrichtung der Luft vor den Sensoren in einem Abstand l mit $1 \times \text{Lichte}$
- 35 Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales $< l < 10 \times \text{Lichte}$

Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales im Bereich der Sensoren, bevorzugt $3 \times$ Lichte Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales $< l < 5 \times$ Lichte Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales im Bereich der Sensoren, im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales eine Elektrode mit einer Elektrodenkontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ angeordnet ist, wobei der Abstand l der Abstand zwischen der Elektrode und in Strömungsrichtung (s) der Luft dem ersten Sensor der beiden hintereinander angeordneten Sensoren ist, dass die zu dieser Elektrode elektrisch wirkende Gegenelektrode mindestens abschnittsweise in Strömungsrichtung der Luft vor den Sensoren angeordnet ist und dass die Elektrode sowie die Gegenelektrode mit den unterschiedlichen Polen einer Hochspannungsquelle mit einer Spannung U von $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, verbunden sind.

Dabei erfolgt sowohl die Messung der Menge der den Kesseln zugeführten Verbrennungsluft als auch die Messung der Menge der zur pneumatischen Förderung der gemahlene Kohle notwendigen Tragluft mittels Korrelationsmesseinrichtung, die infolge elektrostatischer Induktion an im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales in Strömungsrichtung hintereinander positionierten Sensoren erzeugte Signale auswertet. Dazu sind in dem die Verbrennungsluft führenden Kanalsystem und in dem die Tragluft führenden Kanalsystem entsprechende Sensoren angeordnet, die mit Korrelationsmesseinrichtungen elektrisch in Verbindung stehen.

Bevorzugt kann die in dem die Luft führenden Kanal vor den Sensoren im Abstand l angeordnete, mit einer Hochspannungsquelle elektrisch verbundene Elektrode eine oder mehrere Spitzen oder Schneiden mit einer Kontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ aufweisen oder als Draht mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ ausgebildet sein. Besonders bevorzugt ist besagte Elektrode als ein in den Strömungsquerschnitt ragender Stab ausgebildet, wobei das in den Strömungsquerschnitt ragende Ende der Elektrode etwa bis zur Mitte des Strömungsquerschnittes ragt und mindestens eine Spitze oder Schneide mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ aufweist.

Ist die Kanalwandung des die Luft führenden Kanales elektrisch leitfähig ausgebildet, kann sie bei einer bevorzugten Ausbildung der Erfindung elektrisch als Gegenelektrode zu der im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten Elektrode geschaltet sein.

Bei einer anderen Ausbildung der Erfindung ist die Gegenelektrode als ein elektrisch leitfähiger Stab oder Draht ausgebildet, der den Kanalquerschnitt mindestens zur Hälfte durchspannt und in Strömungsrichtung der Luft nach der Elektrode und vor den Sensoren, d.h. in Strömungsrichtung der Luft zwischen der Elektrode und den Sensoren, angeordnet ist. Selbstverständlich können auch in Strömungsrichtung der Luft zwischen der Elektrode und den Sensoren mehrere Stäbe oder Drähte angeordnet und elektrisch als Gegenelektrode geschaltet sein. Bevorzugt ist jedoch ein den Kanalquerschnitt vollständig durchspannender Stab oder Draht in Strömungsrichtung der Luft zwischen der Elektrode und den Sensoren angeordnet und elektrisch als Gegenelektrode geschaltet.

Die Elektrode ist bevorzugt gegenüber der Kanalwandung des die Luft führenden Kanales isoliert angeordnet. Sie kann eine oder mehrere Spitzen oder Schneiden mit einer Kontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ aufweisen oder als Draht mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ ausgebildet sein. Die Elektrode ist bevorzugt elektrisch als Kathode geschaltet. Die Gegenelektrode ist bevorzugt elektrisch auf Massepotenzial geschaltet. Letzteres ist insbesondere dann zweckmäßig, wenn die Kanalwandung elektrisch leitfähig ausgebildet ist und als Gegenelektrode fungiert.

Die Sensoren können elektrisch isoliert gegenüber der im Kanal geführten Luft ausgebildet sein, um Störungen durch einen direkten Ladungsaustausch zwischen den Sensoren und ionisierten Luftmolekülen zu vermeiden.

Es können in Strömungsrichtung der Luft nach einer im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten, mit einer Hochspannungsquelle mit einer Spannung U von $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, verbundenen besagten Elektrode eine oder mehrere durch elektrostatische Induktion an mindestens zwei im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales, in Strömungsrichtung der Luft hintereinander angeordneten Sensoren erzeugte Signale auswertende Korrelationsmesseinrichtung vorgesehen sein. Mehrere vorgenannte Korrelationsmesseinrichtungen können auch in verschiedenen Zweigen des die Luft führenden Kanalsystems angeordnet sein, wenn die mit einer Hochspannungsquelle mit einer Spannung U von $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, verbundene Elektrode in Strömungsrichtung vor der Verzweigung im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordnet ist. Wichtig ist, dass der entlang der Luftströmung gemessene Abstand l der Sensoren zu besagter Elektrode $< 10 \times$ Lichte Weite

des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales im Bereich der Sensoren ist.

- Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf einer Luftmengenmessung, und zwar der Verbrennungsluftmengenmessung und der Tragluftmengenmessung, anhand der Auswertung elektrischer Signale, die durch elektrostatische Induktion an mindestens zwei im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales, in Strömungsrichtung der Luft hintereinander angeordneten Sensoren erzeugt werden, nach der Korrelationsmessmethode. Es ist dadurch charakterisiert, dass in Strömungsrichtung der Luft vor den Sensoren mindestens ein Teil des Luftstromes der Wirkung einer Spannung U von $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, führenden Elektrode mit einer Elektrodenkontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ ausgesetzt und dadurch ionisiert wird und die Sensoren jedoch nicht der Wirkung des durch die Spannung U angetriebenen, zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode fließenden Ionenstromes ausgesetzt sind.
- Bevorzugt führt die Elektrode eine negative Spannung ist also kathodisch geschaltet.

- Die ionisierten Luftmoleküle, die als Ionenstrom vom elektrischen Feld $\vec{E}$ von der Elektrode zur Gegenelektrode fließen, treten in Wechselwirkung mit anderen Molekülen des Luftstromes, wodurch die Moleküle des Luftstromes elektrisch so beeinflusst werden, dass beim Vorbeiströmen des Luftstromes an den Sensoren von den elektrisch beeinflussten Molekülen des Luftstromes durch elektrostatische Induktion in den Sensoren elektrische Signale erzeugt werden, die mittels einer Korrelationsmesseinrichtung sicher ausgewertet werden können.
- Dabei ist es von besonderer Bedeutung, dass die Sensoren nicht der direkten Wirkung des Ionenstromes zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode ausgesetzt sind. Sie sind in einer solchen Entfernung zur Elektrode positioniert, dass die Wirkung des sich zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode herausbildenden elektrischen Feldes $\vec{E}$ nur noch unerheblich ist, d.h. die elektrischer Feldstärken $< 0,3 \text{ V/m}$ ist.

- Der Luftstrom kann der Wirkung einer konstanten negativen Spannung U an der Elektrode ausgesetzt werden oder auch einer zeitlich veränderlich Spannung U mit Maximalwerten zwischen $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$.
- Besonders zweckmäßig ist die Wirkung einer gepulsten Spannung U mit Maximalwerten zwischen $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, und einer Impulsdauer von ca. 1ms.

Es wurde gefunden, dass im Fall einer veränderlichen Spannung U , insbesondere einer gepulsten Spannung U die Korrelationsmessung nicht nur anhand der Auswertung stochastischer Signaturen der durch elektrostatische Induktion an den Sensoren erzeugten elektrischen Signale durchgeführt werden kann, sondern es kann
5 außerdem die zeitliche Funktion der Veränderung der elektrischen Spannung U und damit die zeitliche Veränderung der Wirkung dieser Spannung U auf die Moleküle des Luftstromes zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit der Luft und damit zur Luftmengenmessung ausgewertet werden.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird der Luftstrom
10 einer periodisch wiederkehrenden Impulsfolge mit einer Anzahl von n Impulsen einer Spannung U mit Maximalwerten zwischen $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, und einer Impulsdauer von ca. 1 ms ausgesetzt, wobei $2 \leq n \leq 10$ ist, und wobei die Impulsfolge von n Impulsen sich periodisch mit einer Periodendauer zwischen $0,2 \text{ s}$ bis $3,0 \text{ s}$, bevorzugt zwischen $1,0 \text{ s}$ bis $1,5 \text{ s}$, wiederholt.

15 Eine besonders zweckmäßige Ausgestaltung des Verfahrens mit einer gepulsten Spannung zwischen der Elektrode und der Gegenelektrode besteht darin, die Auswertung der durch elektrostatische Induktion erzeugten Signale nach der Korrelationsmessmethode zeitversetzt zu den Impulsen der Spannung U , die die Elektrode führt, durchzuführen. Bevorzugt mit einem Zeitversatz zwischen 5 ms bis 150 ms ,
20 besonders bevorzugt mit einem Zeitversatz zwischen 8 ms bis 70 ms . Dadurch wird erreicht, dass von schnellveränderlichen elektromagnetischen Feldern, die von den Spannungsimpulsen herrühren, in den Sensoren generierte Signale - Störsignale - nicht in die Auswertung der vom Luftstrom an den Sensoren durch elektrostatische
25 Induktion erzeugten Signale einfließen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht auch bei vergleichsweise kleinen Strömungsgeschwindigkeiten der Luft zwischen 2 m/s bis 10 m/s , sehr genaue Luftmengenmessungen.

30 Im Fall, dass die Kohlekraftwerksfeuerungsanlage einen Regenerativ-Luftvorwärmer aufweist, muss die Elektrode nur dann eine Spannung U führen, wenn kein Eintrag gemahlener Kohle in die Tragluft erfolgt und somit über den Regenerativ-Luftvorwärmer keine Flugaschepartikel in die Frischluft eingetragen werden oder die Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Bereich der Sensoren vergleichsweise klein ist. In
35 diesem Fall kann die Luftmengenmessung während der Befeuerung der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage mit gemahlener Kohle sowie bei hoher Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Bereich der Sensoren nach der Korrelationsmessmethode durch

Auswertung der Signaturen der Signale, die durch triboelektrische Effekte an den in den Luftstrom eingetragenen Flugaschepartikeln erzeugten elektrischen Ladungsträger bewirkt werden, erfolgen. Nur wenn keine oder nur sehr wenige Flugaschepartikel im Luftstrom vorhanden sind und/oder die Strömungsgeschwindigkeit der Luft kleiner als 10 m/s ist, ist es erforderlich, dass besagte Elektrode eine Spannung U wie beschrieben, führt.

Es kann im vorstehend beschriebenen Fall zweckmäßig sein, wenn besagte Elektrode nur von Zeit zu Zeit eine Spannung U wie beschrieben führt, um die dadurch erzielten Ergebnisse der Luftmengenmessung zur Überprüfung der durch Auswertung der Signaturen der Signale, die durch triboelektrische Effekte an den in den Luftstrom eingetragenen Flugaschepartikeln erzeugten elektrischen Ladungsträger bewirkt werden, durchgeführten Luftmengenmessungen nach der Korrelationsmessmethode zu verwenden.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt auch darin, dass nach der Korrelationsmessmethode direkt die Geschwindigkeit der Luftströmung gemessen wird, weil die Erzeugung der Signale an den Sensoren durch elektrostatische Influenz direkt durch Moleküle des Luftstromes bewirkt wird, während bei vergleichbaren Verfahren des Standes der Technik Signaturen von Signalen nach der Korrelationsmessmethode ausgewertet werden, die von im Luftstrom geführten Partikeln, nämlich Flugaschepartikeln, erzeugt werden. Naturgemäß kann die Bewegungsgeschwindigkeit der Partikel einen Schlupf zur Strömungsgeschwindigkeit des Luftstromes, der die Partikel führt, aufweisen, der zu einer Verfälschung der Messergebnisse führt. Der vorgenannte Schlupf kann um so größer sein, je kleiner die Strömungsgeschwindigkeit des Luftstromes ist und je größer die Partikel sind.

Die erfindungsgemäße Einrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren ermöglichen eine störungs- und wartungsfreie Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage und damit des Verbrennungsprozesses mit hoher Zuverlässigkeit, Präzision und Langzeitkonstanz der Genauigkeit der Luftmengenmessung.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispieles näher erläutert werden. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen in

Figur 1: ein vereinfachtes Blockschaltbild einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage,
in

- Figur 2: die Anordnung einer mit einer Hochspannungsquelle verbundenen Elektrode sowie mit einer Korrelationsmesseinrichtung verbundener Sensoren in einem Verbrennungsluft führenden Kanal, in
- Figur 3: die Ausbildung einer Elektrodenspitze einer mit einer Hochspannungsquelle verbundenen Elektrode, in
- Figur 4: zeitliche Verläufe der auf die Elektrode geschalteten Hochspannung, in
- Figur 5: einen weiteren Verlauf der auf die Elektrode geschalteten Hochspannung, in
- Figur 6: eine andere Anordnung einer mit einer Hochspannungsquelle verbundenen Elektrode mit korrespondierender als Stab ausgebildeter Gegenelektrode sowie mit einer Korrelationsmesseinrichtung verbundener Sensoren in einem Verbrennungsluft führenden Kanal, in
- Figur 7: eine andere Ausbildung der Elektrodenspitze der mit einer Hochspannungsquelle verbundenen Elektrode, in
- Figur 8: die Anordnung einer mit einer Hochspannungsquelle verbundenen Elektrode sowie Sensoren von zwei Korrelationsmesseinrichtungen nach einer Verzweigung des die Verbrennungsluft führenden Kanals und in
- Figur 9: den zeitlichen Verlauf einer Luftmengenmessung in einer Kraftwerksfeuerungsanlage.
- Das in Figur 1 gezeigte vereinfachte Blockschaltbild einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage zeigt beginnend mit dem Ansaugen der Frischluft eine Frischluftklappe 1 in Strömungsrichtung s der Luft gefolgt von einem Frischlüfter 2. Nach dem Frischlüfter 2 wird von der angesaugten Frischluft die Tragluft abgezweigt. Diese wird durch einen Mühlenlüfter 3 weitergefordert, und zwar zu einem Teil zu einem Regenerativ-Luftvorwärmer 4. Im Regenerativ-Luftvorwärmer 4 wird im stationären Betrieb der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage ein Teil der Tragluft erwärmt. Ein anderer Teil der Tragluft wird kalt weitergeführt. Beide Teile der Tragluft werden über die Heißluftklappe 5 sowie die Kaltluftklappe 6 dosiert zusammengeführt, und zwar zu solchen Mengenanteilen, dass die Temperatur des Tragluft-Kohle-Gemisches nach der Beladung mit feingemahlener Kohle innerhalb vorgewählter Grenzwerte liegt. Die Temperatur der Tragluft wird durch die hinter der Kohlemühle 7 angeordnete Temperaturmesseinrichtung 8 erfasst. Vor der Kohlemühle 7 sind im Strömungsquerschnitt des die Tragluft führenden Kanals eine mit einer Hochspannungsquelle 9 verbundene Elektrode 10 und in Strömungsrichtung s der Tragluft nachfolgend zwei Sensoren 11 angeordnet, die mit einer Tragluftmengenmesseinrichtung 12 verbunden sind. Diese Sensoren 11 sind als paarweise in Strömungsrichtung s der Tragluft hintereinander angeordnete, in den Tragluftstrom ragende Messstäbe ausgeführt.

Die Tragluftmengenmesseinrichtung 10 ist als Korrelationsmesseinrichtung ausgeführt, die die infolge elektrostatischer Induktion durch an den Sensoren 11 vorbeiströmenden elektrisch geladenen Teilchen erzeugten Signale auswertet und so die Strömungsgeschwindigkeit der Tragluft misst. Anhand der Querschnittsfläche des die Tragluft führenden Kanales im Bereich der angeordneten Sensoren 11 sowie der Temperatur der Tragluft und des statischen Druckes der Tragluft im Bereich der angeordneten Sensoren 11 wird die Tragluftmenge bestimmt. Die Sensoren 11 sind in Strömungsrichtung s der Tragluft in einem Abstand l , mit $l \approx 4 \times$ Lichte Weite des Strömungsquerschnittes der Kanales im Bereich der Sensoren 11, zur Elektrode 10 angeordnet. Die Wandung 13 des die Tragluft führende Kanales ist elektrisch leitfähig ausgebildet und auf Massepotenzial geschaltet. Die Elektrode 10 und die Sensoren 11 sind gegenüber der Wandung 13 des Kanales elektrisch isoliert angeordnet. Der Kohlemühle 7 wird entsprechend der von der Kraftwerksfeuerungsanlage abgeforderten Last über eine Dosiereinrichtung 14 dosiert Kohle aufgegeben. Die mit gemahlener Kohle beladene Tragluft wird den in einem Feuerungsraum 15 angeordneten Brennern 16 zugeleitet. Dies kann je nach Ausführung der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage einzelbrennerbezogen oder brennergruppenweise oder zu allen Brennern 16 eines Feuerungsraumes 15 gemeinsam erfolgen. In Strömungsrichtung s der Tragluft nach dem Regenerativ-Luftvorwärmer 4 ist eine Druckmesseinrichtung 17 zu Erfassung des statischen Druckes der Tragluft angeordnet. Außerdem sind im Tragluftstrom Sicherheitsklappen 18 angeordnet, die während der Anfahrphase der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, d.h. wenn keine gemahlene Kohle zu den Brennern 16 gefördert wird, geschlossen sind.

Der Hauptteil der angesaugten Frischluft wird nach dem Frischlüfter 2 als Verbrennungsluft dem Regenerativ-Luftvorwärmer 4 zugeführt. Der statische Druck der erhitzten Verbrennungsluft wird mittels einer statischen Druckmesseinrichtung 19 erfasst. Mittels der Druckmesseinrichtungen 17 und 19 erfolgt die Steuerung des Frischlüfters 2. Die erhitzte Verbrennungsluft wird zu einem Teil direkt zu den Brennern 16 geleitet und zu einem anderen Teil in den Feuerungsraum 15 geführt. Beide Mengenteile der Verbrennungsluft werden durch die Verbrennungsluftmengenmeseinrichtungen 20 und 21 erfasst. Dazu sind in den jeweiligen die Verbrennungsluft führenden Kanälen Sensoren 11 angeordnet, die jeweils mit den Verbrennungsluftmeseinrichtungen 20 und 21 verbunden sind. Vor den Sensoren 11 der Verbrennungsluftmengenmeseinrichtungen 20 und 21 sind im Strömungsquerschnitt der die Verbrennungsluft führenden Kanäle je eine mit einer Hochspannungsquelle 9 verbundene Elektrode 10 angeordnet. Die Sensoren 11 sind analog zur Tragluftmengenmessung in Strömungsrichtung s der Verbrennungsluft in einem Abstand l , mit

$l \approx 20 \times$ Lichte Weite des Strömungsquerschnittes der Kanales im Bereich der Sensoren 11, zur Elektrode 10 angeordnet.

Die Verbrennungsluftmengenmessenrichtung 20 und 21 sind ebenso wie die Tragluftmengenmessenrichtung 12 als Korrelationsmessenrichtung ausgeführt, die die infolge elektrostatischer Induktion durch an den Sensoren 11 vorbeiströmenden elektrisch geladenen Teilchen erzeugten Signale auswertet und so die Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft misst. Unter Einbeziehung der Querschnittsfläche des die Verbrennungsluft führenden Kanales sowie der Temperatur der Verbrennungsluft und des statischen Druckes der Verbrennungsluft im Bereich der angeordneten Sensoren 11 wird die Verbrennungsluftmenge ermittelt.

Die Steuerung der den Brennern 16 sowie dem Feuerungsraum 15 zugeführten Verbrennungsluftmenge zur Erreichung eines für eine vorgegebene Stöchiometrie der Verbrennung erforderlichen Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei entsprechend der von der Kraftwerksfeuerungsanlage abgeforderten Last vorbestimmter Menge an den Brennern 16 zugeführter gemahlener Kohle erfolgt mittels der Verbrennungsluftsteuerklappen 22 und 23.

Ja nach Größe bzw. Leistung der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage können alle vorbenannten Baugruppen und Einrichtungen mehrfach vorhanden sein und parallel arbeiten. Im Sinne der Übersichtlichkeit des vereinfachten Blockschaltbildes sind die Baugruppen und Einrichtungen jeweils nur einfach dargestellt. Die prinzipielle Funktionsweise der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage wird, soweit es die Erfindung betrifft, davon nicht berührt.

Figur 2 zeigt die Anordnung einer mit einer Hochspannungsquelle 9 verbundenen Elektrode 10 sowie von zwei mit einer Korrelationsmessenrichtung 12 verbundener Sensoren 11 im Strömungsquerschnitt eines Verbrennungsluft führenden Kanales. Zur Tragluftmengenmessung erfolgt die Anordnung von Elektrode 10 und Sensoren 11 im Strömungsquerschnitt des die Tragluft führenden Kanales in analoger Weise.

Die Elektrode 10 ist gegenüber der elektrisch als Gegenelektrode zur Elektrode 10 funktierenden elektrisch leitfähigen und auf Massepotenzial geschalteten Wandung 13 des die Verbrennungsluft führenden Kanales elektrisch isoliert angeordnet. Sie ist als ein etwa bis zur Mitte des Strömungsquerschnittes in den Kanal ragender metallischer Rundstab mit einem Stabdurchmesser von ca. 12 mm ausgebildet. An dem etwa in der Mitte des Strömungsquerschnittes befindlichen Ende der Elektrode 10 sind, wie in Figur 3 gezeigt, metallische Spitzen 24 mit einem mittleren Radius r_m der Spitze 24 von $r_m = 0,4$ mm angeordnet. Die Spitzen 24 sind aus Stahlblech einer Stärke von 1 mm gefertigt und in einen in den Rundstab eingearbeiteten

Schlitz eingeschoben und mit dem Rundstab elektrisch leitend verbunden. Die Elektrode ist elektrisch mit einer Hochspannungsquelle 9 verbunden. Sie ist gegenüber der als Gegenelektrode fungierenden Wandung 13 des Kanals als Kathode geschaltet. Bei dieser Anordnung und Ausbildung der Elektrode 10 und der als

5 Gegenelektrode fungierenden Kanalwandung 13 wird das elektrische Feld $\vec{E}$ zwischen beiden Elektroden die dargestellte Ausbildung haben.

In Strömungsrichtung s der Verbrennungsluft sind in einem Abstand $l = 4 \times$ Lichte Weite des Kanalquerschnittes zur Position der Elektrode 10 in Strömungsrichtung hintereinander zwei Sensoren 11 angeordnet. Die Sensoren 11 sind als in den Strömungsquerschnitt etwa bis zur Mitte des Strömungsquerschnittes ragende Mess-

10 stäbe ausgeführt. Dabei bezieht sich der Abstand l auf den Abstand zwischen der Elektrode 10 und in Strömungsrichtung s der Luft dem ersten Sensor 11 der beiden hintereinander angeordneten Sensoren 11. Die beiden Sensoren 11 sind in Strömungsrichtung s der Luft in einem Abstand von ca. 350 mm zueinander angeordnet.

15 Der Abstand der Sensoren 11 in Strömungsrichtung s der Luft zueinander kann zwischen 200 mm bis 1000 mm betragen.

Zu beachten ist, dass die Sensoren 11 in einer Entfernung zur Elektrode 10 positioniert sind, in der die Wirkung des sich zwischen der Elektrode 10 und der als Gegenelektrode fungierenden Kanalwandung 13 herausbildenden elektrischen Feldes $\vec{E}$

20 nur noch unerheblich ist, d.h. die elektrischer Felstärken $< 0,3 \text{ V/m}$ ist.

Die Sensoren 11 sind ebenfalls gegenüber der auf Massepotenzial geschalteten und als Gegenelektrode fungierenden Wandung 13 des die Verbrennungsluft führenden Kanals elektrisch isoliert angeordnet. Die Sensoren 11 sind elektrisch mit einer Korrelationsmesseinrichtung 12 verbunden.

25

Figuren 4 und 5 zeigen zeigt beispielhaft mögliche zeitliche Verläufe der von der Hochspannungsquelle 9 bereitgestellten Spannung U . Dies sind in Figur 4 eine Gleichspannung von ca. - 16 kV, eine veränderliche Spannung mit Spitzenwerten von ca. -16 kV bzw. eine gepulste Spannung mit Spannungsimpulsen einer Impuls-

30 dauer von ca. 1ms im zeitlichen Abstand von ca. 300 ms und in Figur 5 eine periodisch wiederkehrende Folge von 5 Impulsen einer Spannung U mit Spitzenwerten von ca. -16 kV und einer Impulsdauer von ca. 1 ms und einer Periodendauer der Folge von Spannungsimpulsen von 1,0 s. Dabei ist der Abstand der 5 Impulse innerhalb der Folge nicht konstant, sondern er steigt von zunächst 0,1 s zwischen dem 1.

35 und 2. Spannungsimpuls, 0,15 s zwischen dem 2. und 3. Spannungsimpuls, 0,2 s zwischen dem 3. und 4. Spannungsimpuls auf schließlich 0,25 s zwischen dem 4. und 5. Spannungsimpuls an.

Es wurde gefunden, dass mit derartigen periodisch wiederkehrenden Folgen von Spannungsimpulsen besonders gute Messergebnisse erzielt werden können.

Figur 6 zeigt eine andere Anordnung einer Elektrode 10, einer elektrisch mit dieser
5 Elektrode 10 korrespondierenden stabförmig ausgebildeten Gegenelektrode 25 sowie zweier mit einer Korrelationsmesseinrichtung 12 verbundener Sensoren 11 im Strömungsquerschnitt eines Verbrennungsluft führenden Kanales. Die Gegenelektrode 25 ist den Strömungsquerschnitt des die Verbrennungsluft führenden Kanales vollständig durchspannend ausgebildet und angeordnet. Sie ist in Strömungs-
10 richtung s der Verbrennungsluft zwischen der Elektrode 10 und den Sensoren 11, oder genauer der Elektrode 10 und dem in Strömungsrichtung s der Verbrennungsluft ersten Sensor 11 der beiden Sensoren, positioniert und gegenüber der Wandung 13 des die Verbrennungsluft führenden Kanales elektrisch isoliert angeordnet. Die Elektrode 10 und die Gegenelektrode 25 sind elektrisch mit den beiden
15 Polen der Hochspannungsquelle 9 verbunden. Bei Anlegen einer Spannung bzw. eines Spannungsimulses wird zwischen der Elektrode 10 und der Gegenelektrode 25 ein elektrisches Feld $\vec{E}$, wie in Figur 6 gezeigt, ausgebildet. Die Sensoren 11 sind in einer solchen Entfernung zur Elektrode 10 positioniert, dass die Wirkung des sich zwischen der Elektrode 10 und der Gegenelektrode 25 herausbildenden elektrischen Feldes $\vec{E}$ nur noch unerheblich ist, d.h. die elektrischer Feldstärken $< 0,3 \text{ V/m}$ ist.
20 ist.

Figur 7 zeigt die Ausbildung des etwa in der Mitte des Strömungsquerschnittes befindlichen Endes der Elektrode 10. An besagtem Ende der Elektrode 10 sind in
25 Richtung der Gegenelektrode 25 weisende Spitzen 24 ausgebildet.

Figur 8 zeigt die Anordnung einer mit einer Hochspannungsquelle 9 verbundenen Elektrode 10 sowie von zwei aus jeweils zwei Sensoren 11 bestehenden Sensorgruppen, die jeweils mit einer Korrelationsmesseinrichtung 12.1 und 12.2 elektrisch
30 verbunden sind, nach einer Verzweigung des die Verbrennungsluft führenden Kanales. Die zu den Figuren 2 bzw. 6 beschriebenen Merkmale der Anordnung der Elektrode 10 sowie der Sensoren 11 treffen analog zu, jedoch mit dem Unterschied, dass in Strömungsrichtung s der Verbrennungsluft nach der Elektrode 10 eine Verzweigung des die Verbrennungsluft führenden Kanales erfolgt und in jedem Kanalzweig je
35 eine mit einer Korrelationsmesseinrichtung 12.1 bzw. 12.2 elektrisch verbundene Gruppe von je zwei Sensoren 11 angeordnet ist. In Strömungsrichtung s der Verbrennungsluft beträgt der Abstand l zwischen der Elektrode 10 zu den Sensoren 11 bei den mit der Korrelationsmesseinrichtung 12.1 elektrisch verbundenen

Sensoren 11 I $\approx 4 \times$ Lichte Weite des Kanalquerschnittes im Bereich der Sensoren 11 und bei den mit der Korrelationsmesseinrichtung 12.2 elektrisch verbundenen Sensoren 11 I $\approx 8 \times$ Lichte Weite des Kanalquerschnittes im Bereich der Sensoren 11.

5

Figur 9 zeigt den zeitlichen Verlauf der einem Brenner 16 oder einer Gruppe von Brennern 16 zugeführten Verbrennungsluftmenge während der Anfahrphase einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage.

10 Zunächst erfolgt eine Vorbelüftung des Feuerungsraumes 15. Die Verbrennungsluftsteuerklappen 22 und 23 sind vollständig geöffnet, während die Sicherheitsklappen 18 in der Tragluftführung geschlossen sind. Es wird ausschließlich Verbrennungsluft in den Feuerungsraum 12 geleitet. Die Steuerung des Frischlüfters 2 erfolgt in Abhängigkeit des mittels der statischen Druckmesseinrichtung 19 gemessenen Druckes der Verbrennungsluft. Zunächst wird soviel Verbrennungsluft in den Feuerungsraum 15 eingeblasen, dass ein mehrfacher Austausch (mindestens 3fach) der Luftmenge im Feuerungsraum 15 stattfindet, um Brennstoffreste aus dem Feuerungsraum 15 zu entfernen und Verpuffungen zu vermeiden. Nach dem mehrfachen Austausch der Luftmenge im Feuerungsraum 15 wird Zündbereitschaft für im Feuerungsraum 15 angeordnete in Figur 1 nicht dargestellte Öl- oder Gasbrenner hergestellt. Mit Beginn der Zündbereitschaft erfolgt eine Steuerung der Verbrennungsluftmenge in Abhängigkeit der für den Zündvorgang zugeführten Brennstoffmenge (Öl oder Gas). Die Hochspannungsquellen 9 generieren Folgen von Hochspannungsimpulsen mit denen die Elektroden 10 beaufschlagt werden, wobei die Elektroden 10 kathodisch gegenüber den als Gegenelektrode fungierenden Wandungen 13 der die Verbrennungsluft führenden Kanäle geschaltet sind. Die Hochspannungsimpulse haben eine Impulsbreite von 1 ms, Maximalwerte der Spannung U von $U = -16$ kV. Mittels der Verbrennungsluftmengenmesseinrichtungen 20 und 21 wird die Verbrennungsluftmenge gemessen und über die Verbrennungsluftsteuerklappen 22 und 23 die den Brennern 16 bzw. dem Feuerungsraum 15 zugeführte Verbrennungsluftmenge gesteuert. Die Öl- bzw. Gasbefeuerung des Kohlekraftwerksfeuerungsanlage wird so lange fortgesetzt, bis eine ausreichende Vorwärmung des Verbrennungsraumes 15 und des Regenerativ-Luftvorwärmers 4 erreicht ist. Während der Zeit der Öl- bzw. Gasbefeuerung werden die Elektroden 10 mit Hochspannungsimpulsen beaufschlagt, um Wolken ionisierter Luftmoleküle im Verbrennungsluftstrom zu erzeugen. Diese Wolken ionisierter Luftmoleküle werden im elektrischen Feld $\vec{E}$, das sich zwischen der Elektrode 10 und der Gegenelektrode ausbildet, als Ionenstrom zur Gegenelektrode geleitet. Dabei kommt es zu einer Wechselwirkung zwischen den vorgenannten ionisierten Luftmolekülen und anderen Molekülen des Verbren-

- nungsluftstromes. Infolge dieser Wechselwirkung werden Moleküle des Verbrennungsluftstromes elektrisch so beeinflusst, dass bei ihrem Vorbeiströmen an den Sensoren 11 infolge elektrostatischer Induktion Signale erzeugt werden, aus denen durch Auswertung nach der Korrelationsmessmethode die jeweilige Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft ermittelt werden kann. Anhand der Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft wird dann unter Einbeziehung der Querschnittsfläche des die Verbrennungsluft führenden Kanals sowie der Temperatur der Verbrennungsluft und des statischen Druckes der Verbrennungsluft im Bereich der angeordneten Sensoren 11 die jeweilige Verbrennungsluftmenge berechnet.
- 5 Wichtig ist, dass die Sensoren 11 nicht der direkten Wirkung des Ionenstromes zwischen der Elektrode 10 und der Gegenelektrode 13, 25 ausgesetzt sind, weil Signale die infolge des vom elektrischen Feld $\vec{E}$ geführten Ionenstromes an den Sensoren 11 erzeugt werden würden, nach der Korrelationsmessmethode, die in gleicher Weise zur Auswertung von an den Sensoren 11 erzeugten Signalen, die, wie
- 10 nachstehend noch beschrieben, von an den Sensoren vorbeiströmenden durch triboelektrische Effekte elektrisch aufgeladenen Teilchen infolge elektrostatischer Induktion erzeugt werden, nicht auswertbar sind.

- Mit Erreichen einer ausreichenden Vorwärmung des Feuerungsraumes 15 beginnt
- 20 der Eintrag gemahlener Kohle in den Feuerungsraum 15. Dazu wird über den Mühlenlüfter 3 und Öffnen der Sicherheitsklappen 18 der Tragsluftstrom gestartet und die Kohlemühle 7 dosiert mit Kohle beschickt. Die Tragluft wird mit gemahlener Kohle beladen. Die gemahlene Kohle entzündet sich an den noch im Betrieb befindlichen Öl- bzw. Gasbrennern.
- 25 Mit Beginn des Kohleeintrages in den Feuerungsraum 15 und der Zündung der Kohleverbrennung kann die Beaufschlagung der Elektroden 10 mit Hochspannungsimpulsen beendet werden, weil in die Verbrennungsluft und die Tragluft über den Regenerativ-Luftvorwärmer 4 eine ausreichende Menge an Aschepartikeln eingetragen werden, die durch triboelektrische Effekte elektrisch aufgeladen werden
- 30 und beim Vorbeiströmen an den Sensoren 11 infolge elektrostatischer Induktion Signale erzeugen die nach der Korrelationsmessmethode auswertbar sind. Ungeachtet dessen können im Abstand von ca. 30 Minuten, bei Bedarf auch in kürzeren Abständen, die Elektroden 10 mit Hochspannungsimpulsen beaufschlagt werden, um zur Überprüfung der Messgenauigkeit der Einrichtung Messungen durchzu-
- 35 führen, die sowohl auf der Basis von Signalen, die von an den Sensoren 11 vorbeiströmenden durch triboelektrische Effekte aufgeladene Aschepartikeln als auch von ionisierten Luftmolekülen durch elektrostatische Induktion erzeugt werden. Dies ermöglicht eine erheblich genauere Messung der Strömungsgeschwindigkeit

der Verbrennungsluft bzw. der Tragluft, woraus eine erheblich genauere Verbrennungsluftmengen- und Tragluftmengenmessung resultiert, wodurch schließlich eine erheblich präzisere Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage erfolgen kann.

5

Sinkt jedoch die Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft oder der Tragluft unter einen Wert von 10 m/s, sollten die Elektroden 10 mit entsprechenden Hochspannungsimpulsen beaufschlagt werden, weil sich dann die Messgenauigkeit der Verbrennungsluftmengenmessung bzw. der Tragluftmengenmessung nach der

10 Korrelationsmessmethode durch Auswertung der von ausschließlich durch triboelektrische Effekte elektrisch aufgeladenen Teilchen an den Sensoren 11 erzeugten Signalen erheblich verschlechtert.

15

20

25

30

35

Liste der Bezugszeichen

- 1 - Frischluftklappe
- 2 - Frischlüfter
- 5 3 - Mühlenlüfter
- 4 - Regenerativ-Luftvorwärmer
- 5 - Heißluftklappe
- 6 - Kaltluftklappe
- 7 - Kohlemühle
- 10 8 - Temperaturmesseinrichtung
- 9 - Hochspannungsquelle
- 10 - Elektrode
- 11 - Sensor
- 12 - Korrelationsmesseinrichtung
- 15 12.1 - Korrelationsmesseinrichtung
- 12.2 - Korrelationsmesseinrichtung
- 13 - Wandung des Kanals
- 14 - Dosiereinrichtung
- 15 - Feuerungsraum
- 20 16 - Brenner
- 17 - Druckmesseinrichtung zur Messung des statischen Druckes der Tragluft
- 18 - Sicherheitsklappe im Tragluftstrom
- 19 - Druckmesseinrichtung zur Messung des statischen Druckes der Verbrennungsluft
- 25 20 - Verbrennungsluftmengenmesseinrichtung
- 21 - Verbrennungsluftmengenmesseinrichtung
- 22 - Verbrennungsluftsteuerklappe
- 23 - Verbrennungsluftsteuerklappe
- 30 24 - Spitze der bzw. an der Elektrode 10
- 25 - Gegenelektrode
- $\vec{E}$ - Elektrisches Feld
- l - Abstand
- n - Anzahl von Impulsen einer Spannung U
- 35 r_m - mittleren Radius der Spitze
- s - Strömungsrichtung
- U - Spannung

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, die Mittel zur
- 5 pneumatischen Förderung der gemahlene Kohle zu den Brennern der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage sowie Mittel zur Zuführung der Verbrennungsluft zu den Brennern (16) bzw. in den Feuerungsraum (15) der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage aufweist, wobei in Strömungsrichtung der Luft mindestens nachfolgende Einrichtungen angeordnet sind,
- 10 ein Frischlüfter (2) zum Ansaugen von Frischluft aus der Umgebung, ein Mühlenlüfter (3) zur Förderung eines Teiles der angesaugten Frischluft als Tragluft zur Beladung mit gemahlener Kohle, einen Luftvorwärmer (4) zur Vorwärmung der angesaugten Frischluft und eines Teiles der Tragluft unter Nutzung der Rauchgaswärme der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, eine Luftmengensteuereinrichtung zur Steuerung der in den Feuerungsraum (15) eingeleiteten Verbrennungsluftmenge, eine Luftmengensteuereinrichtung zur Steuerung der für die pneumatische Förderung der gemahlene Kohle zu verwendenden Tragluftmenge sowie
- 15 Messeinrichtungen (12, 20, 21) zur Messung der in den Feuerungsraum (15) eingeleiteten Verbrennungsluftmenge und der zur pneumatischen Förderung der gemahlene Kohle zu verwendenden Tragluftmenge und eine Einrichtung (7, 14) zur dosierten Zuführung einer vorgewählten Menge an gemahlener Kohle zu den Brennern (16),
- 20 und wobei zur Luftmengenmessung (12, 20, 21) eine durch elektrostatische Induktion an zwei in den Luftstrom, in Strömungsrichtung (s) der Luft hintereinander angeordneten Sensoren (11) erzeugte Signale auswertende Korrelationsmesseinrichtung (12) vorgesehen ist,
- 25 dadurch gekennzeichnet, dass
- in Strömungsrichtung (s) der Luft vor den Sensoren (11) der Korrelationsmesseinrichtung (12) in einem Abstand l mit $1 \times \text{Lichte Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales} < l < 10 \times \text{Lichte Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales im Bereich der Sensoren (11)}$, bevorzugt $3 \times \text{Lichte Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales} < l < 5 \times \text{Lichte Weite des Strömungsquerschnittes des die Luft führenden Kanales im Bereich der Sensoren (11)}$, im Strömungsquerschnitt des die Luft
- 30 führenden Kanales eine Elektrode (10) mit einer Elektrodenkontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ angeordnet ist, wobei der Abstand l der Abstand zwischen der Elektrode (10) und in Strömungsrichtung (s) der Luft dem ersten Sensor (11) der beiden hintereinander angeordneten Sensoren (11)
- 35

- ist, dass die zu der Elektrode (10) elektrisch wirkende Gegenelektrode (13, 25) mindestens abschnittsweise in Strömungsrichtung (s) der Luft vor den Sensoren (11) angeordnet ist, und dass die Elektrode (10) sowie die Gegenelektrode (13, 25) mit den unterschiedlichen Polen einer Hochspannungsquelle (9) mit einer Spannung U von $12\text{ kV} \leq U \leq 20\text{ kV}$, bevorzugt $15\text{ kV} \leq U \leq 17\text{ kV}$, verbunden sind.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- im Fall, dass die Kanalwandung (13) des die Luft führenden Kanales elektrisch leitfähig ist, die Kanalwandung (13) als Gegenelektrode zu der im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten Elektrode (10) geschaltet ist.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- in Strömungsrichtung (s) der Luft nach der Elektrode (10) und vor den Sensoren (11) mindestens ein den Kanalquerschnitt mindestens zur Hälfte durchspannender elektrisch leitfähiger Stab (25) oder Draht angeordnet ist und dass dieser elektrisch leitfähige Stab (25) oder Draht elektrisch als Gegenelektrode zur Elektrode (10) geschaltet ist.
4. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
- die im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordnete Elektrode (10) als Kathode und die Gegenelektrode (13, 25) auf Massepotenzial geschaltet ist.
5. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordnete Elektrode (10) eine oder mehrere Spitzen (24) oder Schneiden mit einer Kontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1\text{ mm} \leq r_m \leq 1,2\text{ mm}$ aufweist oder als Draht mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1\text{ mm} \leq r_m \leq 1,2\text{ mm}$ ausgebildet ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass
- die im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordnete Elek-

trode (10) als ein in den Strömungsquerschnitt ragender Stab ausgebildet und gegenüber der Wandung (13) des die Luft führenden Kanales isoliert angeordnet ist, wobei das in den Strömungsquerschnitt ragende Ende der Elektrode (10) etwa bis zur Mitte des Strömungsquerschnittes ragt und mindestens eine Spitze (24) oder Schneide mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ aufweist.

7. Einrichtung nach Anspruch 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
in Strömungsrichtung (s) der Luft nach einer im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten Elektrode (10) mehrere durch elektrostatische Induktion an zwei in den Luftstrom, in Strömungsrichtung (s) der Luft hintereinander angeordneten Sensoren (11) erzeugte Signale auswertende Korrelationsmesseinrichtungen (12.1, 12.2) vorgesehen sind.
8. Einrichtung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
in Strömungsrichtung (s) der Luft nach einer im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten Elektrode (10) und nach einer in Strömungsrichtung der Luft dem Ort der Anordnung der Elektrode (10) nachfolgenden Verzweigung des die Luft führenden Kanales in den einzelnen Kanalzweigen durch elektrostatische Induktion an zwei in den Luftstrom, in Strömungsrichtung (s) der Luft hintereinander angeordneten Sensoren (11) erzeugte Signale auswertende Korrelationsmesseinrichtungen (12.1, 12.2) vorgesehen sind.
9. Verfahren zur Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses bei der Verbrennung gemahlener Kohle in einer Kohlekraftwerksfeuerungsanlage, die Mittel zur Zuführung der gemahlene Kohle zu den Brennern (16) der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage sowie Mittel zur Zuführung der Verbrennungsluft zu den Brennern (16) bzw. in den Feuerungsraum (15) der Kohlekraftwerksfeuerungsanlage gemäß den Ansprüchen 1 bis 7 aufweisen, wobei die Verbrennungsluftmengenmessung und die Tragluftmengenmessung auf der Grundlage der Auswertung von an in Strömungsrichtung (s) der Luft hintereinander im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten Sensoren (11) durch elektrostatische Induktion erzeugten Signalen nach der Korrelationsmessmethode erfolgt,
dadurch gekennzeichnet, dass
in Strömungsrichtung (s) der Luft vor den Sensoren (11) mindestens ein Teil des

- Luftstromes der Wirkung einer Spannung U von $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, führenden Elektrode (10) mit einer Elektrodenkontur mit einem mittleren Radius r_m mit $0,1 \text{ mm} \leq r_m \leq 1,2 \text{ mm}$ ausgesetzt und dadurch ionisiert wird und die Sensoren (11) nicht der direkten Wirkung des durch die Spannung U angetriebenen, zwischen der Elektrode (10) und der Gegenelektrode (13, 25) fließenden Ionenstromes ausgesetzt werden.
- 5
10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 die Elektrode (10) eine konstante negative Spannung U führt.
11. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 die Elektrode (10) eine zeitlich veränderliche Spannung U mit Maximalwerten zwischen $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, führt.
12. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 die Elektrode (10) eine gepulste Spannung U mit Maximalwerten zwischen $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, und einer Impulsdauer von ca. 1ms führt.
13. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 die Elektrode (10) periodisch eine Anzahl von n Impulsen einer Spannung U mit Maximalwerten zwischen $12 \text{ kV} \leq U \leq 20 \text{ kV}$, bevorzugt $15 \text{ kV} \leq U \leq 17 \text{ kV}$, wobei $2 \leq n \leq 10$ ist, und einer Impulsdauer von ca. 1ms führt und dass die Periodendauer der n Impulse zwischen 0,2 s bis 3,0 s, bevorzugt zwischen 1,0 s bis 1,5 s, liegt.
- 30
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 35 die Auswertung der an den in Strömungsrichtung (s) der Luft hintereinander im Strömungsquerschnitt des die Luft führenden Kanales angeordneten Sensoren (11) durch elektrostatische Induktion erzeugten Signalen nach der Korrelationsmessmethode zeitversetzt zu den Impulsen der Spannung U , die die Elektrode (10) führt, erfolgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Zeitversatz zwischen den Impulsen der Spannung U und der Auswertung der an den Sensoren (11) durch elektrostatische Induktion erzeugten Signalen nach

5 der Korrelationsmessmethode zwischen 5 ms bis 150 ms, bevorzugt zwischen 8 ms bis 70 ms, liegt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15

dadurch gekennzeichnet, dass

10 im Fall, dass die Kohlekraftwerksfeuerungsanlage einen Regenerativ-Luftvorwärmer (4) aufweist, die Elektrode (10) nur dann eine Spannung führt, wenn kein Eintrag gemahlener Kohle in die Tragluft erfolgt und somit über den Regenerativ-Luftvorwärmer (4) keine Flugaschepartikel in die Frischluft eingetragen werden
15 oder wenn die Strömungsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft oder der Tragluft unter einen Wert von 10 m/s sinkt oder wenn eine Überprüfung der Steuerung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses während des normalen Kraftwerksbetriebes erfolgen soll.

20

25

30

35