



Stand der Entwicklung der WTA-Wirbelschichttrocknung für Braunkohle bei der RWE Power AG

Beitrag aus:

Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energie-
versorgung – Band 2, Oktober 2010

Dr. Hans-Joachim Klutz, Dipl. Ing. Claus Moser, Dipl. Ing.
Ditmar Block, RWE Power AG Köln

Inhaltsverzeichnis

1. Industrielle Bedeutung der Trocknung bei der Nutzung von Braunkohle.....	3
2. Verfahrenstechnische Grundlagen der WTA-Trocknungstechnik.....	4
3. Verfahrensschaltungen der WTA-Trocknungstechnik	10
4. Funktion des WTA-Trockners.....	11
5. Gesamtprozess	12
6. Gebaute Anlagen im Rahmen der WTA-Entwicklung und deren Ergebnisse.....	14
7. Zusammenfassung.....	17
8. Literatur	18

1. Industrielle Bedeutung der Trocknung bei der Nutzung von Braunkohle

Der hohe Wassergehalt der Weichbraunkohle von ca. 50 – 60 Gew.- % ist ein unerwünschter Ballaststoff, der den Heizwert der Kohle absenkt und sich auf die wirtschaftliche Nutzung der Braunkohle negativ auswirkt. Bei Einsatz in konventionellen Kraftwerken wird ein erheblicher Teil der Brennstoffwärme der Braunkohle allein dafür aufgebracht, den hohen Wasseranteil vor der Verbrennung zu verdunsten, und zwar unabhängig davon, ob es sich um staubbefeuerte Dampferzeuger oder Dampferzeuger mit zirkulierender Wirbelschichtfeuerung (ZWS) handelt. Bei beiden Varianten erfolgt die Trocknung auf einem hohen Temperaturniveau von 900 - 1000°C bzw. ca. 800°C und das verdunstete Kohlewasser verlässt das Kraftwerk zusammen mit dem Rauchgas ohne energetische Nutzung.

Wird der Trocknungsvorgang verfahrenstechnisch entkoppelt, bieten sich Möglichkeiten an, die Trocknung auf niedrigerem Temperaturniveau exergetisch effizienter durchzuführen und als separaten Verfahrensschritt zu optimieren. Diese Konzeption hat sowohl bei Dampferzeugern mit Staubfeuerung als auch mit ZWS-Feuerung das Potential, den Wirkungsgrad des gesamten Kraftwerksprozesses deutlich zu steigern. Erfolgt die Stromerzeugung in einem Kombi-Kraftwerk mit integrierter Kohlevergasung oder in einem Oxyfuel-Prozess, ist die Vortrocknung der Braunkohle grundsätzlich erforderlich. Auch hier kann ein energetisch effizientes Trocknungsverfahren dazu beitragen, den Wirkungsgrad weiter zu erhöhen /1/.

Bei so genannten low rank Kohlen, die nicht nur einen hohen Wassergehalt, sondern gleichzeitig auch einen hohen Aschegehalt aufweisen, kann der Heizwert durch eine Vortrocknung so weit angehoben werden, dass sie ohne Stützfeuer anderer Energieträger zur Verbrennung in konventionellen Dampferzeugern eingesetzt werden können.

Als modernes Verfahren zur Aufbereitung und Trocknung von Braunkohle kann die WTA-Technik (WTA = **Wirbelschicht-Trocknung** mit interner **Abwärmennutzung**) für alle vorlaufend genannten Prozesse eingesetzt und an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

Die Wirkungsgradsteigerung, die mit dem WTA-Verfahren bei Integration in einen Kraftwerksprozess erreicht wird, ist wesentlich abhängig von den Randbedingungen des jeweiligen Falls (z. B. Kohlespezifikation, Kraftwerksschaltung, Heizdampfdruck des Trockners), sowie von der Variante der Brüdennutzung, so dass sich keine allgemein gültigen Werte angeben lassen. Für einen Dampf-Kraftwerksprozess liegt auf Basis des unteren Heizwertes H_u die zu erwartende Wirkungsgradsteigerung bei Reduzierung des Wassergehaltes von ca. 51 auf 12 Gew.- % je nach WTA-Variante in einem Bereich von ca. 4 bis 5 %-Punkten. Bei höheren Rohkohle-Wassergehalten steigen die Werte entsprechend an.

Die mit der Stromerzeugung verbundenen Rauchgas-Emissionen sind direkt proportional zu den brennstoffspezifischen Emissionen und der Leistung des Kraftwerks sowie umgekehrt proportional zum Wirkungsgrad des Kraftwerks /2/. Die Wirkungsgradsteigerung, die durch die WTA-Technik erzielt wird, leistet damit einen direkten Beitrag dazu, die Emissionen zu senken und die Umweltfreundlichkeit der Stromerzeugung weiter zu erhöhen.

2. Verfahrenstechnische Grundlagen der WTA-Trocknungstechnik

Angewendete Verfahrensprinzipien

Der WTA-Trockner arbeitet in einer stationären, niedrig expandierten Wirbelschicht bei geringem Überdruck. Die Energieeinkopplung erfolgt fast gänzlich über Wärmetauscher, die in der Wirbelschicht installiert sind, und nur zu einem geringen Anteil über das Fluidisierungsmedium. Durch dieses Prinzip - auch als Kontaktrocknung bezeichnet - kann der erforderliche Begasungsstrom des Trockners unabhängig vom Energiebedarf nur nach strömungsmechanischen Gesichtspunkten bestimmt werden. Aufgrund des guten Wärmeübergangs zwischen Wirbelschicht und eingebauten Wärmetauschern reichen schon geringe Temperaturdifferenzen aus, um kompakte Trockner mit hoher Verdampfungsleistung zu bauen. Da gemahlene, grubenfeuchte Braunkohle wegen der kohäsiven Schüttguteigenschaften als alleiniges Schüttgut nicht oder nur schwer zu fluidisieren ist, ist die Wirbelschicht als Mischbett ausgelegt. Im Mischbett wird das strömungsmechanische Verhalten der Wirbelschicht weitgehend von der gut fluidisierbaren Trockenkohle bestimmt, die durch Rückvermischung als Trägermedium für die kohäsive Rohbraunkohle dient. Im Gegensatz zu den weit verbreiteten rinnenförmigen Wirbelschichtrocknern ist beim Mischbettrockner die Haupttransportrichtung der Kohlepartikel vertikal und die Wirbelschicht hat eine vergleichsweise große Höhe.

Die Trocknung erfolgt in quasi 100 % reinem Wasserdampf, der leicht überhitzt ist. In Abhängigkeit von der Temperatur des Dampfes stellt sich im hygroscopischen Bereich der Braunkohle bei konstantem Druck ein Gleichgewicht zwischen der Temperatur des Dampfes und der Restfeuchte der Trockenkohle ein, das durch die Desorptionsisobare beschrieben wird. Abb. 1 zeigt diese Abhängigkeit für rheinische und australische Braunkohle bei einem Systemdruck von ca. 1,1 bar. Bei einer Temperatur von ca. 110°C (rheinische Braunkohle) bzw. 107°C (australische Braunkohle) stellt sich eine Gleichgewichtsfeuchte von ca. 12 Gew.-% ein. Durch Regelung der Wirbelschichttemperatur kann der Wassergehalt eingestellt und bei dem gewünschten Wert konstant gehalten werden.

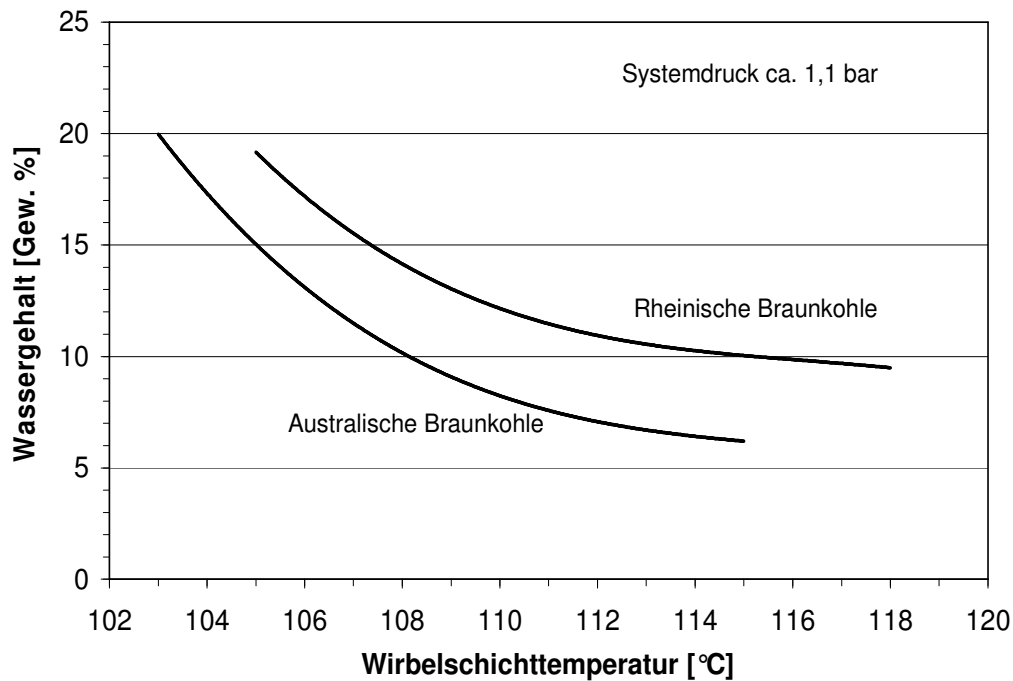


Abb. 1: Desorptionsisobaren rheinischer und australischer Braunkohle

Für die Trocknung wasserhaltiger Schüttgüter hat die Dampftrocknung einige grundsätzliche Vorteile. Die wichtigsten sind:

- Die Trocknung erfolgt unter inerter Atmosphäre, was insbesondere für explosionsgefährdete Schüttgüter (wie z. B. Trockenbraunkohle) zu einem hohen inhärenten Sicherheitspotential führt.
- Die Trocknungsbrüden bestehen quasi zu 100 % aus Wasserdampf, so dass sie isotherm kondensieren. Sie stellen damit eine attraktive Abwärmequelle dar, die energetisch sinnvoll genutzt werden kann.
- Durch die Kondensation der Brüden werden großvolumige Wasserdampf-Emissionen, Staubemissionen und ggfls. Geruchsemissionen durch ausgegaste Begleitstoffe vermieden.
- Gleichzeitig ist das abgegebene Brüdenkondensat eine nutzbare Wasserquelle, die dazu beitragen kann, den Wasserbedarf eines Industriebetriebes zu decken.

Obwohl das Prinzip, feuchte Schüttgüter in überhitztem Wasserdampf zu trocknen, bereits im Jahre 1898 in der Schweiz zum Patent angemeldet wurde /3/, führt diese Variante bis heute in der Trocknungstechnik ein Nischendasein. 1979 haben Potter et al. das Prinzip der Dampftrocknung aufgegriffen und in Laborversuchen nachgewiesen, dass auch Braunkohle in einer stationären Wirbelschicht mit leicht überhitztem Wasserdampf getrocknet werden kann /4/.

Wirbelschichttechnische Variationsparameter

Die Auslegung eines Wirbelschicht-Kontaktrockners kann prozesstechnisch durch die Korngröße der Einsatzkohle, den Systemdruck des Trockners sowie durch den Heizdampfdruck des im Trockner installierten Wärmetauschers variiert werden. Der Einfluss dieser Parameter wurde im Rahmen der Entwicklungsaktivitäten bei RWE Power theoretisch und experimentell intensiv untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Einfluss der Korngröße

Die Wärmeübertragung und Strömungsmechanik von Wirbelschichtprozessen können durch die Variation der Partikelgröße wesentlich beeinflusst werden. Der Wärmeübergangskoeffizient α zwischen der Wirbelschicht und den in ihr eingetauchten Wärmetauschern setzt sich additiv aus dem gaskonvektiven Anteil α_G , dem partikelkonvektiven Anteil α_P und dem Strahlungsanteil α_{Str} zusammen. Über eine Verfeinerung der Partikelgröße kann der partikelkonvektive Anteil α_P wesentlich gesteigert werden, so dass sich infolgedessen auch der für die Auslegung des Wärmetauschers maßgebende Wärmedurchgangskoeffizient entsprechend erhöht. Die Verfeinerung der Korngröße führt weiterhin zu niedrigeren Lockerungspunkten und somit auch zu niedrigeren betrieblichen Fluidisierungsgeschwindigkeiten. Die theoretischen Vorteile einer Verfeinerung der Einsatzkohle konnten mit dem Betrieb der großtechnischen Versuchsanlagen WTA 1 und 2, die RWE Power am Standort Frechen errichtet hat, in vollem Umfang bestätigt werden. Wie Tabelle 1 zeigt, liegt der k-Wert (Mittelwert) des im Feinkornrockner der WTA 2 Anlage installierten Wärmetauschers ca. 70 - 80 % über dem des Grobkornrockners der WTA 1 Anlage, während sich gleichzeitig die erforderliche Fluidisierungsgeschwindigkeit über dem Begabungsboden um ca. 65 % verringerte /5/.

	WTA 1- Grobkorn	WTA 2- Feinkorn
Korngröße Einsatzkohle	ca. 0 - 6 mm	ca. 0 - 2 mm
Fluidisierungsgeschw. (Mittelwert)	0,4 m /s	0,14 m/s
k-Wert (Mittelwerte)		
- Veredlungskohle	ca. 260 W/m ² K	ca. 440 W/m ² K
- Kraftwerkskohle	ca. 230 W/m ² K	ca. 420 W/m ² K
k-Wert (Spitzenwerte)	ca. 340 W/m ² K	ca. 510 W/m ² K

Tab. 1 Charakteristische Betriebsdaten der WTA Grob- und Feinkorn Technik

Einfluss des Systemdrucks

Mit steigendem Systemdruck verschiebt sich die Desorptionsisobare für eine definierte Gleichgewichtsfeuchte zu höheren Dampftemperaturen. Bei RWE Power wurde diese Abhängigkeit in einer Labor-Wirbelschichtanlage, die unter Systemdrücken von 1 - 6 bar betrieben werden kann, für rheinische Braunkohle experimentell untersucht. Wie Abb. 2 am Beispiel einer Gleichgewichtsfeuchte von 12 Gew.-% zeigt, steigt die erforderliche Dampf- bzw. Wirbelschichttemperatur von ca. 110°C auf ca. 165°C an, wenn der Systemdruck von 1,1 auf 6,0 bar angehoben wird. Unter der Annahme einer definierten mittleren Temperaturdifferenz zwischen Wärmetauscher und Wirbelschicht von 30 K, erhöht sich dadurch auch der erforderliche Heizdampfdruck für den im Trockner eingebauten Wärmetauscher, der gemäß Abb. 2 signifikant von 3,7 auf 13,7 bar ansteigt.

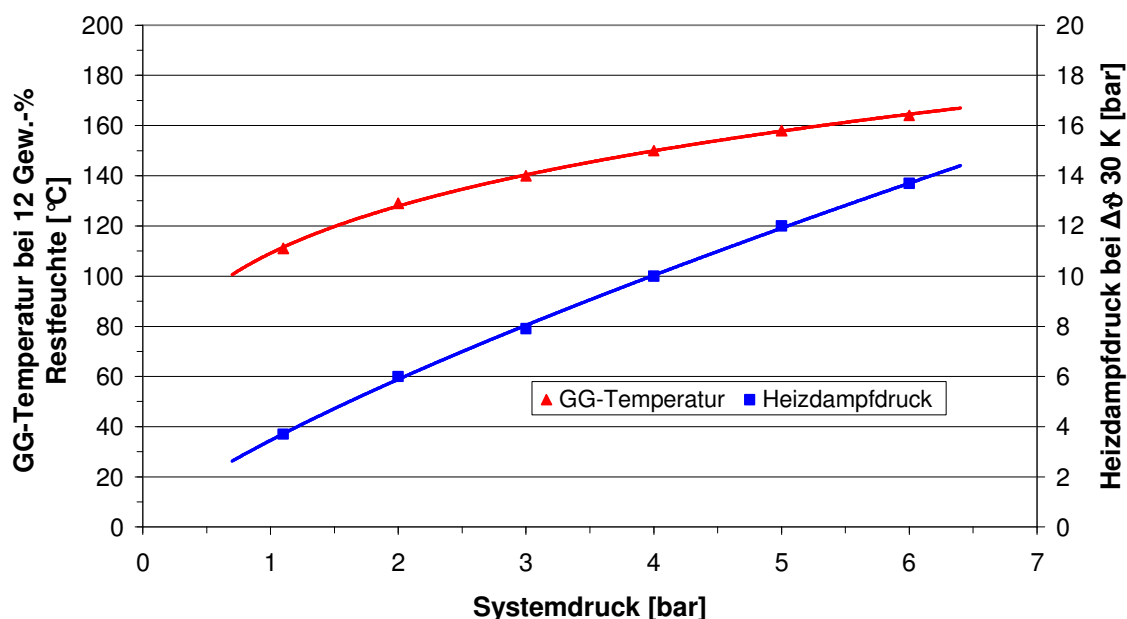


Abb. 2: Gleichgewichtstemperatur rheinischer Braunkohle für 12 % Restfeuchte und erforderlicher Heizdampfdruck bei $\Delta\vartheta = 30$ K in Abhängigkeit vom Systemdruck

Der Wärmeübergang an den Wärmetauschern des Wirbelschichttrockners wird bei steigendem Systemdruck über die Stoffparameter des Gases beeinflusst, die sich im Wesentlichen auf den gaskonvektiven Anteil α_G auswirken, der mit $\alpha_G \sim p^{0,5}$ ansteigt. Beim partikelkonvektiven Anteil α_P wirkt sich eine Anhebung des Systemdrucks sehr viel geringer aus und der Strahlungsanteil α_{Str} ist schließlich unabhängig vom Druck /6/. Der maßgeblich vom Druck abhängige Anteil α_G spielt mit zunehmender Feinheit der Partikel eine geringere Rolle, so dass der Einfluss des Systemdrucks auf den Gesamt-Wärmeübergangskoeffizienten α umso geringer wird, je feinkörniger die Wirbelschicht ist bzw. je dominanter der Anteil von α_P ist. Auf der Basis von Messungen, die bei RWE Power durchgeführt wurden, zeigt Abb. 3 den Effekt des Druckanstiegs für rheinische Braunkohle mit einer Korngröße von 0 - 6 mm /7/ im Vergleich zu

anderen Schüttgütern /8/. Ähnliche Steigerungseffekte werden für Braunkohle auch in /9/ angegeben. Mit der Anhebung des Systemdruckes geht bei konstanter Verdampfungsleistung eine Verringerung der Leerrohrgeschwindigkeit im Trockner einher. Da sich der Lockerungspunkt aber nur wenig mit dem Druck verringert, führt die starke Abnahme der Leerrohrgeschwindigkeit zu einem deutlich reduzierten Blasenvolumenstrom. Beide strömungsmechanischen Effekte verschlechtern die Mischungsintensität von kohäsiver Rohbraunkohle und gut fluidisierbarer Trockenkohle, was insbesondere für den Betrieb von Wirbelschichten mit hoher spezifischer Flächenbelastung von Nachteil ist.

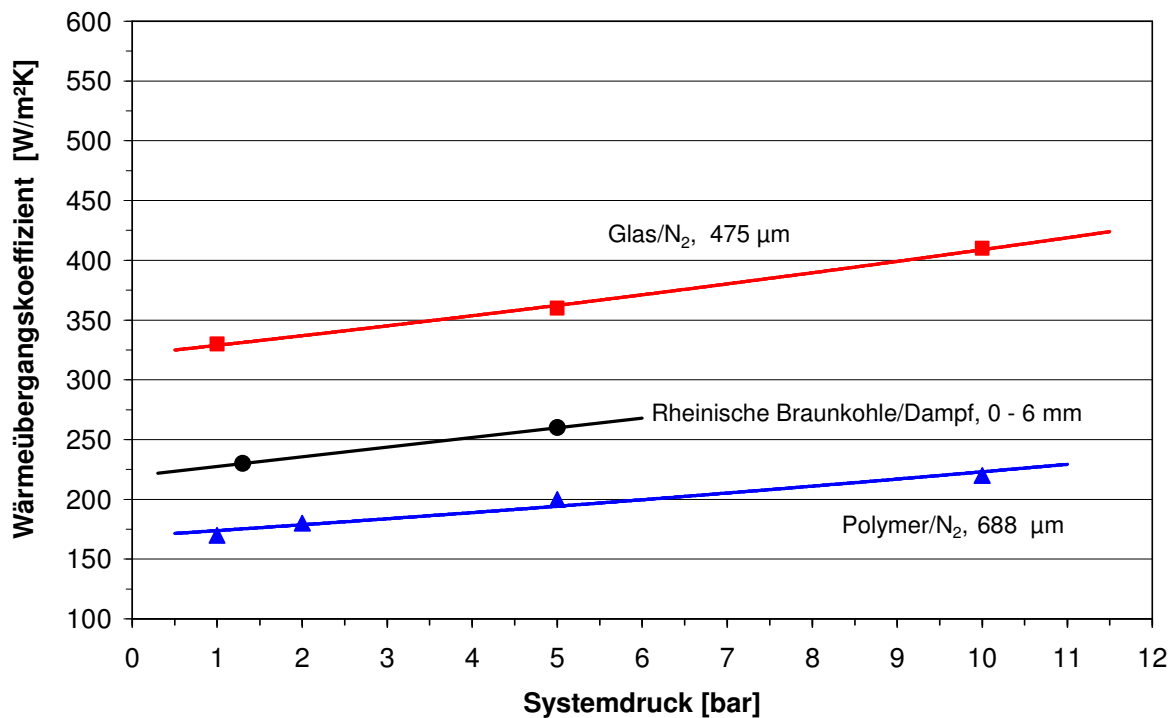


Abb. 3: Wärmeübergangskoeffizienten in Abhängigkeit vom Systemdruck

Einfluss des Heizdampfdruckes

Die Erhöhung des Heizdampfdruckes führt durch Vergrößerung der treibenden Temperaturdifferenz am Wärmetauscher einerseits zu einer kleineren Wärmetauscherfläche bzw. einer kleineren Baugröße des Trockners und damit zu niedrigeren Investkosten, andererseits steigt der spezifische Exergiebedarf des Trockners, was sowohl bei der Beheizung mit Entnahmedampf aus der Kraftwerks-Turbine als auch bei der Beheizung mit rekomprimierten Brüden aus einem Verdichter die Stromerzeugung bzw. den Wirkungsgrad des Kraftwerks mindert. Bei konstanter Wärmeübertragungsleistung bzw. Verdampfungsleistung wird die obere Grenze des Heizdampfdruckes durch strömungsmechanische Aspekte begrenzt. Die untere Grenze des Heizdampfdruckes wird bestimmt durch die maximale Baugröße des Trockners, der als eine Einheit oder in Modulen wirtschaftlich zu fertigen und zu transportieren ist. Innerhalb dieser Grenzen kann der Trockner technisch-wirtschaftlich optimiert werden.

Auswirkungen der Parameter Druck und Partikelgröße auf die Anlagentechnik

Gemäß Tab. 1 führt die Verfeinerung der Einsatzkörnung des Trockners zu signifikant höheren k-Werten, während sich die erforderliche Fluidisierungsgeschwindigkeit am Begasungsboden deutlich verringert. Bei konstanter Trocknungsleistung bedeutet dies: Trockner, Brüdenentstaubung, Fluidisierungsgebläse und die verbindenden Rohrleitungen bauen kleiner und der konstruktive Aufwand für den erforderlichen Stahlbau verringert sich, so dass die gesamte Anlage kompakter wird. Zudem geht der elektrische Leistungsbedarf zurück.

Da die Auslegung des Trockners rein wärmeübergangsbestimmt ist, verkleinert sich der Trockner bei einer Anhebung des Systemdrucks nur in dem Maße, wie sich die Wärmetauscherfläche des Trockners durch einen verbesserten Wärmedurchgangskoeffizienten verringert. Der geringen bisher nachgewiesenen Verbesserung des k-Wertes, die für Grobkornkohle bei ca. 20 % liegt, steht durch die Druckbauweise jedoch ein erheblicher apparate- und maschinentechnischer Mehraufwand gegenüber, der sich auch auf die übrige Anlagentechnik auswirkt. Die hohe Druckdifferenz an den Ein- und Austragssystemen der Kohle führt zudem zu einer höheren Verschleißbeanspruchung und zu höheren Leckagen, deren betriebssichere Ableitung weiteren anlagentechnischen Mehraufwand verursacht.

Um die Auswirkungen der Optimierungsparameter Korngröße bzw. Systemdruck auf die Investkosten zu ermitteln, wurde ein Kostenvergleich auf normierter Basis für folgende Anlagen durchgeführt:

- WTA 2-Anlage Frechen (Feinkorn 0 - 2 mm)
- WTA 2-Anlage Niederaußem (Feinkorn 0 - 2 mm)
- DDWT-Anlage Vattenfall (Systemdruck 6 bar, Grobkorn 0 - 6 mm)

Die Anlagen DDWT und WTA 2 Frechen (Errichtungszustand) haben jeweils keine Brüdenentstaubung, während die WTA 2-Anlage Niederaußem eine Brüdenkondensation mit 2stufiger Wärmeeinkopplung umfasst. Basis des Kostenvergleichs sind für die Drucktrocknung (DDWT) die Angaben nach /10/ und für die beiden WTA-Varianten die Istkosten (gesamte Anlagenkosten incl. Engineering und Montage). Alle Zahlenwerte wurden auf der Basis von Angaben des Statistischen Bundesamtes auf den Preisstand von 2010 aktualisiert. Zur Ausschaltung von baugrößenabhängigen Kosteneffekten wurden die betrachteten Anlagen auf eine fiktive Einheitsgröße über Degressionsrechnung normiert. Wie das Ergebnis des Vergleichs in Abb. 4 zeigt, liegen die Kosten der Drucktrocknung DDWT erwartungsgemäß deutlich über denen der WTA-Varianten. Die Mehrkosten betragen gegenüber der WTA 2 Frechen ca. Faktor 3,2 und gegenüber der WTA 2 Niederaußem mit Brüdenkondensation ca. Faktor 1,9.

Da den deutlich höheren Investkosten durch die Anhebung des Systemdrucks keine entscheidenden Vorteile in anderen Bereichen gegenüberstehen, hat sich RWE Power bei der

Weiterentwicklung der WTA Grobkorn Trocknung für die Verfeinerung der Einsatzkörnung entschieden.

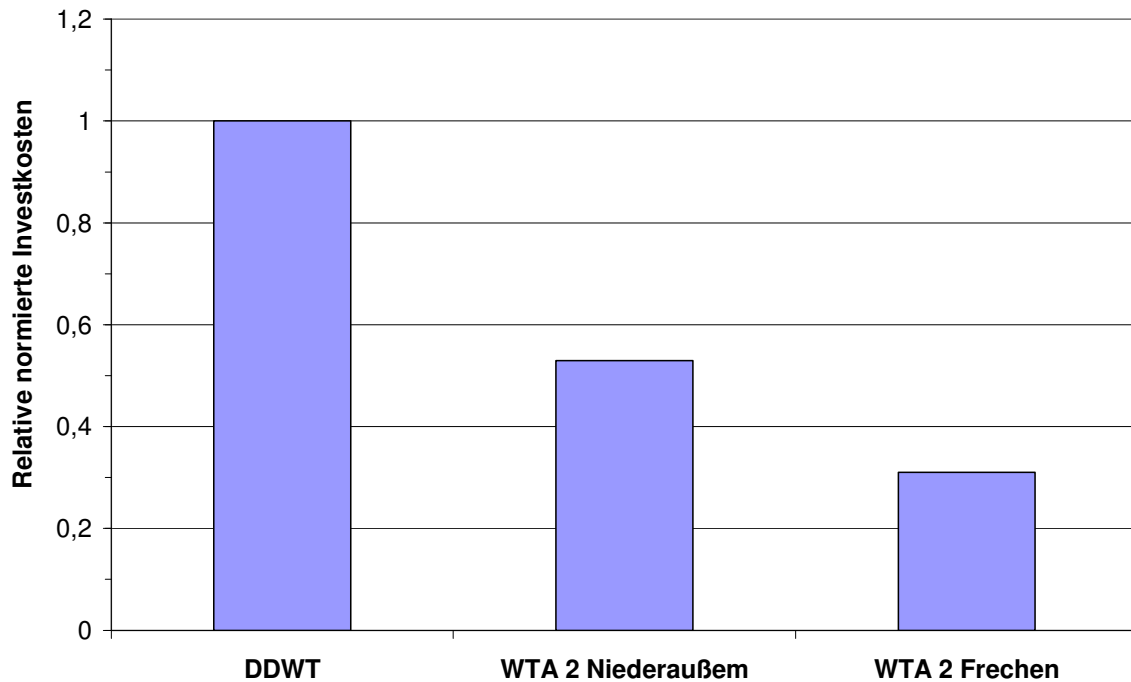


Abb. 4: Investkostenvergleich zwischen DDWT und WTA Feinkorn Technik auf normierter Basis

3. Verfahrensschaltungen der WTA-Trocknungstechnik

Varianten der energetischen Brüdennutzung

Durch eine energetische Nutzung der aus dem Trockner austretenden Brüden kann der thermische Energiebedarf des Trockners in der Gesamtbilanz deutlich reduziert werden. Für die Brüdennutzung kommen grundsätzlich folgende Verfahrensvarianten in Frage:

- Mechanische Verdichtung der Brüden in einem offenen Wärmepumpen-Prozess
- Direkte Kondensation der Brüden in einer prozesstechnischen Wärmesenke
- Entspannung der Brüden in einer Kondensationsturbine

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung, das WTA-Verfahren in Abhängigkeit von unterschiedlichen Randbedingungen und Anforderungen jeweils optimal in einen Gesamtprozess zu integrieren, wurde von RWE Power sowohl die Brüdenverdichtung als auch die Brüdenkondensation bis zur großtechnischen Einsatzreife entwickelt.

Die mechanische Brüdenverdichtung wird als offener Wärmepumpenprozess so in den Trocknungsprozess integriert, dass der Brüden zur direkten Beheizung des Wärmetauschers im Trockner dient. Wird die fühlbare Wärme des Brüdenkondensates ex Wärmetauscher im WTA-Prozess zur Vorwärmung der Rohbraunkohle genutzt, arbeitet der WTA-Prozess bei einer

Trocknung von > 55 % auf 12 Gew.- % Wassergehalt quasi dampfautark, d. h. dem Wärmetauscher des Trockners wird kein externer Dampf aus dem Kraftwerksprozess zugeführt.

Die Brüdenkondensation wurde für 2 alternative Einsatzzwecke entwickelt: Zum einen für die Vorwärmung von Kesselspeisewasser, zum anderen für die Erzeugung von Sekundärdampf. Die Entspannung der Brüden in einer Kondensationsturbine wurde nach intensiven theoretischen Untersuchungen nicht weiterverfolgt, da diese Variante anlagentechnisch aufwändig ist und keine Wirkungsgradvorteile gegenüber der Brüdenverdichtung bietet.

Die Brüdenverdichtung - mit und ohne Kohlevorwärmung - ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn Braunkohlen mit hohem Wassergehalt zu trocknen sind und im Gesamtprozess keine oder nur sehr geringe Wärmesenken vorhanden sind. Für Braunkohle mit geringeren Wassergehalten und einer ausreichend hohen Wärmesenke ist die WTA-Variante mit Brüdenkondensation insbesondere wegen der niedrigeren Investkosten eine attraktive Alternative.

Varianten der Einsatzkörnung

Das WTA-Verfahren wurde für 2 verschiedene Einsatzkorngößen entwickelt: Die Grobkorn-WTA arbeitet mit einer Korngröße der Einsatzkohle von 0 - 6 mm, die Feinkorn WTA mit einer Korngröße von 0 - 2 mm. Die Grobkornvariante kommt dann zum Einsatz, wenn die Trockenkohle aus Gründen des nachfolgenden Prozesses eine bestimmte Mindestkorngöße haben muss, z. B. für die Vergasung im HTW-Verfahren oder für die Verkokung von Braunkohle. Für alle anderen Prozesse ist die Feinkorn-Variante wegen der besseren wärmetechnischen und strömungsmechanischen Randbedingungen in der Regel die technisch und wirtschaftlich attraktivere Variante. Insbesondere als Vortrocknungsstufe konventioneller Kraftwerke hat die Feinkorn-WTA Vorteile, da die erzeugte Trockenkohle nicht oder nur mit geringem Aufwand nachgemahlen werden muss.

Für die Feinmahlung der grubenfeuchten Braunkohle hat RWE Power ein Verfahren entwickelt, das speziell abgestimmt ist auf die Belange der Braunkohle und der nachfolgenden Wirbelschichttrocknung. Es besteht aus zwei in Reihe geschalteten Mahlstufen, in denen die Kohle von ca. 0 - 80 mm Korngröße auf die gewünschte Korngröße von 0 - 2 mm zerkleinert wird. Aufgrund der kompakten Bauweise kann die Feinkormahlung als vorgeschaltete Verfahrensstufe direkt in den Trocknungsprozess integriert werden.

4. Funktion des WTA-Trockners

Die Rohbraunkohle wird über eine Zellenradschleuse in den Trockner eingetragen, der unter einem leichtem Überdruck steht. Mit einem speziell für die WTA-Technik entwickelten System, das im oberen Teil des Trockners installiert ist, wird die zugeführte Braunkohle gleichmäßig auf die Wirbelschichtoberfläche verteilt. Im mittleren Bereich des Trockners befindet sich die eigentliche Wirbelschicht mit den eingebauten Rohr-Wärmetauschern. Die Beheizung erfolgt mit

Niederdruckdampf oder alternativ (in Abhängigkeit von der Verfahrensvariante) mit rekomprimierten Brüden; der Druck beträgt jeweils ca. 3 - 4 bar. Zur Fluidisierung der Wirbelschicht, die eine Gesamthöhe von etwa 3,5 m hat, wird ein Begasungssystem eingesetzt, das auf die besonderen Bedingungen der Trocknung von Braunkohle abgestimmt ist. Unter der Begasungsebene bildet sich ein Festbett, aus dem die trockene Kohle über geeignete Systeme ausgetragen wird. Das verdampfte Kohlewasser wird über Kopf aus dem Freeboard abgezogen. Abb. 5 zeigt den schematischen Aufbau des Trockners. Er zeichnet sich durch eine hohe spezifische Leistung und eine besonders kompakte Bauweise aus. Der Trockner der WTA 2 Anlage Niederaußem (Daten siehe Tabelle 2) hat eine Gesamtbauhöhe von < 10 m.

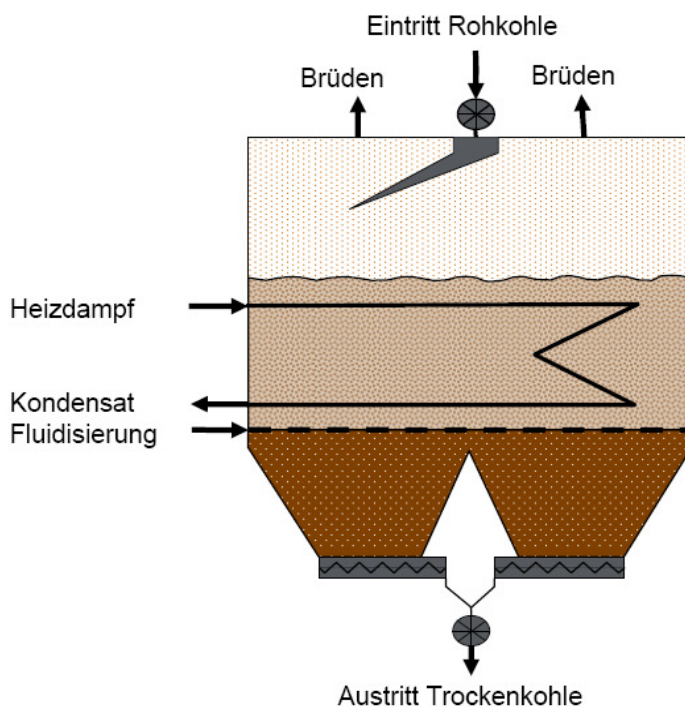


Abb. 5: Aufbau des Trockners

5. Gesamtprozess

Abb. 6 zeigt den Gesamtprozess in der Variante der Feinkorn-WTA mit vorgeschalteter Feinkormahlung und integrierter mechanischer Brüdenverdichtung zur Nutzung der Brüdenenergie innerhalb des Trocknungsprozesses. Das ausgedampfte Kohlewasser (Brüden) wird nach der Entstaubung im Elektrofilter mit einem Verdichter auf ca. 3 - 4 bar rekomprimiert, so dass die Brüden für die Beheizung des im Trockner installierten Wärmetauschers genutzt werden können. Die fühlbare Wärme des anfallenden Brüdenkondensates dient zur Vorwärmung der Rohbraunkohle auf ca. 65 – 70°C und trägt damit wesentlich zur Deckung des Energiebedarfs des Trockners bei. Eine Teilmenge des gereinigten Brüdens wird rezirkuliert und zur Fluidisierung der Wirbelschicht eingesetzt. Die Trockenkohle wird gekühlt und - falls

erforderlich - mit einer im Prozess integrierten Mühle auf eine Korngröße von 0 - 1 mm nachgemahlen, so dass sie direkt zur Feuerung im Kraftwerk eingesetzt werden kann.

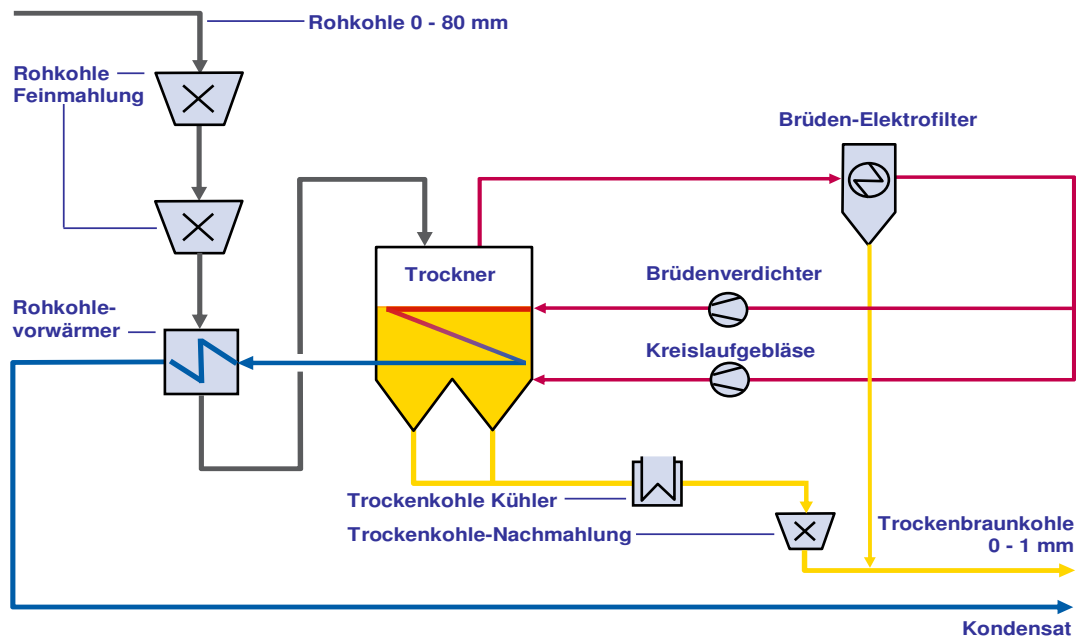


Abb. 6: WTA Variante mit integrierter Brüdenverdichtung und Kohlevorwärmung

Abb. 7 zeigt den Gesamtprozess in der Variante der Feinkorn-WTA mit vorgeschalteter Feinkormmahlung und nachgeschalteter Brüdenkondensation zur Vorwärmung von Kesselspeisewasser aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf des Kraftwerkes.

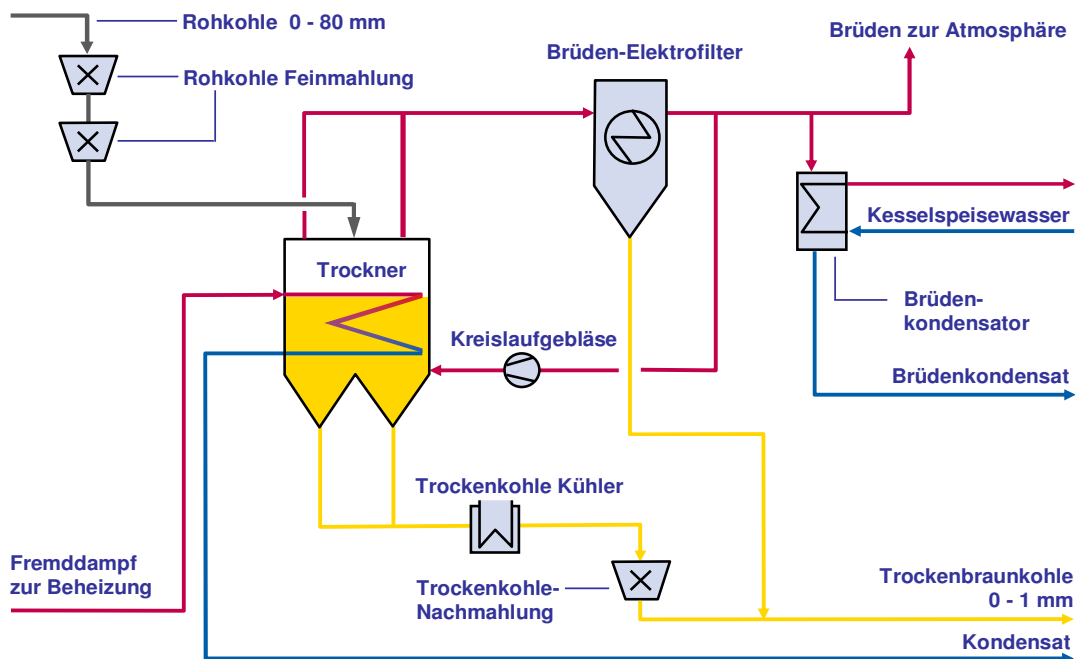


Abb. 7: WTA Variante mit Brüdenkondensation

Abb. 8: zeigt eine Low-cost Variante ohne Brüdennutzung, wie sie z. B. zur Verbesserung des Heizwertes von Low-rank Kohlen eingesetzt werden kann /11/ .

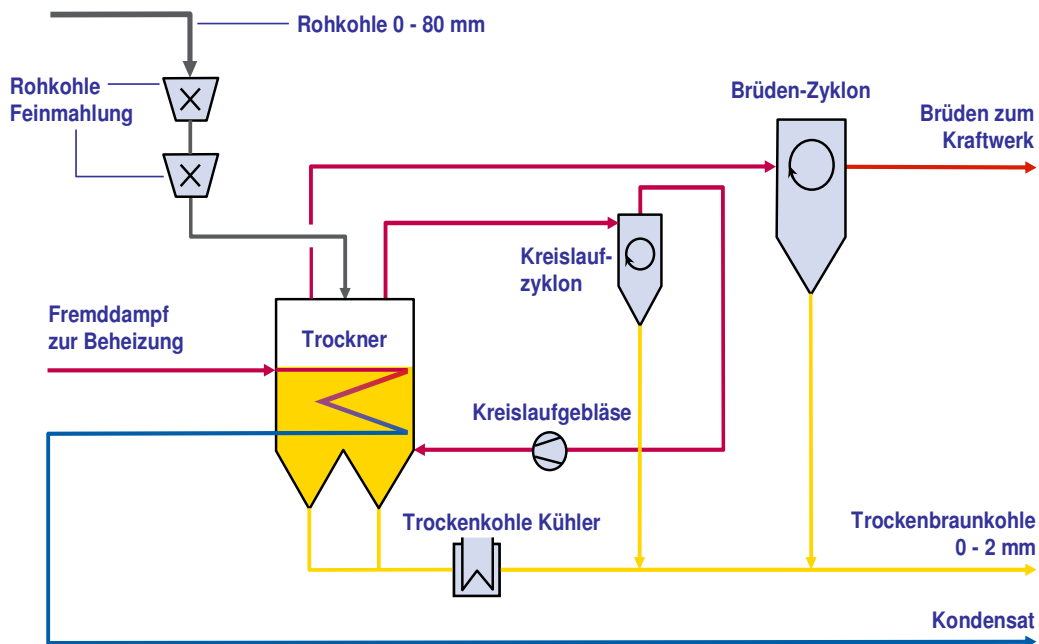


Abb. 8: WTA als Low-cost Variante

6. Gebaute Anlagen im Rahmen der WTA-Entwicklung und deren Ergebnisse

Die Entwicklung der WTA-Technik basierte zunächst auf einer Korngröße von 0 - 6 mm, wie sie in der Kohleveredlung üblich und wie sie für den Einsatz in der HTW-Vergasungstechnik notwendig ist. Für diese Einsatzkörnung wurden in einem 2stufigen Entwicklungsprozess die WTA Grobkorn-Anlagen (WTA 1-Technik) in Frechen und Niederaußem gebaut. Die weiteren Arbeiten zur Steigerung der technischen und wirtschaftlichen Effizienz führten zur Entwicklung der WTA Feinkorn-Anlagen (WTA 2-Technik), die in der ersten Entwicklungsstufe wieder am Standort Frechen und in der zweiten Stufe mit einem Scale up von 8 in Niederaußem errichtet wurden. Gemäß der Aufgabenstellung, das WTA-Verfahren in Abhängigkeit von verschiedenen Randbedingungen und Anforderungen jeweils optimal in einen Gesamtprozess zu integrieren, wurden die Anlagen mit unterschiedlichen Brüdennutzungskonzepten ausgerüstet.

WTA 1 Anlage Frechen

Die WTA 1 Anlage am Standort Frechen ist eine Grobkorn-Trocknung mit integrierter Brüdennutzung und Kohlevorwärmung /12/. Die Korngröße der Einsatzkohle liegt im Bereich von 0 - 6 mm, die der Trockenkohle bei ca. 0 - 5 mm. Der Verfahrensablauf entspricht der

Darstellung in Abb. 6. Der Wärmetauscher des Trockners ist mit einem CIP-System ausgerüstet, um im Dauerbetrieb auftretendes Fouling schnell und wirkungsvoll entfernen zu können. Die WTA 1 Anlage ist im Verbund mit der Kohleveredlung in Summe über 20.000 Stunden mit hoher Verfügbarkeit in Betrieb gewesen. Das hier weltweit erstmals in der Braunkohlentechnik eingesetzte Brüdenverdichtungssystem zur Beheizung des Trockners hat sich außerordentlich gut bewährt. In der Regel wurden aschearme Veredlungskohlen eingesetzt; in einigen Sonderversuchen aber auch unterschiedliche Kesselkohlen des rheinischen Reviers. Die Leistungsdaten sind der Tab. 2 zu entnehmen. Abb. 9 zeigt ein Foto der Anlage zusammen mit der später gebauten WTA 2 Anlage.



Abb. 9: Foto der WTA 1 Anlage (linker Teil) und WTA 2 Anlage (rechter Teil) Frechen

WTA 1 Anlage Niederaußem

Die WTA 1 Anlage am Standort Niederaußem wurde ebenfalls als Grobkorn-Trocknung mit integrierter Brüdenverdichtung ausgelegt, sie enthält jedoch keine Kohlevorwärmung. Die Korngröße der Einsatzkohle und der Trockenkohle liegt im Bereich der Daten der WTA 1 Anlage Frechen. Zum Ausgleich der Energiebilanz (wegen des fehlenden Kohlevorwärmers) wird ein Teil der im Trockner installierten Wärmetauscher mit ND-Dampf aus dem Kraftwerksnetz beheizt. Die Anlage wurde wegen Insolvenz des Anlagenbauers nur für kurze Zeit im Verbund mit dem Block H des Kraftwerks Niederaußem betrieben. Die Leistungsdaten sind der Tab. 2 zu entnehmen.

WTA 2 Anlage Frechen

In der WTA 2 Anlage Frechen wurde erstmals das Prinzip der Feinkorn-Trocknung im industriellen Maßstab erfolgreich getestet. Die Korngröße der Einsatzkohle liegt im Bereich von 0 - 2 mm, die der Trockenkohle bei ca. 0 - 1 mm. Die in Abb. 9 dargestellte Anlage wurde unmittelbar neben der WTA 1 Anlage errichtet, so dass die Infrastruktur (Betriebsmittel, Ver- und Entsorgung) mit genutzt werden kann. Der Verfahrensablauf entspricht weitgehend der Darstellung in Abb. 8. Um die WTA 2 Anlage möglichst variabel mit verschiedenen Braunkohlesorten versorgen zu können, wurden zwei Versorgungssysteme vorgesehen: Das 1. System dient zur Versorgung mit ascheärmer Kohle, die eine Korngröße von 0 - 6 mm hat und in den Anlagen des Veredlungsbetriebes Frechen aufbereitet wird; über das 2. System wird extern beigestellte Kohle (z. B. für Kundenversuche) mit einer Korngröße von 0 - max. 100 mm aufgegeben. Aufgrund der sehr guten Betriebsergebnisse konnte die ursprüngliche Auslegungsleistung in 3 Optimierungsschritten um ca. 64 % gesteigert werden. Im Zuge der Optimierungsmaßnahmen wurde auch eine Teilanlage zur Kondensation der Brüden mit dem Ziel der Vorwärmung von Kesselspeisewasser nachgerüstet. Die Anlage war bisher in Summe 8.000 Stunden problemlos in Betrieb und wird heute im Rahmen der internationalen Vermarktung der WTA-Technik für die Durchführung von Kundenversuchen eingesetzt.

WTA 2 Anlage Niederaußem

Die WTA 2 Anlage Niederaußem ist eine Feinkorn-Trocknung mit integrierter Brüdenkondensation zur 2stufigen Vorwärmung von Kesselspeisewasser. Mit einem Rohkohleeinsatz von 210 t/h ist sie die weltweit größte Trocknungsanlage für Braunkohle. Die Korngröße der Einsatzkohle liegt im Bereich von 0 - 2 mm, die der Trockenkohle bei 0 - 1 mm. Die in Abb. 10 dargestellte Anlage wurde unmittelbar neben dem BoA Block des Kraftwerks Niederaußem errichtet. Hier wird erstmals das betriebstechnische Zusammenspiel von Kraftwerk und Vortrocknungsanlage in einem großtechnischen Maßstab erprobt. Der Verfahrensablauf geht aus der Darstellung in Abb. 7 hervor. Die WTA 2 Anlage Niederaußem ist die letzte Entwicklungsstufe vor der kommerziellen Einführung und die Anlagengröße entspricht der Größe, die auch für spätere kommerzielle Anlagen vorgesehen ist. Die Auslegung der Anlage basiert mit einem Scale-up von ca. 8 auf den spezifischen Leistungsdaten der WTA 2 Anlage Frechen. Die erste Rohbraunkohle wurde im Dezember 2008 getrocknet. Durch unerwartet viele anlagentechnische Probleme im konventionellen (nicht WTA-spezifischen) Bereich hat sich die weitere Inbetriebnahme erheblich verzögert. Inzwischen sind diese so weit behoben, dass die Anlage in längeren Betriebsphasen störungsfrei läuft und spezifikationsgerechte Trockenkohle mit guter zeitlicher Konstanz produziert. Bis zum Erreichen der vollen Auslegungsleistung sind noch weitere Optimierungsmaßnahmen erforderlich. Die Leistungsdaten der WTA 2 Anlage Niederaußem sind der Tab. 2 zu entnehmen.



Abb. 10: Foto der WTA 2 Anlage Niederaußem

Leistungsdaten	WTA1 Frechen	WTA1 Niederaußem	WTA2 Frechen	WTA2 Niederaußem
Rohkohledurchsatz	53 t/h	170 t/h	29 t/h	210 t/h
Wasserverdampfung	25 t/h	80 t/h	13 t/h	100 t/h
Trockenkohleproduktion	28 t/h	90 t/h	16 t/h	110 t/h

Tab. 2 Leistungsdaten der WTA-Anlagen von RWE Power

7. Zusammenfassung

Die WTA-Technik ist ein wichtiges Element der Anstrengungen von RWE Power, die Effizienz der Stromerzeugung weiter zu steigern. In Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen und Randbedingungen wurden verschiedene Verfahrensvarianten entwickelt, die es ermöglichen, die Vortrocknung optimal in den Kraftwerksprozess zu integrieren. Auch als Vorstufe von Vergasungsprozessen auf Basis von Braunkohle trägt die WTA-Technik dazu bei, den gesamten Prozess der Kohleumwandlung energetisch zu optimieren. Durch den Bau und Betrieb der WTA Anlagen in den verschiedenen Entwicklungsstufen konnte die industrielle Einsatzreife nachgewiesen werden.

8. Literatur

- 1 J. Lambertz, J. Ewers: Clean Power - Die Antwort der Kraftwerkstechnik auf die Herausforderungen der Klimavorsorge; VGB PowerTech, 2006; Nr. 5, S. 72 - 77
- 2 G. Göttlicher: Entwicklungsmöglichkeiten der CO₂ Rückhaltung in Kraftwerken aus thermodynamischer Sicht; Chem.-Ing.-Techn, 78 (2006), Nr. 4, S. 407 - 415
- 3 Schweizer Patentschrift Nr. 17225 vom 15. Juni 1898
- 4 O. E. Potter, A. J. Keogh: Cheaper power from high-moisture brown coals part I/II; Journal of the Institute of Energy, September 1979, S. 143 – 149
- 5 H.-J. Klutz, C. Moser, D. Block: WTA-Feinkorntrocknung, Baustein für die Braunkohlekraftwerke der Zukunft; VGB PowerTech, 2006; Nr. 11, S. 57 - 61
- 6 H. Martin: in VDI-Wärmeatlas, Kap. Mf , 10. Auflage 2006
- 7 F. Buschsiewecke, J. König: Untersuchungen zur Braunkohlentrocknung in einer druckaufgeladenen Dampfwirbelschicht; VDI Bericht 145, 1999
- 8 A. M. Xavier et al: Proc. Int. Fluidization Conf., Plenum Press, New York 1980
- 9 J. S. Martin, O. Höhne, H.-J. Krautz: Druckaufgeladene Dampfwirbelschichttrocknung als Weg zur Effizienzsteigerung von Braunkohlenkraftwerken: Betriebsergebnisse vom Versuchstrockner der BTU Cottbus; VDI-Bericht Nr. 1888, 2005
- 10 Pressemitteilung Vattenfall Europe vom 28.11.2007
- 11 M. Erken, H.-J. Klutz, A. Schieb: Fortschrittliche Vortrocknung für niederkalorige Kohlen; Surface Mining, 51 (1999), Nr.2
- 12 H.-J. Klutz, K.-J. Klöcker, J. Lambertz: Das WTA-Verfahren als Vortrocknungsstufe für moderne Kraftwerkskonzepte auf Basis Braunkohle; VGB Kraftwerkstechnik, 76 (1996), Heft 3