

Feuerungsmodernisierung von Braunkohle-Bestandsanlagen

von Stefan Hamel, Paolo Schmidt-Holzmann
und Hans-Ulrich Thierbach

Feuerungsmodernisierung von Braunkohle-Bestandsanlagen

Stefan Hamel, Paolo Schmidt-Holzmann und Hans-Ulrich Thierbach

Abstract

Optimisation of the firing system of existing lignite-fired power plants

Optimisation of firing systems in existing plants today is an extensive challenge. Between requirements of future operation and specified process and geometrical boundary conditions, the task is to develop an optimised solution for the client but also for the supplier.

In the present article fundamental aspects relevant for modernisation of lignite firing systems will be discussed. Starting with a description of the general technical approach, concrete measures for optimisation of lignite firing system of several previous projects will be presented.

Clients as well as suppliers find themselves in a debate about technical feasibility and commercial viability of planned measures, considering in addition conflicting aspects such as guarantee values, pricing pressure, risk analysis or project time schedules. Standard procedure is to develop an individual and project specific solution, taking into account actual technical boundary conditions of the plant but also specified future demands.

Plant specific solutions for firing system upgrades may include optimisation of mill performance, pulverised fuel piping, modernisation of burner technology and furnace air staging.

Modernisation of firing systems may be targeted primarily to reduction of emissions. Beyond emission reduction tasks, the Steinmüller Engineering approach has successfully been applied to optimisation of part load characteristics and to reduction of furnace corrosion and slagging propensity.

Einleitung

Das Thema Anlagenertüchtigung ist in Europa unter den sich schnell ändernden Marktbedingungen hoch aktuell. Eine bestehende Anlage zu ertüchtigen ist oftmals wesentlich kosteneffizienter als neue Kapazitäten zu schaffen. Die langfristige Perspektive für Neubauprojekte ist derzeit schwierig abzuschätzen, da der Kraftwerksmarkt einem starken externen Einfluss unterliegt. Aus diesem Grund kommt der Ertüchtigung von Bestandsanlagen zur Zeit eine besondere Bedeutung zu.

Die Beweggründe die zu einer Anlagenertüchtigung führen sind vielfältig:

- Lebensdauerverlängerung
 - Aufgrund von Alterungsprozessen im Kraftwerksbetrieb, wie zum Beispiel Verschleiß, Materialermüdung von druck- und temperaturbeaufschlagten Komponenten, Korrosion und/oder Erosion von rauchgasführenden Elementen, können Maßnahmen zur Lebensdauerverlängerung erforderlich werden
- Verbesserung des Anlagenbetriebs
 - Oftmals ist ein Hauptziel strengere Emissionswerte zu erreichen. Auch eine Wirkungsgraderhöhung oder eine Flexibilisierung der Anlage, wie beispielsweise die Absenkung der Mindestlast, die Erhöhung der Leistung oder die Erweiterung des Brennstoffbandes, kann Zielsetzung einer Ertüchtigung sein.
- Anwendung aktueller Technologien. Ebenfalls mit den Ziel den Anlagenbetrieb zu verbessern, können auch neueste Technologien Anwendung finden, wie zum Beispiel durch Biomasse-(Mit-)Verbrennung, verbesserte Zünd- und Stützfeuerungen, automatische Luvo-Abdichtung, Nachrüstung SCR u. v. m.

Oft bewegt man sich als Lieferant bei Ertüchtigungsprojekten in einem Spannungsfeld gegenläufiger Anforderungen:

Der Kunde hat bestimmte Wünsche (s.o.), die in der Regel in einer Ausschreibung formuliert werden, in der auch eine Datenbasis zur Verfügung gestellt wird. Die technischen Eigenschaften aber auch weitere Anforderungen, wie Terminvorgaben, etc. werden mittels Garantien und Pönalen definiert. Die Projekte sollen eine möglichst kurze Projektlaufzeit bei geringsten Kos-

ten, sowie die beste Technologie mit dem geringsten Risiko liefern. Diese Anforderungen stellen eine Optimierungsaufgabe dar, in der es nicht möglich ist, eine gleichzeitige Maximierung aller Zielerreichungswerte zu realisieren.

So ist die Wirtschaftlichkeit der Ertüchtigung für den Kunden ein wesentlicher Aspekt bei der Entscheidung zur Durchführung und beeinflusst im Weiteren die Auswahl der technischen Umsetzung.

Die „Wirtschaftlichkeit“ aus Sicht des Kunden, ausgedrückt in möglichst geringen Kosten für die Maßnahme, beeinflusst die technische Lösung des potentiellen Lieferanten. Einerseits muss die Erreichung aller geforderten Parameter sichergestellt werden, aber gleichzeitig auch eine „kostenoptimierte“ Lösung erarbeitet werden.

Daraus ergibt sich ebenfalls auch für den Lieferanten eine wirtschaftliche Abwägung des Projekts. Die unter „Kostenoptimierung“ und Vorgabe der technischen Ziele erarbeitete Lösung muss ein beherrschbares Risiko im Hinblick auf die Umsetzung (Zeitvorgaben) und die Erreichung der technischen Parameter ausweisen. Gleichzeitig muss ein dem Aufwand angemessener Erlös erzielbar sein. Erschwerend kommt hinzu, dass die Erarbeitung der Konzeption und die Preisgestaltung unter dem Druck mittlerweile immer zahlreicher werdender Mitbewerber abläuft.

Die Grafik zeigt qualitativ und vereinfacht das Zusammenspiel zwischen Art der technischen Lösung, den technischen Kundenanforderungen, dem Risiko für den Lieferanten und den Kosten.

Die Y-Achse beschreibt jeweils den Grad der Komplexität der Lösung von „einfach“ bis „komplex“, worunter der Aufwand verstanden werden soll. „Einfach“ beschreibt den „Minimalaufwand“, um die technischen Anforderungen zu erfüllen. Unter „komplex“ soll eine insbesondere verfahrenstechnisch aufwendigere Lösung verstanden werden.

Auf der X-Achse in Bild 1, Teilbild a, ist qualitativ die technische Anforderung im Sinne von zu erreichenden verfahrenstechnischen Zielen und Garantiewerten aufgetragen. Hier unterschieden ist die anwendbare technische Lösung in „Low-Tech“ (rot) und „High-Tech“ (blau). Bei geringen Anforderungen können die Ziele mit „Low-Tech“ erreicht werden. Je höher die Anfor-

Autoren

Dr. Stefan Hamel
Head of Combustion Systems

Paolo Schmidt-Holzmann
Department Manager Proposals
Combustion Systems

Dr. Hans-Ulrich Thierbach
Managing Director
Steinmüller Engineering GmbH
IHI Group Company
Gummersbach, Deutschland

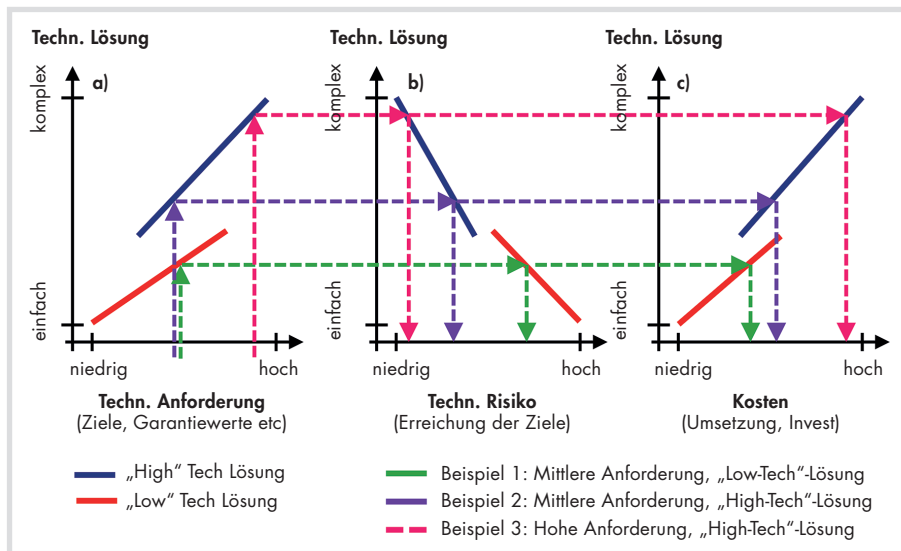


Bild 1 Qualitativer Zusammenhang zwischen technischer Anforderung, Lösung, Risiko und Kosten eines Modernisierungsprojekts.

derungen werden, je aufwendiger wird die „High-Tech“ Lösung, um die Ziele zu erreichen. Unter „High-Tech“ Lösung ist zu verstehen, dass insbesondere verfahrenstechnische Freiheitsgrade berücksichtigt sind, die es im späteren Einstellbetrieb auch bei unvorhergesehenen Einflüssen erlauben, die Ziele zu erreichen.

Es gibt einen Übergangsbereich, in dem die Anforderungen so formuliert sind, dass man sie sowohl mit der „Low-Tech“ als auch mit der „High-Tech“ Lösung erreichen kann.

Projiziert man eine mittlere Anforderung aus Grafik a) auf die Grafik b), kann man bei der „Low-Tech“ Lösung (grüne Linie), die den Minimalaufwand darstellt, gleichzeitig von einem höheren Risiko ausgehen, aber wie in Grafik c) erkennbar, bei geringeren Kosten. Würde man für die gleichen Anforderungen die „High-Tech“ Lösung anwenden (violette Linie), würde man bei der Erreichung der Ziele ein geringeres Risiko erwarten können, bedingt durch die aufwendigere und ggf. neuere Technik und die verfahrenstechnischen Freiheitsgrade. Dies verursacht jedoch einen Preisanstieg (siehe Grafik c).

Ab einem bestimmten Grad der technischen Anforderungen kann man typischerweise die Ziele nur noch mit einer aufwendigeren hier mit „High-Tech“ bezeichneten Lösung erreichen.

Das Beispiel 3 in Bild 1 zeigt qualitativ das grundsätzliche Zusammenspiel. Aus Lieferantensicht würde man gerne mit der „High-Tech“ Lösung arbeiten, um das Risiko bei der späteren Erreichbarkeit der Ziele so gering wie möglich zu halten. Allerdings ist der damit einhergehende höhere Preis oftmals nicht durchsetzbar. Resultat ist, dass i.d.R. die Lösung so einfach wie möglich gestaltet wird, diese allerdings aufgrund der geringeren, insbesondere verfahrenstechnischen, Freiheitsgrade ein höheres Risiko enthält.

Umgekehrt kann man aus Kundensicht interpretieren, dass zu hohe technischen Anforderungen, entweder durch einzelne Anforderungen oder die Kombination mehrerer Merkmale, dazu führen können, dass nur eine kostenintensivere „High-Tech“ Lösung in Frage kommen kann. Hier kann eine Evaluierung der Anforderungen hilfreich sein, um mehrere und damit auch kostengünstigere „Low-Tech“-Lösungen zu ermöglichen.

Randbedingungen

Die Vorgaben für einen Feuerungsumbau beginnen im Normalfall mit der Definition des Brennstoffbandes. Während in einigen Fällen die bestehenden Kohlen als Basis für die Auslegung der zukünftigen emissions-

armen Feuerung zugrunde gelegt werden, ist es jedoch in der überwiegenden Anzahl der Fälle so, dass die Parameter des bestehenden Brennstoffbandes erweitert werden sollen. Ziel des Kunden ist es durch diese Vorgaben etwaige zukünftige Änderungen in der Brennstoffcharakteristik zu berücksichtigen und das Feuerungssystem mit maximaler Variabilität zu gestalten.

Bild 2 zeigt die typische Definition eines Brennstoffbandes (rote Linie) für Braunkohle. Der Aschegehalt über dem Wassergehalt aufgetragen, erlaubt die horizontale Eingrenzung bezüglich des minimalen und maximalen Aschegehalts sowie die vertikale Abgrenzung zum minimalen und maximalen Wassergehalt. Die diagonalen Abgrenzungen ergeben sich aus dem definierten minimalen und maximalen Heizwert. Ebenfalls eingetragen sind die realen vorliegenden Brennstoffanalysen sowie die Definition eines Referenzbrennstoffs.

Die in Bild 2 typische 2-dimensionale Darstellung ist in der Form nur unter der Annahme eines nahezu gleichen Heizwertes der wasser-/aschefreien Substanz korrekt. Dies trifft in guter Näherung für diverse Abbauzonen zu, ist aber nicht allgemein gültig.

Bild 3 zeigt die reale Verteilung des wasser-/aschefreien Heizwertes im Zusammenhang mit den Flüchtigen eines europäischen Braunkohleabbaugebiets.

Das mit dem Feuerungsombau zukünftig geplante Brennstoffband (Bild 2) ist deutlich weiter gefasst, als die vorliegenden Analysen widerspiegeln. Die Anforderungen und die somit geforderte Variabilität soll im Folgenden diskutiert werden.

In der klassischen Braunkohlefeuerung wird Rohbraunkohle mit Hilfe von aus dem

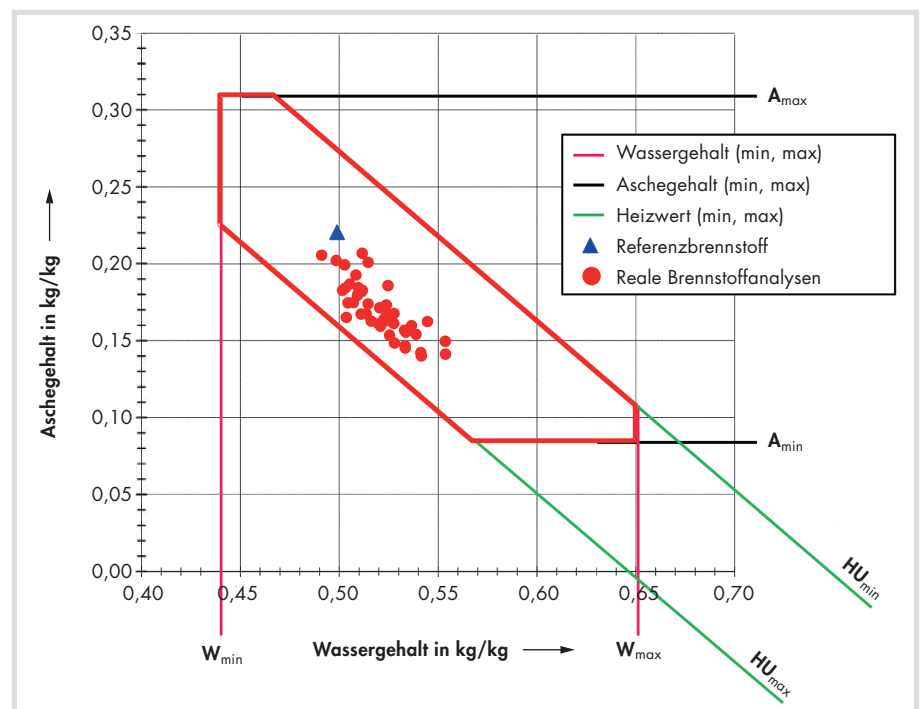


Bild 2. Definition eines Brennstoffbands.

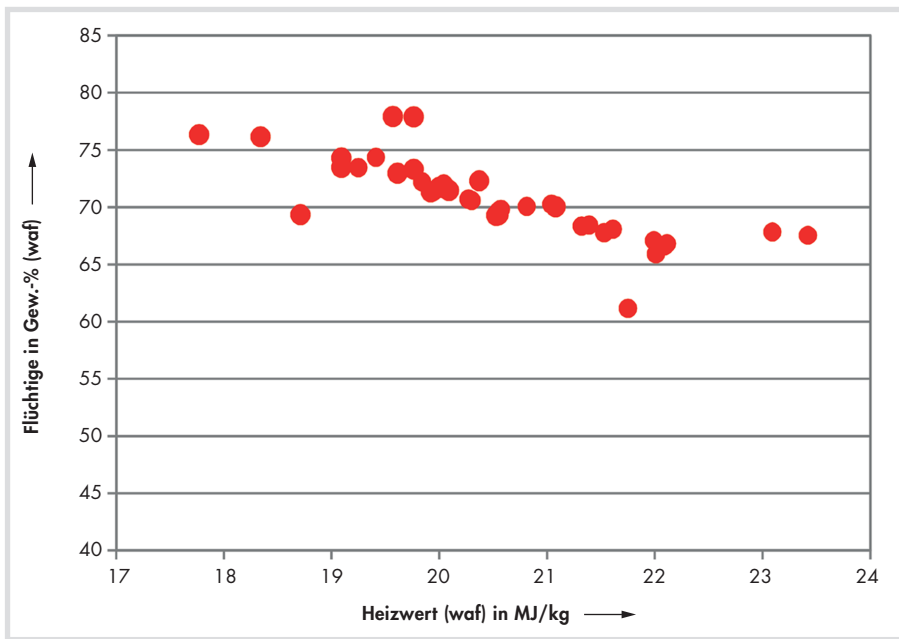


Bild 3. Abhängigkeit des Flüchtigengehalts über dem Heizwert (reale Messungen).

Feuerraum angesaugtem heißen Rauchgas in einer Schlagradmühle simultan getrocknet und zerkleinert. Je nach Temperaturlage des zurückgesaugten Rauchgases muss zur Temperierung Mühlenheißluft (Primärluft) oder kaltes rezirkuliertes Rauchgas zugegeben werden, um die zulässige Temperaturen im Rauchgasrücksaugeschacht nicht zu überschreiten. Nach der Rohkohlezugabe findet eine weitere Abkühlung statt, trotzdem muss die Eintrittstemperatur in die Mühle materialbedingt auf typischerweise 650 °C begrenzt werden. Je nach Kohlequalität kann es erforderlich werden ein Überschreiten der Mühleintrittstemperatur mit weiterer Zugabe von Kaltgas (Primärluft und/oder kaltem Rezigas) zu verhindern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn gute Kohlequalitäten mit geringen Wassergehalten vorliegen. In den meisten der zu ertüchtigenden Braunkohleanlagen wird die Rauchgasrücksaugung mittels Zugabe von Primärluft temperiert. Der Einsatz von

Kohle mit geringen Wassergehalten und der damit verbundenen höheren Zugabe von Primärluft wirkt sich auf den Verbrennungsprozess aus.

Das im Rahmen von Ertüchtigungsmaßnahmen oftmals angestrebte breitere Brennstoffband soll in der Regel mit den vorhandenen Mühlen, welche ursprünglich für ein wesentlich engeres Brennstoffband ausgelegt wurden, ohne oder ggf. nur mit geringfügigen Modifikationen an den Mühlen realisiert werden.

Bild 4 (linker Teil) zeigt beispielhaft für eine ausgeführte Mühle den austretenden Traggasstrom, auch „Mühlenvolumen“ bezeichnet, über dem Verhältnis Primärluftmengen zur Menge des rückgesaugten Rauchgases aus dem Feuerraum. Die dargestellten Kurven, Wassergehalt 30, 40 und 50 Gew.-%, beinhalten bereits die bilanzierten Sperr- und Falschlufthemengen des Projekts. Die Kurven stellen die theoretische Traggasmenge dar, unter der Annahme eines konstanten Kohlemassenstroms

in die Mühle und bei konstanter Mühlenaustrittstemperatur.

Am Beispiel der Kurve „W=40 Gew.-%“ sei das Prinzip erläutert: Bei dem für die Mühlenleistung konstant angenommenen Rohkohlemassenstrom in die Mühle und bei konstanter Mühlenaustrittstemperatur ist die Trocknung theoretisch mit ca. 250.000 m³/h Mühlenvolumenstrom erreichbar, ohne Zugabe von Primärluft. Ob die Mühle in diesem Punkt betreibbar ist, hängt wesentlich vom Regelbereich ab und ob bei dem Mühlenvolumenstrom der Kohleaustrag aus der Mühle gesichert ist. Die konkrete Mühle hat einen Nennvolumenstrom von 350.000 m³/h, was bedeutet, dass in diesem Fall zur Austrittstemperaturhaltung Primärluft zuzugeben ist, da die zurückgesaugte Rauchgasmenge größer ist, als die zur Trocknung benötigte Menge.

Grundsätzlich wird der Einfluss der Brennstoffqualität erkennbar - mit abnehmender Brennstofffeuchte, muss weniger Wärme zur Verdampfung bereitgestellt werden. Bei gleichem Mühlenvolumen, also gleichem austretenden Traggasvolumenstrom nach Mühlenaustritt bzw. nach Siebter, und bei konstanter Siebertemperatur muss zur Temperierung mehr Primärluft zugegeben werden.

Für einen Nenn-Mühlenvolumen von 350.000 m³/h sind einige markante Punkte des bereits beschriebenen Brennstoffbandes eingetragen. Die dargestellten Punkte (A,B,C,D,G) unterstellen im Gegensatz zu den Kurven, die eine konstante Rohkohlemenge in die Mühle voraussetzen, eine konstante thermische Brennstoffleistung der Mühle.

Der definierte Garantiebrennstoff (blaues Dreieck) liegt mit 50 Gew.-% Wasser bei einem akzeptablen Primärluft-zu-Rauchgas-Verhältnis in Anbetracht der Tatsache, dass die ursprünglich Mühlenauslegung für sogar noch höhere Wassergehalte erfolgte.

Der Punkt A markiert den Brennstoff mit dem niedrigsten Wassergehalt und dem höchsten Heizwert. Demzufolge ist der

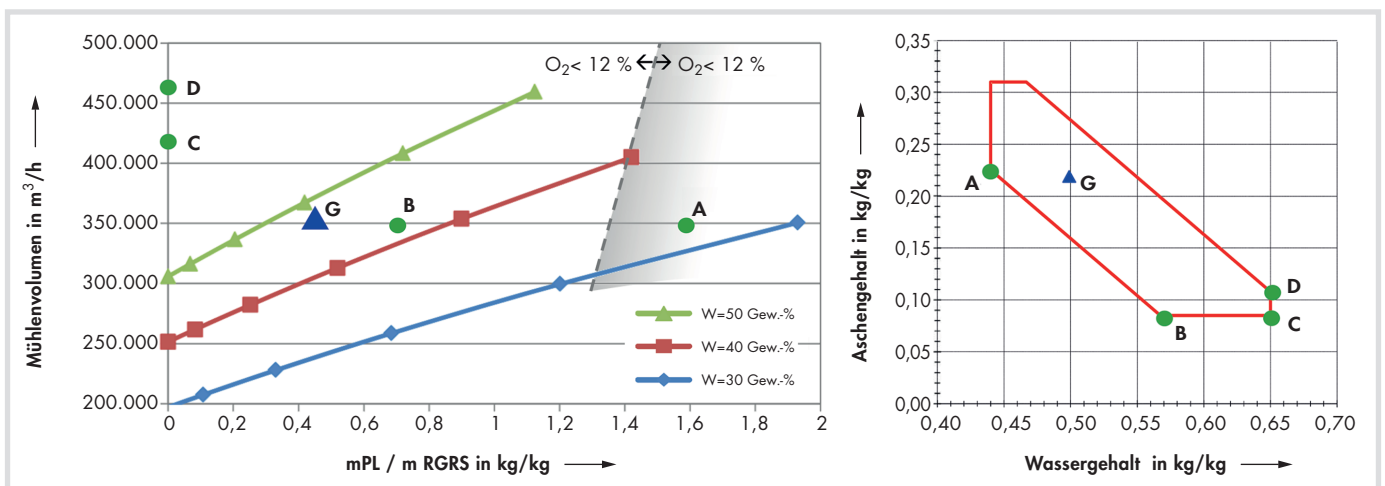


Bild 4. Zusammenhang zwischen Mühlenvolumen und Verhältnis von Primärluft und rückgesaugtem Rauchgas in Abhängigkeit der Brennstofffeuchte unter Annahme einer konstanten Mühlenaustrittstemperatur.

Brennstoffmassenstrom zur Einhaltung einer konstanten thermischen Brennstoffleistung hier am geringsten. Folge ist, dass bei bestehender Mühle mit vorgegebenem Nenn-Mühlenvolumen eine große Menge Primärluft zur Kühlung des rückgesaugten Rauchgases benötigt wird. Der Punkt A liegt darüber hinaus bereits in einem Bereich, in dem für den konkreten Fall die Sauerstoffkonzentration im Traggas Werte von über 12 Vol.-% erreicht (Bild 4 linker Teil).

Punkt B, ebenfalls im Bereich des höchsten Heizwerts, aber bereits mit höherem Wassergehalt (siehe Bild 4 rechter Teil), wandert in Richtung Garantiabrennstoff. Der unter Punkt D markierte Brennstoff mit höchstem Wassergehalt und niedrigstem Heizwert, würde ohne Primärluft auskommen. Um die vergleichbare thermische Leistung zu liefern, müsste die Mühle statt 350.000 m³/h ein Mühlenvolumen von ca. 460.000 m³/h liefern. Das bedeutet, dass die für die gewünschte thermische Leistung erforderliche Brennstoffmenge nicht in der Mühle getrocknet und zu den Brennern transportiert werden kann. Eine Reduktion des Brennstoffmassenstroms bei den Parametern des Punktes D (und auch C) und damit eine geringere thermische Leistung wären die Folge.

Die Primärluftzugabe betrifft nicht nur die direkte Kühlung des rückgesaugten Rauchgases, sondern hat auch Auswirkungen auf die Feuerung. Bild 5 zeigt die Sauerstoffzunahme im Traggas nach Mühle mit zunehmender Primärluftzugabe. In Bild 4 wird der Bereich verdeutlicht, in dem die Sauerstoffkonzentration im Traggas 12 Vol.-% überschreiten kann. Die Erhöhung des Sauerstoffgehalts hat einen negativen Einfluss auf die primäre NO_x-Reduktion durch die höhere Sauerstoffpräsenz im Bereich der Zündung und Entgasung der Kohlepartikel. Bei gleichbleibendem stöchiometrischen Verhältnis im Feuerraum, fehlt darüber hinaus die Primärluftmenge bei der Sekundärluft für den Brenner. Ziel ist, im Rahmen der Brennerauslegung zwischen Sekundärluft und Traggasstrom eine gewünschte Geschwindigkeitsdifferenz einzustellen, die durch die Reduktion der Sekundärluft für ein breit definiertes Brennstoffband nicht gehalten werden kann, was zu einer nicht optimalen Verbrennung führt.

Die breite Definition des Brennstoffbandes hat somit zur Folge, dass die Brenner insbesondere im Hinblick auf die Verbrennungsluftführung ein weites Spektrum abdecken müssen. Bei fester Geometrie der Austrittsquerschnitte kann dem nur entgegengewirkt werden, indem je nach Brennstoffqualität und Mühlenperformance ggf. einzelne Sekundärluftquerschnitte geschlossen werden. Trotzdem hat das unweigerlich zur Folge, dass der Brenner in den Randbereichen des Brennstoffbandes nicht optimal betrieben werden kann.

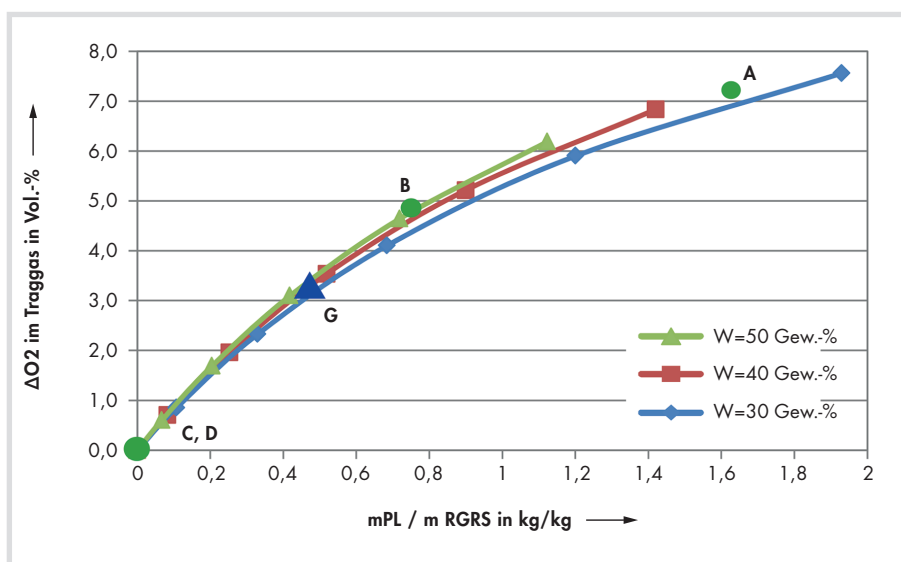


Bild 5. Auswirkung des Verhältnisses von Primärluft zu rückgesaugtem Rauchgas auf den Anstieg des Sauerstoffgehalts im Traggas.

Für Bestandsanlagen wird davon ausgegangen, dass der Feuerungsumbau einerseits den größtmöglichen Teil bestehender Technik wieder verwendet. Daher ist es im Hinblick auf die vom Lieferanten zu garantierenden Parameter umso zwingender, die Performance und den Zustand der Bestandsanlage zu evaluieren, um Schwachstellen rechtzeitig zu erkennen. Daher sind neben der oben beschriebenen Betrachtung des Brennstoffbandes und der Mühlenfahrweise und deren Auswirkung auf den Lufthaushalt der Feuerung und der Brenner, natürlich auch weitere Aspekte beim Umbau zu beachten und zu überprüfen. Zum Beispiel:

- Verfügbare Frischlüfterpressung
- Druckverlustberechnung OFA-Einbau
- Druckverlustbetrachtung Staubleitung und Brenner
- Auswirkungen der Low-NO_x-Fahrweise auf das Verschlackungsverhalten
- Einfluss des Brennstoffbandes und des Low-NO_x-Betriebs auf das Korrosionspotenzial
- Wärmetechnische Bewertung von
 - der veränderten Feuerlage aufgrund der Luftstufung der Low-NO_x-Feuerung
 - Auswirkungen der Erweiterung des Brennstoffbandes auf den Dampferzeuger
 - der Absenkung des Luftüberschusses
- Einfluss auf das Teil- und Schwachlastverhalten
- Zünd- und ggf. Zusatzfeuerung

In alten Bestandsanlagen ist häufig festzustellen, dass große Anteile an Falschlufft in die Feuerung und den Kessel eindringen. Typische Stellen erhöhter Falschluff sind im Bereich

- der Zuteiler
- Rauchgasrücksaugeschächte
- Mühle
- Brennerabdichtung

- Trichter und Entascher oder Nachverbrennungsrost
- Durchtritte aller Art

zu suchen. Je nach Kesseltyp kann auch noch ein gemauerter Kessel vorliegen, der meist erhebliche Falschluffmengen aufweist. Die Falschluffmengen sind i.d.R. im Rahmen eines Projektes zu reduzieren, da sie natürlich jeglichem Low-NO_x-Umbau, der von der möglichst maximalen geregelten und optimal gestalteten Luftzufuhr lebt, entgegenwirken.

Feuerungs-Design

Für den Betrieb einer Feuerung ist die stabile und damit örtlich definierte Zündung eine sicherheitstechnische Grundvoraussetzung. Dies ist auch bei Variation der Brennstoffeigenschaften (s.o.) und/oder aufgrund der sich durch den Lastzustand ändernden Stoffströme am Brenneraustritt in den Feuerraum zu gewährleisten. Darüber hinaus ermöglicht erst die stabile Zündung, die gleichzeitig die Zone der Flüchtigenfreisetzung definiert, eine kontrollierte Einmischung der Luft in den Flammenverlauf und damit den Betrieb nach „Low-NO_x-Charakteristik“.

Bei der Ertüchtigung von Braunkohle-Bestandsanlagen werden verschiedene Maßnahmen angewendet, um die Feuerung an die modernen Anforderungen anzupassen. Bei zahlreichen Altanlagen liegt der Fokus auf der Erreichung der aktuellen Emissionsgrenzwerte, was eine Modernisierung der Feuerung i.d.R. unumgänglich macht.

In der Tabelle 1 sind die typisch angewendeten Maßnahmen zur Umrüstung bestehender „Alt“-Feuerungsanlagen auf „Low-NO_x“-Feuerung aufgeführt.

Die Anpassung beginnt im Bereich der Staubleitungen mit einer Vertrimmung von Brennstoff und Traggas auf die Brenner.

Tab. 1. Maßnahmen zur Umrüstung von Braunkohle-Feuerungsanlagen.

	Maßnahme	Wirkung
Staubleitung	Brennstoffvertrimmung/ Traggasvertrimmung	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung Verweilzeit - Brennstoffanreicherung in Entgasungszone - Vermeidung lokaler Temperaturspitzen - Optimierung der Zündung - Brüdentrennung
Brenner	Radiale Luftstufung	<ul style="list-style-type: none"> - Primäre NO_x-Unterdrückung - Verzögerte Luffeinmischung in Flamme - Verbesserung Wandatmosphäre - Homogene Streckung der Verbrennungszone
	Flammenstabilisatoren	<ul style="list-style-type: none"> - Erzeugung lokaler Turbulenz - Definierte Zündung - Unterstützung der Brennerluftstufung
	Abwärtsneigung	<ul style="list-style-type: none"> - Ausnutzung Reaktionsvolumen - Verlagerung des „Feuers“ nach unten - Verlängerung Verweilzeit
Feuerraum	Einrichten/Optimieren ABL	<ul style="list-style-type: none"> - Luftstufung über FR-Höhe - Optimierung Ausbrand (CO, UV) - Vergleichsmässigung FR-Endtemperatur
	Seitenwandluftdüsen (brennstoffabhängig)	<ul style="list-style-type: none"> - Optimierung Wandatmosphäre - Unterstützung Luftstufung

Diese Form der Brüdentrennung wurde in verschiedenen Projekten erfolgreich mittels sogenannter „Drallkörper“ oder „Swirler“ durchgeführt. Durch die Brennstoffanreicherung in den Hauptbrennern wird nicht nur die Zündwilligkeit bei feuchten Braunkohlen gefördert, sondern durch die intensive Entgasungszone auch die Primärentstickung unterstützt.

Je nach Zustand der Bestandsanlage kann auch ein Eingriff in das System Mühle/Sichter notwendig werden. Ziele sind die Mahlfineinheit zu verbessern, den Durchsatz der Mühle zu erhöhen oder auch eine Reduktion des Mühlenfördervolumens unter Berücksichtigung der Kohleparameter zu erreichen.

Die neuen Brenner werden meist mit einer individuell auf den jeweiligen Kessel angepassten Abwärtsneigung versehen, um das vorhandene Reaktionsvolumen zu nutzen und gleichzeitig die Verweilzeit der Rauchgase in der unterstöchiometrischen Zone zu erhöhen. Grundsätzlich arbeitet Steinmüller Engineering mit sogenannter radialer Luftstufung. Das bedeutet, dass ein Teil der Verbrennungsluft aus dem Tangentialkreis abgelenkt wird, so dass sich ein außenliegender Luftschleier ergibt. Bei klassischen Ausführungsformen der Tangentialwand- oder Eckenfeuerung wird dieses typischerweise durch Ablenkung der horizontalen Verbrennungsluftdüsen erreicht. Beim Steinmüller Engineering „RSM® Lignite Burner“ wird dies durch die einseitig am Staubquerschnitt angeordneten Luftdüsen erreicht. Dadurch wird eine weitere Luftstufung erreicht, bei gleichzeitig außen liegendem Luftschleier, durch den zudem eine Verbesserung der Wandatmosphäre erreicht wird.

Die Zündung wird beim „RSM® Lignite Burner“ zusätzlich durch Flammenstabilisatoren am Staubausritt, sogenannte „Zähne“, begünstigt. Die definierte Zündung und damit Flüchtigenfreisetzung ist Vor-

aussetzung für eine kontrollierte Brennerluftstufung zur NO_x-Vermeidung.

Über die beschriebene Luftstufung am Brenner hinaus, wird eine Feuerraumluftstufung angewendet, um den Brennergürtel mit abgesenkter Luftzahl zu betreiben. Die Zugabe der verbleibenden Verbrennungsluftmenge erfolgt über eine Ausbrandluftzugabe im oberen Feuerraum. Je nach Kohlequalität, insbesondere im Hinblick auf Korrosionsneigung durch z.B. Schwefel- und Chlorgehalt und je nach Verschlackungsneigung, erfolgt eine zusätzliche Wandbeschleierung mit Luft durch Seitenwandluftdüsen.

Staubleitung

Die Staubleitung dient nicht nur als Verbindung zwischen Mühle und Brenner, sondern ihr kommt die wichtige Aufgabe zu, das Verhältnis zwischen Staub und Traggas gemäß den Anforderungen für einen Low-NO_x-Betrieb einzustellen.

Die ursprünglich eingeführte Brüdentrennung diente zur Aufteilung in einen brennstoffreichen und -armen Strom, mit dem Ziel, insbesondere bei Kohlen mit hohen Wassergehalten, eine sichere Zündung zu erreichen. Auch für Kohlen, die keine Zündunterstützung benötigen würden, zeigt sich, dass die Brüdentrennung für den Low-NO_x-Betrieb Vorteile bietet. Die brennstoffreiche Zone im Zusammenwirken mit unter- oder nahstöchiometrischer Verbrennungsluftzugabe, führt zu einer Unterstützung der primären NO_x-Reduktion bzw. -Vermeidung.

Steinmüller Engineering hat dazu erfolgreich das bekannte Prinzip der Staubtrennung mittels Drallkörpern, die in der Staubleitung integriert sind, durchgeführt und optimiert.

Typischerweise werden zwei Drallkörper in die Staubleitung eingebracht. Drallkörper 1, ggf. auch verstellbar, trennt Kohle-

partikel ab, die in den unteren Hauptbrenner gelangen. Der verbleibende Strom wird erneut mittels Drallkörper 2 aufgeteilt, in den Strom, der in Hauptbrenner 2 gelangt und in den Anteil der in den Brüdenbrenner geführt wird. Üblicherweise wird eine Aufteilung von ca. 40 bis 50% des Traggases und 10 bis 20% des Brennstoffs auf den „Brüdenbrenner“ angestrebt. Für die Hauptbrenner wird eine gleichmäßige Verteilung der übrigen Ströme angestrebt.

Basis für die erfolgreiche Anwendung in unterschiedlichen Projekten mit jeweils individuellen Staubleitungsführungen, war eine systematische Untersuchung der Wirksamkeit verschiedener Dralleinstellungen auf die Trennung von Kohlepartikeln und Traggas:

- Kaltmodell:

Errichtung eines physikalischen Modells zur messtechnischen Untersuchung der partikelbeladenen Strömung und deren Trennverhalten mittels Drallkörper. Anhand des „Kaltmodells“ im Labormaßstab (ca. 1:10) wurden umfangreiche Messungen zur Staub- und Gasverteilung in Abhängigkeit verschiedener Parameter, insbesondere unterschiedlicher Drallwinkelkombinationen, durchgeführt.

- CFD-Simulation Kaltmodell

Die experimentellen Ergebnisse aus dem Kaltmodell wurden verwendet, um die Anwendbarkeit von CFD-Tools auf die vorliegende spezielle partikelbeladene Strömung zu überprüfen. Durch Auswahl geeigneter Modelle konnte schließlich eine gute Übereinstimmung der CFD-Simulationen mit den Messungen erreicht werden. Bild 6 zeigt den Vergleich zwischen Messergebnissen und CFD-Simulationen einer der untersuchten Konfigurationen über den Drallwinkel aufgetragen.

- CFD-Simulation reale Staubleitung

Auf Basis der Validierung des CFD-Tools mit den Experimenten, erfolgt die Simulation der realen Staubleitungs-Geometrien hinsichtlich optimaler Kombination der Dralleinstellungen und hinsichtlich optimaler Positionierung der Drallkörper in der Staubleitung sowie die konstruktive Übertragung auf das reale Projekt.

- Überprüfung im Anlagenbetrieb

Nach Umbau der Feuerung wurden an der Anlage umfangreiche Messungen durchgeführt. Es zeigte sich, dass im Rahmen der im Vergleich zur Laboranlage größeren Messunsicherheiten, an der realen Anlage eine gute Übereinstimmung der Auslegung gefunden wurde.

Die oben beschriebene Vorgehensweise hat zu einer validierten Konfiguration des CFD-Tools geführt, mit dem auch in Folgeprojekten die Auslegung der Brüdentrennung erfolgreich durchgeführt wurde. Es ist festzustellen, dass bei der Feuerungs-

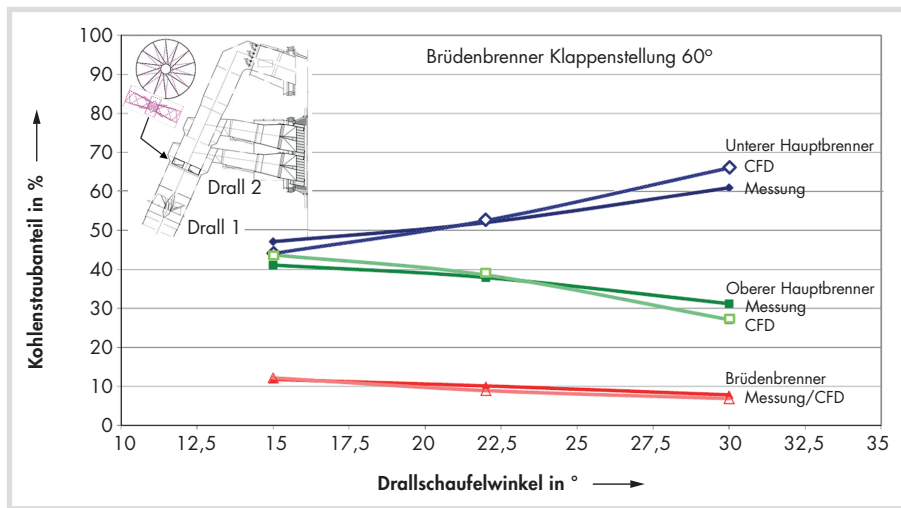


Bild 6. Vergleich von Messungen an einem „Kaltmodell“ und Nachrechnungen mittels CFD.

tüchtigung von Bestandsanlagen meist nicht der optimale Verlauf der Staubleitungen zu realisieren ist. Daher ist die Anwendung des CFD-Tools von größerem Nutzen, da unterschiedliche und gelegentlich komplexe Staubleitungsverläufe zuverlässig simuliert und für die Brüdentrennung optimiert werden können, ohne für die Erfordernisse jeweils ein Kaltmodell errichten zu müssen.

Brenner

Die Aufgabe des Kohlenstaubbrenners ist es, das Traggas-/Kohlenstaubgemisch so mit Verbrennungsluft zu vermischen, dass eine optimale Verbrennung stattfindet. Der Verbrennungsprozess der Partikel soll innerhalb der Brennkammer abgeschlossen sein, wobei eine auf die umgebenden Wände möglichst gleichmäßige Wärmeabgabe angestrebt wird. Diese globale Formulierung birgt verschiedene detaillierte Anforderungen, die sich teilweise aus den heutigen Emissionszielen ergeben.

Das Traggas-/Kohlenstaubgemisch muss so in den Feuerraum eingebracht werden, dass

- eine stabile Zündung,
- die Ausbildung einer unterstöchiometrischen Zone zur primären NO_x-Reduktion,
- die kontrollierte Einmischung der Verbrennungsluft in die Flamme,
- eine vollständige Verbrennung bei möglichst geringem Luftverhältnis,
- minimale Verschlackung der Brennkammerwände,
- bei gleichzeitig günstiger Wandatmosphäre,
- unter Berücksichtigung eines Brennstoffbandes und
- für einen Lastbereich sichergestellt wird.

Bild 7 zeigt verschiedene herkömmliche Brennerspiegel aus Bestandsanlagen, im Vergleich zur aktuellsten Version des Steinmüller Engineering „RSM Lignite

Burner“. Kennzeichnend ist, dass im Gegensatz zu den bekannten „Kernluftkreuzen“ bei klassischen Brennern, beim „RSM Lignite Burner“ ein Teil der Verbrennungsluft über die einseitig vorgesehene sogenannte Seitenkernluft zugeführt wird. Über die Seitenkernluft wird Verbrennungsluft so zugegeben, dass sich aus Sicht der drehenden Hauptfeuerraumströmung außen ein Luftschleier ergibt. Dieser hat mehrere vorteilhafte Eigenschaften. Zum einen wird eine radiale Luftstufung erreicht, so dass eine verzögerte Einmischung in die Flamme und in den „Feuerkreis“ erfolgt. Dies trägt maßgeblich zur Brennerluftstufung und somit zur primären NO_x-Reduktion bei. Gleichzeitig bewirkt die radiale Stufung eine außenliegende höhere Sauerstoffkonzentration, wodurch die Wandatmosphäre deutlich verbessert wird. Dies Konzept bewirkt, im Hinblick auf die Wandatmosphäre und sogar bezüglich der Verschlackungsneigung im Bereich des Brennergürtels, eine deutliche Verbesserungen gegenüber den ursprünglich installierten Brennern.

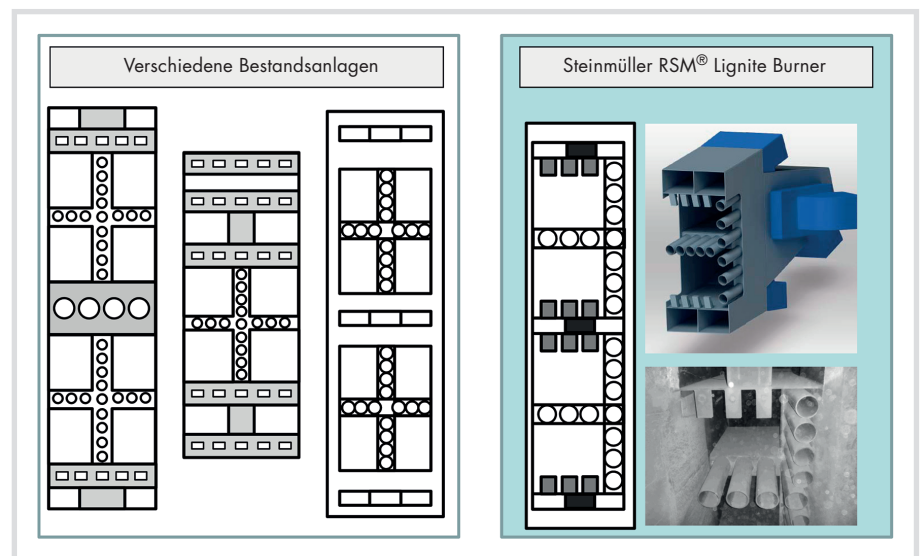


Bild 7. Vergleich „klassischer“ Brennerspiegel mit der aktuellen Version des Steinmüller Engineering „RSM® Lignite Burner“.

Das Bild 7 zeigt die typischen Flammenstabilisatoren, die sogenannten „Zähne“, die im Staubaustrittsquerschnitt eingebracht sind. Die Flammenstabilisatoren schaffen durch die lokal erzeugten Turbulenzen optimale Bedingungen für eine stabile Zündung. Die örtlich definierte flächigenfreisetzung und damit auch die Zündung sind Voraussetzung, damit die vorgesehene Brennerluftstufung zur Primär-NO_x-Reduktion optimal wirken kann.

Feuerraum Luftstufung

Zur Low-NO_x-Betriebsweise zählt auch die Feuerraumluftstufung. Einerseits ist das Ziel den Brennergürtel mit abgesenkter Luftzahl zu betreiben, gleichzeitig muss aber ausreichend Luft zum Erreichen eines vollständigen Ausbrands zugegeben werden. Dies geschieht typischerweise über ein oberhalb des Brennergürtels gelegenes Ausbrandluftsystem (ABL), das bei der Luftzugabe mit hohem Impuls eine möglichst gute Durchmischung mit dem aufsteigendem Rauchgas erreichen soll.

Bei NO_x-Reduktion in einer Bestandsanlage ist meist kein ABL-System vorhanden. Das Ausbrandluftsystem wird dann auf den Feuerraum und auf die modernisierte Feuerung abgestimmt ausgelegt.

Wird eine Feuerungsmodernisierung beabsichtigt, um beispielsweise Teillastfähigkeit zu verbessern oder eine gute Wandatmosphäre sicherzustellen, so kann man oft auf eine bereits vorhandenes ABL-System zurückgreifen. Dies kann in vielen Fällen betrieblich optimiert und an die neuen Gegebenheiten angepasst werden. In seltenen Fällen kann eine Optimierung mit einem Umbau und einer Modifikation verbunden sein.

Anwendungen

Neben der beschriebenen Reduktion der Emissionen von „alten“ Bestandsanlagen,

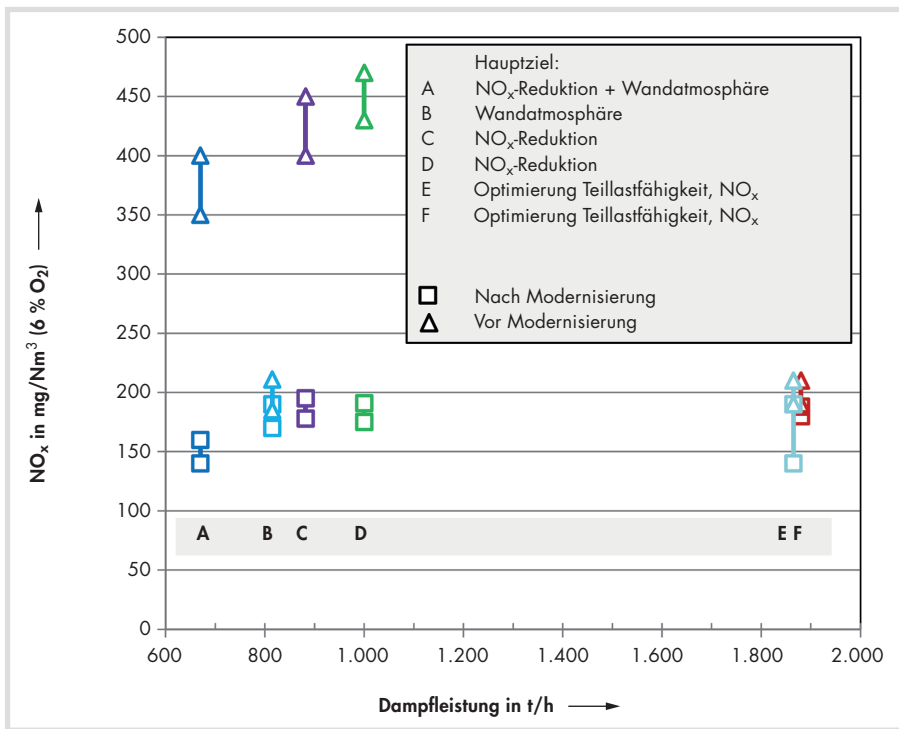


Bild 8. Verschiedene Anwendungsfälle der Steinmüller Engineering Feuerungstechnologie.

kann es zu abweichenden Aufgabenstellungen kommen. Durch die zunehmende Einspeisung regenerativer Energien in das Stromnetz, wächst seit Jahren die Forderung, bestehende Anlagen flexibler in Teillast als auch Minimallast betreiben zu können. Im Rahmen von Flexibilisierungsmaßnahmen werden daher zunehmend Feuerungen optimiert, um auch bei Teil- oder Schwachlast einen sicheren Betrieb, im Hinblick sowohl auf stabile Zündung als auch auf Einhaltung der Emissionsgrenzwerte, zu gewährleisten.

Besondere Aufgaben ergeben sich beispielsweise durch die Brennstoffzu-

sammensetzung in Verbindung mit Low-NO_x-typischen unterstöchiometrischem Betrieb im Brennergürtel, was zu Korrosionserscheinungen an den Verdampferwänden oder Verschlackungsneigung führen kann.

Bild 8 zeigt exemplarisch verschiedene Anwendungsfälle des Steinmüller Engineering Feuerungskonzepts. Während bei den dargestellten Fällen A, C, D die NO_x-Reduktion im Vordergrund stand, war schon bei A und insbesondere bei Fall B das Ziel, Korrosionserscheinungen durch eine verbesserte Wandatmosphäre zu unterdrücken. Dies konnte durch die effektive Beschleierung

der Wände mit Luft erreicht werden (siehe auch Kapitel Brenner-Design).

In anderen Fällen (E, F) lag der Fokus auf der Optimierung der Teillastfähigkeit des Feuerungssystems bei gleichzeitiger Absicherung der NO_x-Werte unter dem Grenzwert.

Zusammenfassung

Bei der Optimierung von Bestandsanlagen bewegt man sich als Lieferant in einem Spannungsfeld zwischen Kundenvorgaben und zu erreichenden Garantien, einem starken Mitbewerberfeld und einer Abschätzung des technischen und finanziellen Risikos. Die Regel ist die Entwicklung einer projektspezifischen Lösung, die alle realen, aktuellen Randbedingungen der Bestandsanlage und ebenfalls die vom Kunden spezifizierten zukünftigen Anforderungen berücksichtigt.

Innerhalb der möglichen Grenzen einer Bestandsanlage beginnt die Feuerungsoptimierung an der Mühle durch Anpassung an das zukünftige Brennstoffband und reicht über die bestmögliche Gestaltung der Staubleitungen zu den Brennern, bis zur Optimierung oder Einführung einer Feuer-raumluftstufung.

Eine Feuerungsoptimierung von Bestandsanlagen kann als Hauptziel die Reduktion der Emissionen auf die gültigen Grenzwerte zum Ziel haben. Die oben beschriebene konzeptionelle Vorgehensweise und Ansätze von Steinmüller Engineering wurden erfolgreich auf Aufgabenstellungen wie „Verbesserung der Teillastfähigkeit“, „Vermeidung von Korrosion“ durch Optimierung der Wandatmosphäre und „Reduzierung der Verschmutzungsneigung“ im Feuerraum angewendet.