2. Kohlenstaubfeuerungen – Stand der Technik

Bei der großtechnischen Verbrennung von Kohle zur Erzeugung von Strom und Fernwärme werden überwiegend Staubfeuerungen eingesetzt [22]. Der feste Brennstoff muss dazu zerkleinert und getrocknet werden. Der dann staubförmige Brennstoff wird anschließend mit einem Traggas zum Brenner gefördert und in die Brennkammer eingeblasen. Durch die Zerkleinerung des Brennstoffes wird die Oberfläche stark vergrößert und die Reaktionsgeschwindigkeit der Kohleverbrennung beschleunigt [14]. Die schnelle Wärmefreisetzung ermöglicht eine gute Regelbarkeit und ein angemessenes Lastwechselverhalten. Im Unterschied zu einer Rostfeuerung, bei der stückiger Brennstoff auf dem Rost abbrennt, findet bei einer Staubfeuerung die Verbrennung in einem Feuerraumvolumen statt, das vergleichbar mit dem einer Gasfeuerung ist [12].

Die Sauerstoffkonzentration am Feuerraumende ist ein Maß für den Luftüberschuss und dient zur Ermittlung der Luftzahl. Die Luftzahl λ ist das Verhältnis aus zugeführter Verbrennungsluftmenge l und der für eine stöchiometrische Umsetzung des Brennstoffes erforderlichen Luftmenge l_{min}. Moderne Kohlenstaubfeuerungen werden mit einer Luftzahl zwischen 1,15 und 1,25 betrieben [69].

2.1. Bauarten von Kohlenstaubfeuerungen

Das erste Kraftwerk mit einer Kohlenstaubfeuerung wurde 1918 in Milwaukee (USA) in Betrieb genommen. In den darauf folgenden Jahren hat sich die Kohlenstaubfeuerung bei der Verstromung von Kohle aufgrund der oben genannten Vorteile gegenüber Rostfeuerungen durchgesetzt. Die wesentlichen Komponenten einer Kohlenstaubfeuerung sind die Mahlanlage, bestehend aus der Brennstoffzuteilung und der Mühle, das Staubfördersystem, die Brenner und die Brennkammer. Abhängig von den Eigenschaften der zu verbrennenden Kohle wurden verschiedene Konzepte realisiert. Im Folgenden wird eine Übersicht und Einteilung der verschiedenen Bauarten von Kohlenstaubfeuerungen gegeben.

2.1.1. Direkte und indirekte Kohlenstaubfeuerung

Wird die Kohle direkt nach der Mühle zu den Brennern gefördert und in den Feuerraum eingeblasen, spricht man von einer direkten Feuerung. Abbildung 1 zeigt den wesentlichen Aufbau einer direkten Kohlenstaubfeuerung. Die Kohle wird von einem Zuteiler aus dem Vorratsbunker in die Mühle gefördert, dort erfolgt die Mahlung und Trocknung. Der brennfertige Kohlenstaub wird mit so genanntem Traggas aus der Mühle ausgetragen und über die Brenner in den Feuerraum eingeblasen. Bei Feuerungen mit indirekter

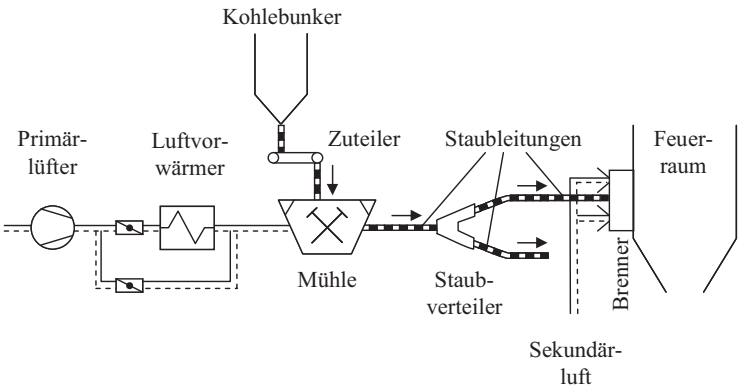

Abbildung 1: Schema einer direkten Kohlenstaubfeuerung [57]

Staubeinblasung (s. Abbildung 2) wird die gemahlene Kohle nicht direkt zu den Brennern gefördert, sondern in einem Vorlagebehälter zwischengelagert. Während bei der direkten Feuerung das Verhältnis von Kohlenstaub- zu Traggasstrom, die so genannte Beladung, auf Grund der Mahltrocknung und der Strömungsbedingungen in der Mahlanlage bestimmt ist, kann dies bei der indirekten Feuerung lediglich unter Berücksichtigung des pneumatischen Transportes gewählt werden. Dies ermöglicht bei schwierigen Brennstoffen Vorteile im Hinblick auf Zündung und Stabilität der Verbrennung. Allerdings erfordert die Bunkerung von brennfertigem Kohlenstaub eine sicherheitstechnische Überwachung des Vorlagebehälters und stellt insgesamt einen erhöhten verfahrenstechnischen Aufwand dar, weshalb eine direkte Kohlenstaubfeuerung üblicherweise bevorzugt wird.

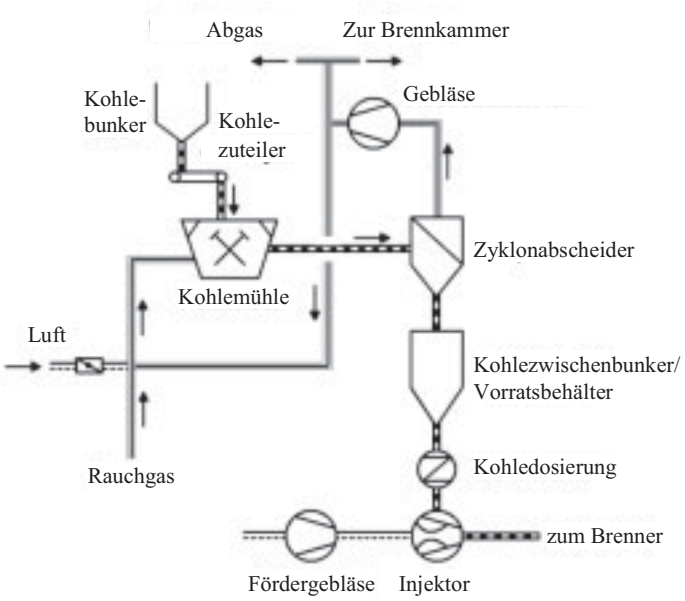

Abbildung 2: Schema einer indirekten Kohlenstaubfeuerung [57]

2.1.2. Stein- und Braunkohlenstaubfeuerungen

Der wesentlich höhere Wassergehalt von Braunkohle (bis zu 60 %) gegenüber Steinkohle (8-15 %) erfordert eine höhere Trocknungsleistung der Mühle. Bei Braunkohlenstaubfeuerungen erfolgt die Mahltrocknung daher mit heißen Rauchgasen aus dem Feuerraum, während bei Steinkohlenstaubfeuerungen der Primärlüfter einen Teil der im Luftvorwärmer (Luvo) aufgeheizten Frischluft in die Mühle fördert. Aufgrund des hohen Wassergehaltes der Braunkohle und des damit geringeren Heizwertes gegenüber der Steinkohle, ist bei gleicher thermischer Leistung ein entsprechend höherer Brennstoffeinsatz notwendig. Daraus resultiert unter anderem wegen des größeren Rauchgasvolumenstromes bei gleicher thermischer Leistung eine um den Faktor 1,3-1,4 höhere Baugröße von Braunkohledampferzeugern gegenüber Steinkohledampferzeugern.

2.1.3. Trocken entaschte Feuerungen und Schmelzkammerfeuerungen

Abbildung 3 zeigt verschiedene Bauformen von Staubfeuerungen. Bei der konventionellen Kohlenstaubfeuerung (Abbildung 3, links) wird der Kohlenstaub senkrecht zur Rauchgasrichtung eingeblasen. Hier wird der größte Teil der Asche (ca. 90 %) als Flugasche mit dem Rauchgasstrom aus der Feuerung ausgetragen und in nachgeschalteten Filtern abgeschieden.

Bei der Down-Shot Feuerung (Abbildung 3, Mitte) wird der Kohlenstaub senkrecht nach unten in die Brennkammer eingeblasen, aufgrund der vorgegebenen Feuerraumgeometrie werden die Flammen nach wenigen Metern um 180 ° umgelenkt. Der Vorteil dieses

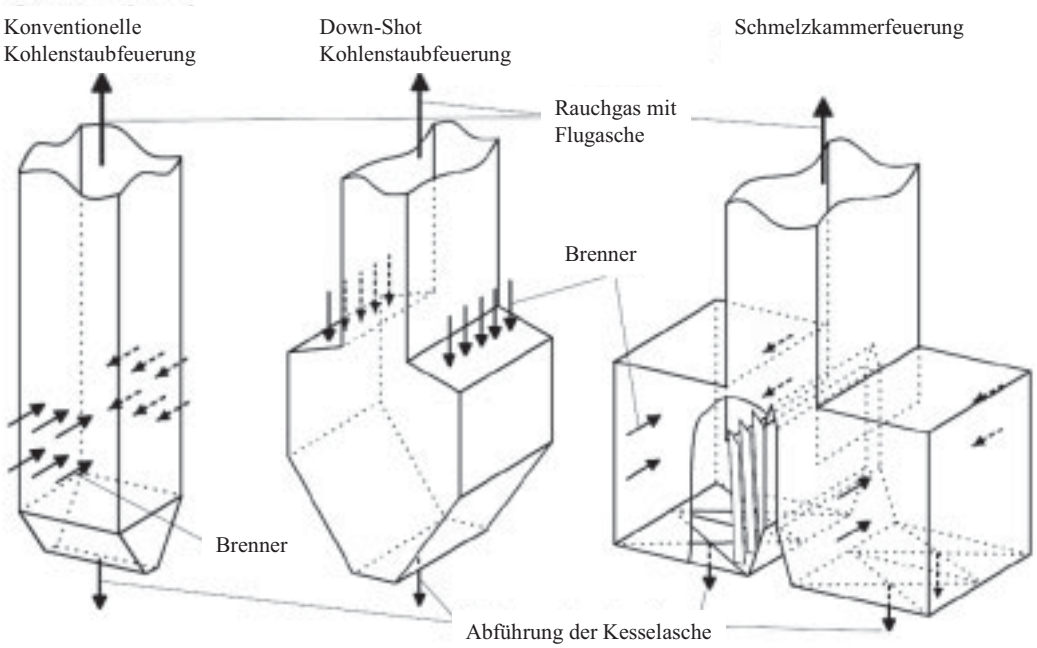

Abbildung 3: Wesentliche Bauarten von Kohlenstaubfeuerungssystemen [57]

Feuerungskonzeptes ist eine große Verweildauer der Kohlepartikel bei hohen Temperaturen, dadurch eignet sich dieses Konzept insbesondere für niederflüchtige Kohlen.

Bei Staubfeuerungen mit flüssigem Ascheabzug oder Schmelzkammerfeuerungen (Abbildung 3, rechts) liegt die Temperatur in der Brennkammer deutlich oberhalb der Ascheschmelztemperatur. Die flüssige Asche wird über eine oder mehrere Abzugsöffnungen im Brennkammerboden abgezogen. Dieses Feuerungskonzept eignet sich besonders für aschereiche und niederflüchtige Kohlen und wurde erstmalig 1934 in Tschechien eingesetzt. Nachteilig wirken sich die hohen Temperaturen auf die thermische NO_x-Bildung aus, zur Einhaltung des NO_x-Grenzwertes ist ein entsprechend hoher Aufwand bei der Rauchgasreinigung erforderlich. Andererseits bietet die Schmelzkammerfeuerung Vorteile im Hinblick auf die Eigenschaften der Asche. Da diese aus dem schmelzflüssigen Zustand im Wasserbad erstarrt, entsteht ein grobkörniger, nicht auslaugbarer Rückstand, der verwertet oder problemlos deponiert werden kann. Trotz der Vorteile werden auch auf Grund der höheren Investitions- und Wartungskosten Schmelzkammerfeuerungen heute eher selten eingesetzt.

2.1.4. Konventionelle Ausführungen von trocken entaschten Staubfeuerungen

Die im vorigen Kapitel (2.1.3) beschriebene konventionelle Bauform von Kohlenstaubfeuerungen wird hier näher erläutert. Eine weitere Unterteilung dieser Bauform kann anhand der Brenneranordnung und der eingesetzten Brenner vorgenommen werden.

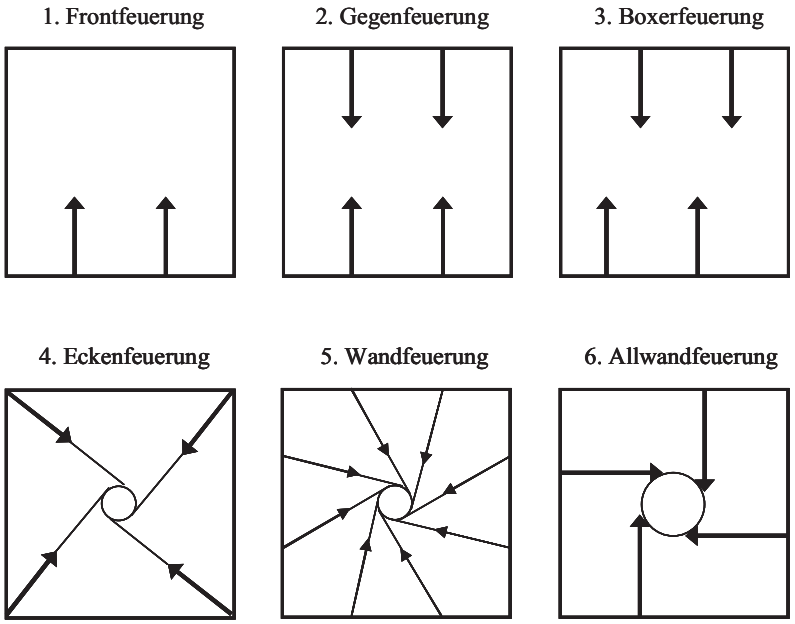

Abbildung 4: Brenneranordnungen verschiedener Feuerungskonzepte

Die in Abbildung 4 dargestellten Bauformen können unterschieden werden in Drallbrennersysteme und Tangentialfeuerungssysteme.

Moderne Drallbrenner sind im Aufbau komplexer und aufwändiger als Strahlbrenner und bieten dem Betreiber mehr Möglichkeiten zur Beeinflussung der Flamme und der Zündung am Brenner. Beispielsweise kann durch eine Erhöhung der Drallzahl am Brenner die Mischung des Brennstoffes und der Verbrennungsluft intensiviert werden. Dies kann insbesondere dann erforderlich werden, wenn der Gehalt an Flüchtigen in der Einsatzkohle abnimmt und damit die Zündfähigkeit der Kohle sich ändert.

Drallbrennersysteme zeichnen sich aus durch

- eine gute Mischung von Luft und Brennstoff,
- eine schnelle und stabile Zündung,
- stabile Flammen der Einzelbrenner,
- Stellmöglichkeiten zur Anpassung der Brenner an unterschiedliche Einsatzkohlen,
- einen guten Abbrand im Brennernahbereich sowie
- ein gutes Teillastverhalten bei reinem Kohlebetrieb.

In Tangentialfeuerungssystemen werden üblicherweise Strahlbrenner eingesetzt. Die Brenner sind dabei entweder in den Ecken oder mit einem bestimmten Anstellwinkel auf den Feuerraumwänden angeordnet. Der Anstellwinkel ist dabei so gewählt, dass die Flammen der Brenner auf einen Tangentialkreis ausgerichtet sind und eine Tangentialströmung im Feuerraum erzeugen.

Die Vorteile dieses Feuerungskonzeptes sind eine

- gute Mischung der Rauchgase im Feuerraum und eine
- gleichmäßige Temperaturverteilung über der Feuerraumhöhe.

Bei Braunkohlekraftwerken kommt ausschließlich das Konzept der Tangentialfeuerung zum Einsatz.

Eine Besonderheit der Feuerungsbauarten stellt die Allwandfeuerung in Kombination mit Drallbrennern dar (s. Abbildung 4, Nr. 6), die im HKW2 am Kraftwerksstandort Altbach/Deizisau realisiert wurde [30]. Dieses Konzept verbindet die Vorteile von Drallbrennern mit den Vorteilen einer Tangentialfeuerung [29], [31].

Im Weiteren werden ausschließlich direkt befeuerte und trocken entaschte Kohlenstaubfeuerungen betrachtet.

2.2. Brennstoffaufbereitung und Förderung zu den Brennern

Der in Kohlekraftwerken eingesetzte Brennstoff wird üblicherweise grob zerkleinert (Korngröße 20-50 mm) angeliefert und muss vor dem Einsatz in einer Staubfeuerung in der Mahlanlage fein gemahlen und getrocknet werden. Anschließend wird die so aufbereitete Kohle zu den Brennern gefördert und in den Feuerraum eingeblasen.

Für die Brennstoffaufbereitung werden hauptsächlich zwei unterschiedliche Mühlentypen verwendet. Walzenschüsselmühlen werden überwiegend in Steinkohlekraftwerken eingesetzt, während in Braunkohlekraftwerken meistens Schlagradmühlen zum Einsatz kommen.

2.2.1. Walzenschüsselmühle

Die Brennstoffaufgabe erfolgt über ein zentral angeordnetes Kohlefallrohr (s. Abbildung 5). Das Mahlgut fällt auf die rotierende Mahlschüssel und wird durch die Zentrifugalkraft nach außen bewegt. Zwischen Mahlpendel und Mahlschüssel baut sich ein Mahlbett aus Kohle auf. Die Kraft, mit der die Mahlpendel auf das Kohlemahlbett gepresst werden, kann bei modernen Mühlen hydraulisch verändert werden. Damit lässt sich die Mahlkraft an die Mahlbarkeit der Kohle anpassen. Die Mahlbarkeit einer Kohle bezeichnet den mechanischen Aufwand, der aufgebracht werden muss, um die Kohle zu zerkleinern und wird als Hardgrove-Index angegeben. Der gemahlene Kohlenstaub wird von der Primärluft getrocknet und in Strömungsrichtung mitgerissen. Im Sichter werden grobe Partikel abgeschieden und durchlaufen den Mahlprozess erneut. Abhängig von dem Verschleißzustand der Mahlwerkzeuge, dem Hardgrove-Index der Kohle und der geforderten Mahlfeinheit stellt sich ein interner Kohlenstaubumlauf ein, der 2-3 mal so hoch sein kann wie die zugeführte Kohlemenge.

Wird bei zu großer Kohlenstaubzirkulation das Fassungsvermögen der Mühle überschritten, führt das zur Abschaltung der Mühle. Die interne Kohlenstaubzirkulation verursacht einen zusätzlichen Druckverlust der Primärluft. Der Druckverlust der Primärluft zwischen Ein- und Austritt aus der Mühle ist daher ein Maß für den internen Kohlenstaubumlauf und dient der Überwachung des Mühlenbetriebes. Steigt der Druckverlust über die Mühle an, kann zur Entlastung der Mühle die Kohlezufuhr reduziert oder bei Drehsichtern die Sichterdrehzahl zurückgenommen und so die Mahlfeinheit reduziert werden [67].

Abhängig vom Feuerungskonzept kann eine Mühle einen oder mehrere Brenner versorgen. Werden von einer Mühle mehrere Brenner versorgt, muss der Kohlenstaubstrom auf die entsprechende Anzahl an Brennern aufgeteilt werden. Die Aufteilung kann entweder unmittelbar nach dem Sichteraustritt durch eine entsprechende Anzahl an Staubleitungsabgängen oder anschließend in Zwangsverteilern erfolgen. Eine Aufteilung des Kohlenstaubes direkt am Sichteraustritt ermöglicht im Allgemeinen eine gleichmäßigere

Aufteilung des Kohlenstaubes auf die einzelnen Kohlenstaubleitungen als die Hintereinanderschaltung mehrerer Zwangsverteilerstufen [32].

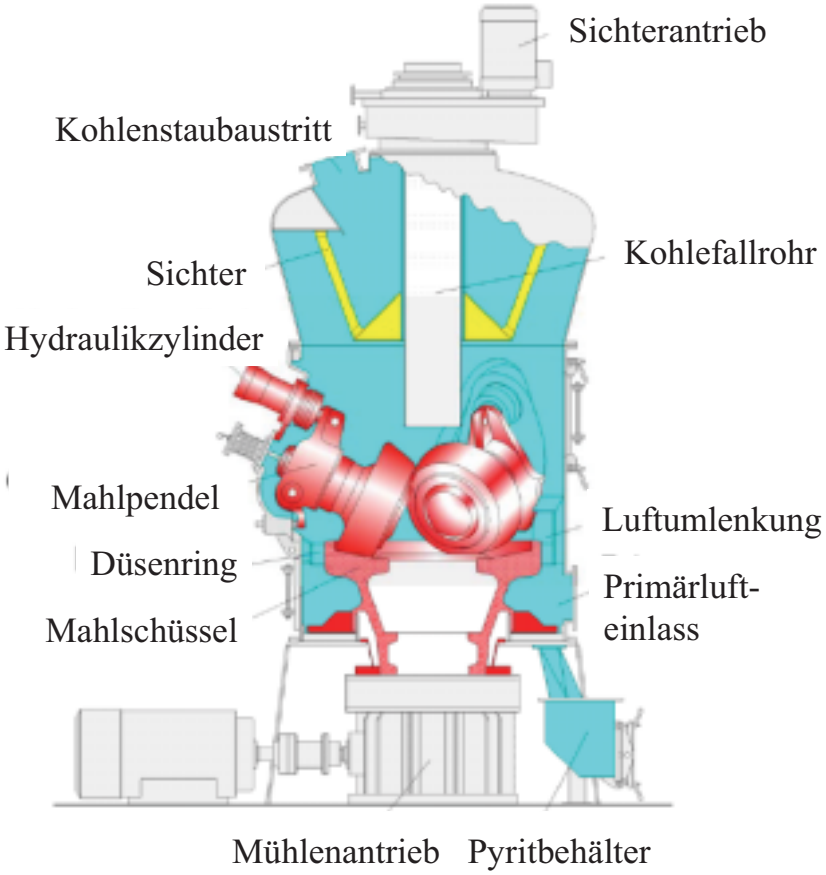

Abbildung 5: Aufbau einer Walzenschüsselmühle [57]

2.2.2. Zwangsverteiler

In Abbildung 6 ist eine Zwangsverteilerstufe dargestellt. Der von unten einströmende Kohlenstaubstrom trifft auf ein Register, dessen Ausgänge abwechselnd zur einen oder anderen Leitung hin offen sind. Tritt der Kohlenstaubstrom gleichmäßig verteilt über den Eintrittsquerschnitt in das Register ein, erfolgt eine gleichmäßige Aufteilung des Kohlenstaubstromes auf die anschließenden Leitungen.

Beim Eintritt von Kohlenstaubsträhnen in den Zwangsverteiler kann es zu Ungleichverteilungen des Kohlenstaubes in den anschließenden Staubleitungen kommen. Zum Erreichen einer besseren Kohlenstaubverteilung über den Eintrittsquerschnitt können Blenden oder Hindernisse vor den Verteilerstufen eingesetzt werden, um vorhandene Kohlenstaubsträhnen aufzulösen. Solche Einbauten in den Kohlenstaubleitungen erhöhen allerdings den Druckverlust und unterliegen einem starken Verschleiß.