

BWV-Verbrennungstechnologie für Energieerzeugung aus Abfall

– Eine Fallstudie: Reno Nord, Linie 4. Abfallverbrennungsanlage mit hohem Wirkungsgrad –

Hans Bøgh Andersen

1.	I/S Reno Nord, Linie 4	182
1.1.	Projekt	182
1.2.	Anlagenkonzept	186
2.	Betriebserfahrungen – Leistungen	205
2.1.	Erzielte Leistung bei Gegenüberstellung mit Garantien	205
2.2.	Das erste Betriebsjahr	208
3.	Zusammenfassung	210

Zur Gesellschaft Babcock & Wilcox Vølund ApS

Babcock & Wilcox Vølund gehört zu den weltweit führenden Lieferanten von Ausrüstungen und Technologien, die für die Umwandlung von Abfall und Biobrennstoffen in Heizungsenergie vorgesehen sind.

Die 1898 gegründete Gesellschaft mit Hauptsitz in Esbjerg/Dänemark befindet sich im Alleinbesitz von The Babcock & Wilcox Company in Barberton im US-Bundesstaat Ohio – einer Tochter von McDermott International, Inc. Sie unterhält Abteilungsbüros in Aarhus und Kopenhagen in Dänemark. In Paris gibt es eine Tochtergesellschaft, so wie es eine Verkaufsvertretung in Taiwan gibt. Weltweit beschäftigt Babcock & Wilcox Vølund 430 Mitarbeiter.

Die erste Anlage zur Energiegewinnung aus Abfällen baute Vølund 1930 im Kopenhagener Vorort Gentofte. Im Laufe der Jahre sind fünfhundert Linien in siebenzig Ländern gebaut worden. Für den Zeitraum 2003 bis 2006 verzeichnet Babcock & Wilcox Vølund ApS siebzehn abgeschlossene bzw. noch in Ausführung befindliche Vorhaben mit einem gesamten Durchsatzvolumen von 2.296.000 Tonnen pro Jahr.

Zur Gesellschaft I/S Reno Nord

I/S Reno Nord ist ein im Besitz von sieben Gemeinden aus Nordjütland befindlicher dänischer Gemeindezweckverband, der die Handhabung der von den 225.000 Einwohnern der sieben Gemeinden erzeugten Abfallmengen übernimmt.

Die Gesellschaft wurde 1978 gegründet. Standort des Hauptbüros und der Verbrennungsanlage der Gesellschaft ist Aalborg.

1978 bis 1980 baute die Gesellschaft die im Besitz des Gemeindezweckverbandes befindliche Verbrennungsanlage im östlichen Bezirk von Aalborg.

Die Anlage wurde mit zwei Vølund Drehofenanlagen mit einem Verbrennungsdurchsatz von 2 x 8 Tonnen Abfall pro Stunde ausgerüstet. Aus der Anlage wurde Fernwärme in das Netz des städtischen EVU Aalborg Kommunes Fjernvarmeforsyning eingespeist.

1989 nahmen I/S Reno Nord und I/S Nordkraft – das örtliche Stromversorgungsunternehmen – eine Kooperation zum Bau eines mit Abfall befeuerten Heizkraftwerks auf.

1991 wurde die neue Abfallverbrennungslinie zur Strom- und Wärmeerzeugung mit einem Durchsatz von 12,5 Tonnen pro Stunde in Betrieb genommen. Diese Linie ist mit einem BS-W Verbrennungsrost ausgerüstet.

Zum Haupttätigkeitsbereich von I/S Reno Nord gehören:

- Abfallverbrennung mit Energieerzeugung,
- Betrieb einer geregelten Deponie,
- Betrieb einer Recyclinganlage für Baustoffe,
- Sortierung ausgemusterter Kühlmöbel zwecks Weiterverarbeitung,
- Sortierung von Elektronikschrott zwecks Weiterverarbeitung.

1. I/S Reno Nord, Linie 4

Der Vorstellung des Projekts zum Bau einer neuen Ofenlinie mit Zeitplan und Organisationsablauf folgt die Darstellung des Anlagenkonzepts von den allgemeinen Rahmenbedingungen über Feuerungsanlage, Kessel und Feuerraum bis zur Turbinenanlage und schließlich der Abgasreinigung.

1.1. Projekt

Konfiguration der Anlage

1999 beschloss der Verwaltungsrat von I/S Reno Nord, eine neue Ofenlinie zur Heizkraftherzeugung mit einem Nenndurchsatz von zwanzig Tonnen Abfall pro Stunde mit einem Heizwert von 12 MJ/kg und einem Jahresvolumen der zu verfeuernden Abfälle von 160.000 Tonnen zu bauen.

Die Leistung der neuen Ofenlinie sollte zur Verbrennung der gesamten, mittelfristig in den sieben Zweckverbandsgemeinden anfallenden Abfallmenge ausreichen. Zusätzlich zur erheblichen Verbesserung des Umweltschutzes im Rahmen der Erfüllung der einschlägigen Behördenauflagen mit großer Sicherheitsmarge sollte die neue Anlage noch dazu die im Abfall steckende Energie wesentlich effizienter nutzen. Ein Leistungsdiagramm ist in Bild 1 zu sehen.

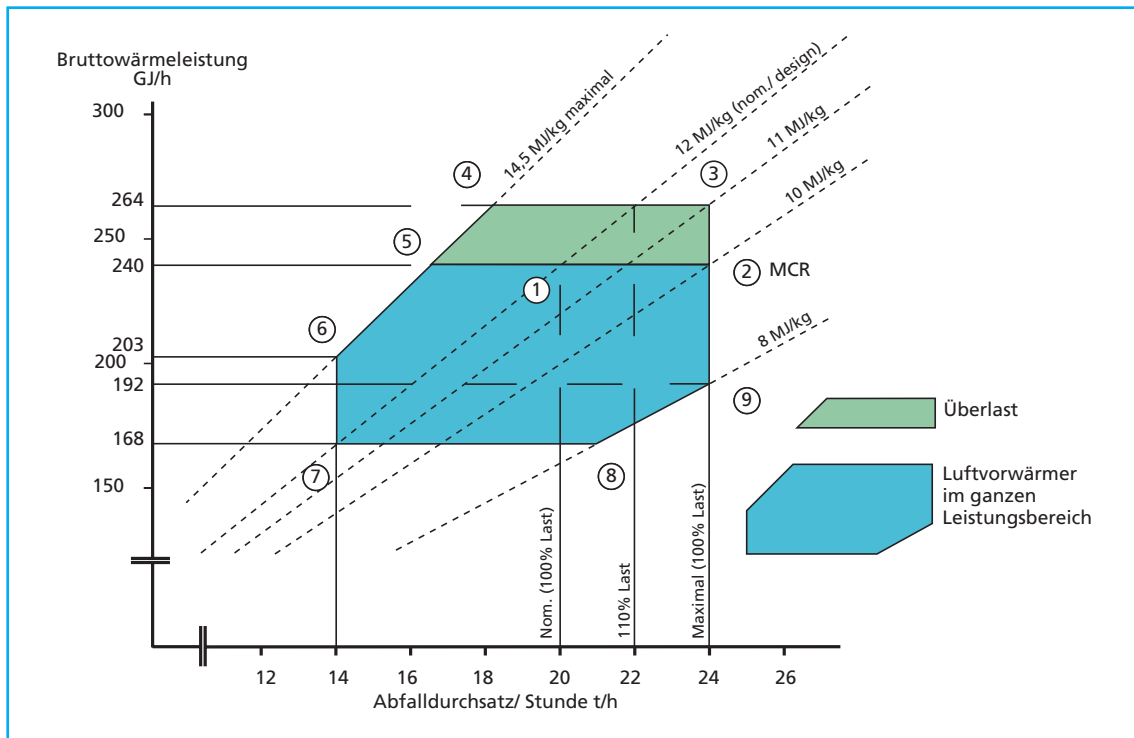


Bild 1: Leistungsdiagramm

Die neue Ofenlinie sollte parallel zu den alten Linien in einem neuen Bau untergebracht werden (Bild 2), wobei der bestehende Abfallbunker derart erweitert werden sollte, dass dieselben Abfallkrane sowohl die alten Linien als auch die neue Linie bedienen können. Die beiden bestehenden Abfallkrane sollten gegen zwei neue automatische Krane mit größerer Kapazität ausgetauscht werden.

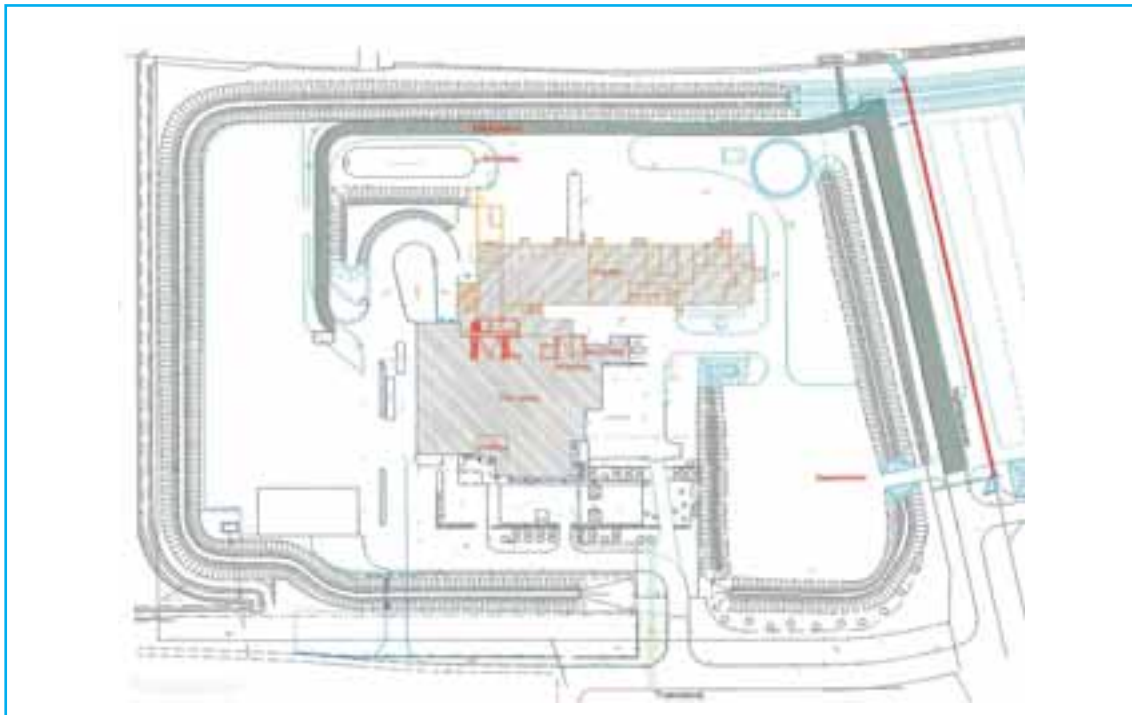


Bild 2: Lageplan

Die neue Linie sollte als konventionelle rostbefeuerte Einheit mit einem Dampfkessel mit drei vertikalen Strahlungszügen mit einem horizontalen Konvektivzug mit Verdampfer, Überhitzer und Ekonomiser im Anschluss hieran eingerichtet werden. Die Dampfdaten wurden entsprechend den Werten der Linie 3 festgelegt:

Dampfdruck: 50 bar (a)

Dampftemperatur: 425 °C

Speisewassertemperatur: 130 °C

Die Turbinenanlage war mit einem Schluckvermögen von einhundertzwanzig Prozent des Nennwerts der Dampferzeugung des Kessels auszulegen, vollständig als Bypass-Einrichtung auszuführen und mit zwei Fernwärmekondensatoren zwecks Einspeisung von Fernwärme ins städtische Fernwärmenetz von Aalborg auszurüsten.

Bei der Abgasreinigungsanlage sollte es sich um einen Dreifeld-Elektrofilter mit einer dreistufigen nassen Abgasreinigungsanlage nebst dazugehöriger Abwasserkläranlage im Anschluss hieran handeln.

Zur NO_x-Reinigung war eine SNCR-Anlage einzusetzen.

Zwecks Abtrennung ausgewaschenen Ammoniaks aus den Abwässern der nassen Abgasreinigungsanlage sollte zur Abwasserkläranlage ebenfalls ein dampfgetriebener Ammoniakstripper gehören.

Seitens I/S Reno Nord setzte man sich schwerpunktmäßig dafür ein, eine Anlage mit einem hohen Strom- und thermischen Wirkungsgrad unter Einhaltung der neuesten EU-Emissionsauflagen zu errichten.

Ferner wurden lange, kontinuierliche Betriebsdauer sowie hohe Verfügbarkeit großgeschrieben.

Ausschreibung der Linie 4

Im März 2001 wurden die Ausschreibungsunterlagen für die Maschinen- bzw. Stromlieferung für die neue Ofenlinie verschickt, und zwar bei Aufschlüsselung nach drei Hauptbaulosen:

Leistungsumfang des Bauloses 1:

- Feuerungsanlage,
- Kessel,
- Elektrofilter,
- Dampfturbinen- und Generatoranlage einschließlich des Dampf-, Kondensat-, Speisewasser- und Fernwärmesystems,
- Elektroanlagen,
- MSR-Anlage,
- alle dazugehörigen Hilfsausrüstungen.

Leistungsumfang des Bauloses 2:

- nasse Abgasreinigungsanlage und Dioxinfilter,
- Abwasserkläranlage,
- Elektroanlagen zur Lieferung,
- MSR-Anlage zur Lieferung (wurde jedoch nachträglich dem Baulos 1 zugeordnet).

Leistungsumfang des Bauloses 3 (mehrere Gewerke):

- Bauten.

Nachträglich wurde der Stahlbau fürs Gebäude dem Baulos 1 zugeordnet.

Zeitplan

Für den Bau wurde folgender Zeitplan aufgestellt:

Tabelle 1: Zeitplan für den Bau der Linie 4, I/S Reno Nord

	Vertrag	Ist-Termin
bedingter Vertrag	19.09.2002	
endgültige Vertragsschließung bis zum	01.07.2003	
Anfang mechanische Montage	04.04.2004	
Anfang Hot-Test	01.04.2005	
Anfang Probebetrieb	01.08.2005	12.09.2005
Ende Probezeit	01.11.2005	12.12.2005
vorläufige Abnahme	01.11.2005	22.12.2005
Anfang Garantiezeit	01.11.2005	12.12.2005
endgültige Abnahme nach Garantiezeit	01.11.2007	12.12.2007

Dass der Vertrag erst zum 1. Juli 2003 als endgültig abgeschlossen gelten konnte, beruht darauf, dass die endgültige behördliche Genehmigung des Vorhabens erst zu diesem Datum vorlag.

Die Verzögerung des Anfangs des Probebetriebs ist auf ein Feuer in der Anlage während des Hot-Tests zurückzuführen. Der Bauherr duldete die Verzögerung des Anfangs der Probezeit als Beeinflussung durch höhere Gewalt. Obwohl sich die Abnahme der Anlage gegenüber dem vertraglich festgesetzten Termin verzögerte, kam es nicht zu Festsetzung von Vertragsstrafen zum Nachteil der Bauunternehmer, zumal die Anlage während des gesamten Zeitraums die Abfallverbrennung und Energieerzeugung so bewältigt hat, wie es gemäß dem ursprünglichen Zeitplan vorgesehen war.

Projektorganisation

Das dänische Ingenieurbüro Rambøll A/S wurde von I/S Reno Nord als Berater des Bauherrn gewählt und hat somit die Ausschreibungsunterlagen für das Maschinen- und Baugewerk erstellt.

Babcock & Wilcox Vølund ApS bekam den Zuschlag zur Ausführung des Bau-
loses 1 mit B+V Industrietechnik GmbH als für Turbinen- und Generatoranlagen
zuständigem Subunternehmer, während LAB S.A. den Zuschlag für die Abgas-
reinigungsanlage bekam.

Zwischen I/S Reno Nord und dem Konsortium Babcock & Wilcox Vølund ApS-
LAB S.A. wurden Bauverträge für die Baulose 1 und 2 mit BWV als federführen-
dem Konsortiumsmitglied abgeschlossen.

1.2. Anlagenkonzept

Das bauliche Prinzip ist in Bild 3 dargestellt. Die Turbinen- und Generatoranla-
ge ist im Bau unter dem horizontalen Kesselzug angeordnet.

Um möglichst hohe Werte des Strom- bzw. des thermischen Wirkungsgrads zu
erzielen, sind hinter dem Elektrofilter zwei emaillierte und PFA-beschichtete
Kühlflächen montiert worden, die das Abgas beim Eintritt in die nasse Abgas-
reinigungsanlage von 180 °C auf 90 °C abkühlen.

Bei der ersten Kühlfläche wird das Abgas auf 120 °C heruntergekühlt. Die hier-
durch freigesetzte Energie dient zum Vorwärmen der Verbrennungsluft. Eine
Prinzipskizze der Kupplung mit dem Luftvorwärmer ist in Bild 3 dargestellt.

Die Übertragung von Energie an die Verbrennungsluft erfolgt mittels Heißwasser,
das bei einer Temperatur von 150 °C aus dem Abgaskühler hinaustritt. In der
ersten Sektion des Luftvorwärmers wird das Wasser auf etwa 40 °C herunter-
gekühlt, wonach es einem Wärmetauscher zugeführt wird, in dem es mittels
Fernwärmewasser auf etwa 76 °C aufgeheizt wird, ehe es erneut dem Abgasküh-
ler zugeführt wird. Hierdurch wird die ganze Verbrennungsluftmenge auf etwa
125 °C aufgeheizt.

Die primäre Verbrennungsluft wird in der zweiten Sektion des Luftvorwärmers
mittels eines Teilstroms aus nach dem Ekonomiser entnommenem Speisewas-
ser auf etwa 145 °C aufgeheizt.

Bei der anderen Kühlfläche wird das Abgas von 120 °C auf 90 °C abgekühlt. Die
hierdurch freigesetzte Energie dient zum Vorwärmen des Kondensats.

In der Abgasreinigungsanlage ist eine mit Fernwärmewasser abzukühlende
Verflüssigungsstufe vorgesehen worden.

Gesamte Energieerzeugung:

Elektrizität, brutto:	17.918 kW
Wärme aus Fernwärmekondensatoren:	43.412 kW
Kondensationswärme aus Abgasreinigung:	4000 kW
Mit der heutigen Rücklauftemperatur von Fernwärmewasser ist die Kondensationswärme:	max. 7.000 kW
Auf diese Art und Weise ergibt sich ein Brutto-Stromwirkungsgrad von:	27 %
Der gesamte thermische Wirkungsgrad beträgt somit:	98 %
Kesselwirkungsgrad ist:	92 %

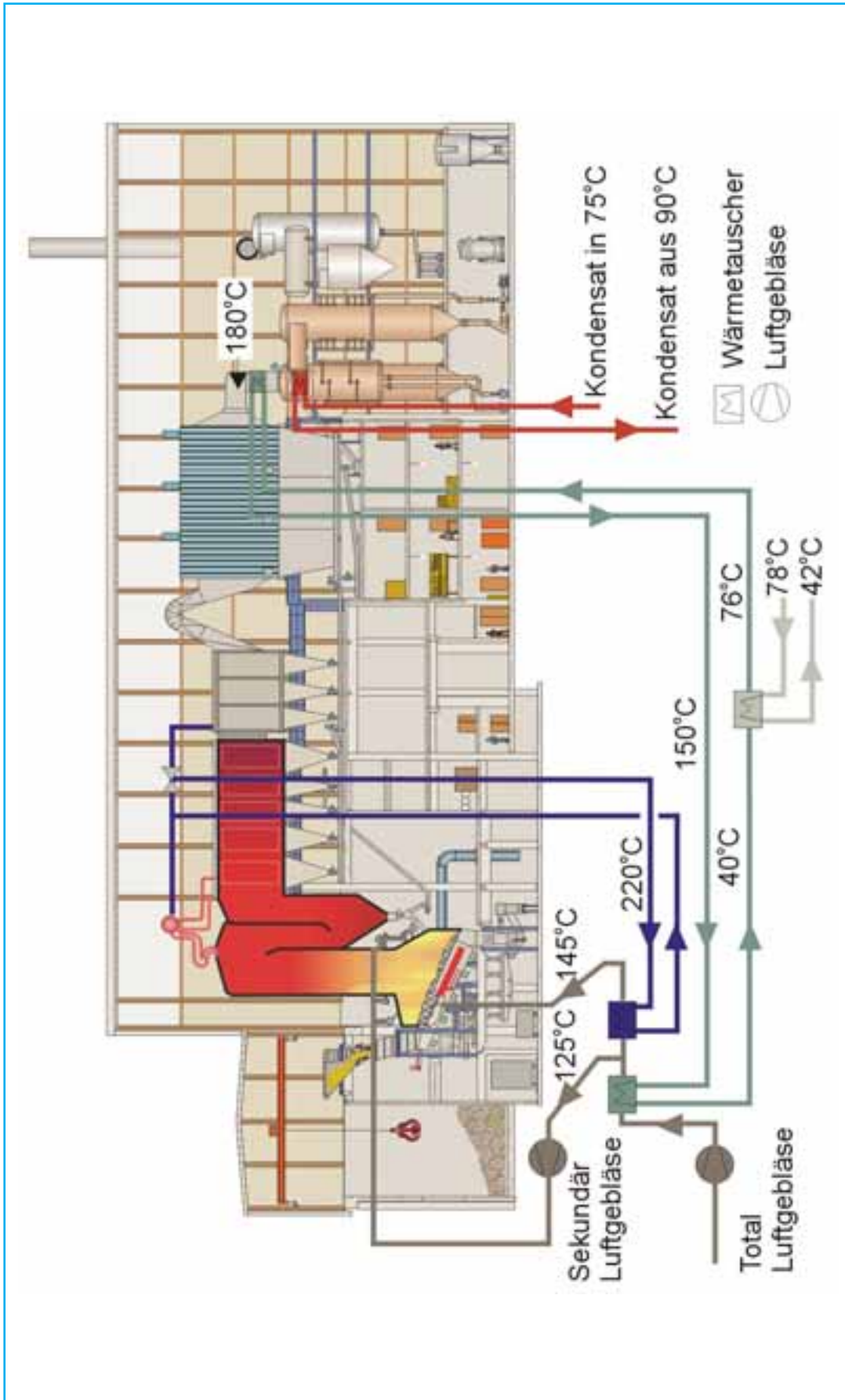


Bild 3: I/S RENO NORD, Anlagenkonzept der Linie 4

Tabelle 2: Technische Daten zur Ofenlinie 4

Abfallsilo	Kapazität	12.500 m ³
	Anzahl Abkipfstellen	5
Abfallkrane	Anzahl	2
	Greifervolumen	8 m ³
	Typ	Vollautomatisch
	Lieferant	Kone Cranes
Feuerungsanlage	Durchsatz	20 t/h
	Rosttyp	BS-W luftgekühlt
	Rostlänge	9,9 m
	Rostbreite	9,1 m (Nutzbreite 8,8 m)
	Lieferant	Babcock & Wilcox Vølund ApS
Kessel	Kesselwandschutz	Inconel/Mauerwerk
	Brenner	Öl 2 x 25 MW
	Thermische Energiezufuhr	66,7 MW
	Dampferzeugung	22,2 kg/s
	Dampfdruck	50 bar (a)
	Dampf Temperatur	425 °C
	NO _x -Reduktion	SNCR
	Lieferant	Babcock & Wilcox Vølund ApS
Turbine/Generator	Produktion	17,9 MW
	Temperatur/Druck	422 °C/48 bar
	Lieferant	B+V Industrietechnik GmbH
Fernwärmekondensator	Produktion	43 MJ/s
	Temperatur	38 °C/78 °C
	Lieferant	B+V Industrietechnik GmbH
Staubbeseitigung	Typ	Elektrofilter
	Anzahl Felder	3
	Kapazität	geringer als 10 mg/Nm ³
	Fabrikat	ALSTOM
	Lieferant	Babcock & Wilcox Vølund ApS
Abgasreinigung	Durchfluss	112.000 Nm ³ /h
	Typ	Nasse Abgasreinigung
	Bauteile	Quench, saurer Skrubber, basischer Skrubber auf Kalkstein-Basis, Dioxin-Skrubber auf HOK-Basis, Venturi-Skrubber mit Agglo-Filter, Saugzug-gebläse
	Verflüssigungsstufe	Direktkühlung mit Fernwärme
	Fernwärmeerzeugung	4 MJ/s
	Lieferant	LAB S. A.
MSR-Anlage	Fabrikat	ABB
	Lieferant	Babcock & Wilcox Vølund ApS
Schornstein	Höhe	75 m
Gebäude	Maße (L x B x H)	115 x 25 x 45 m
Beratung		Hauptberater: Rambøll A/S Architekt: C.F.Møller

Feuerungsanlage

Beschickungssystem

Bei der Beschickung geht es darum, genau die richtige Brennstoffmenge am Rost zu dosieren, damit es zur stabilen Verbrennung und Energieerzeugung kommt.

Die korrekte Beschickung hat kontinuierlich bei laufender Anpassung an die Förderleistung des Rosts zu erfolgen, damit der Rost eine gleichmäßig verteilte Brennstoffschicht aufweist, woraus sich eine regelmäßige Energieerzeugung ergibt. Diese regelmäßige Beschickung gewährleistet minimale Umweltverschmutzung, zumal hierdurch eine optimal kontrollierbare Verbrennung gefördert wird.

In der Reno Nord-Anlage ist der Beschickungstrichter derart aufgebaut, dass Verstopfungen möglichst vermieden werden können, damit eine kontinuierliche Zufuhr der Abfälle zum wassergekühlten Beschickungsschacht gewährleistet ist. Drei Seiten des Trichters sind senkrecht, wodurch die Bildung von Abfallbrücken im Trichter verhindert wird. Das Beschickungssystem ist in Bild 4 dargestellt.

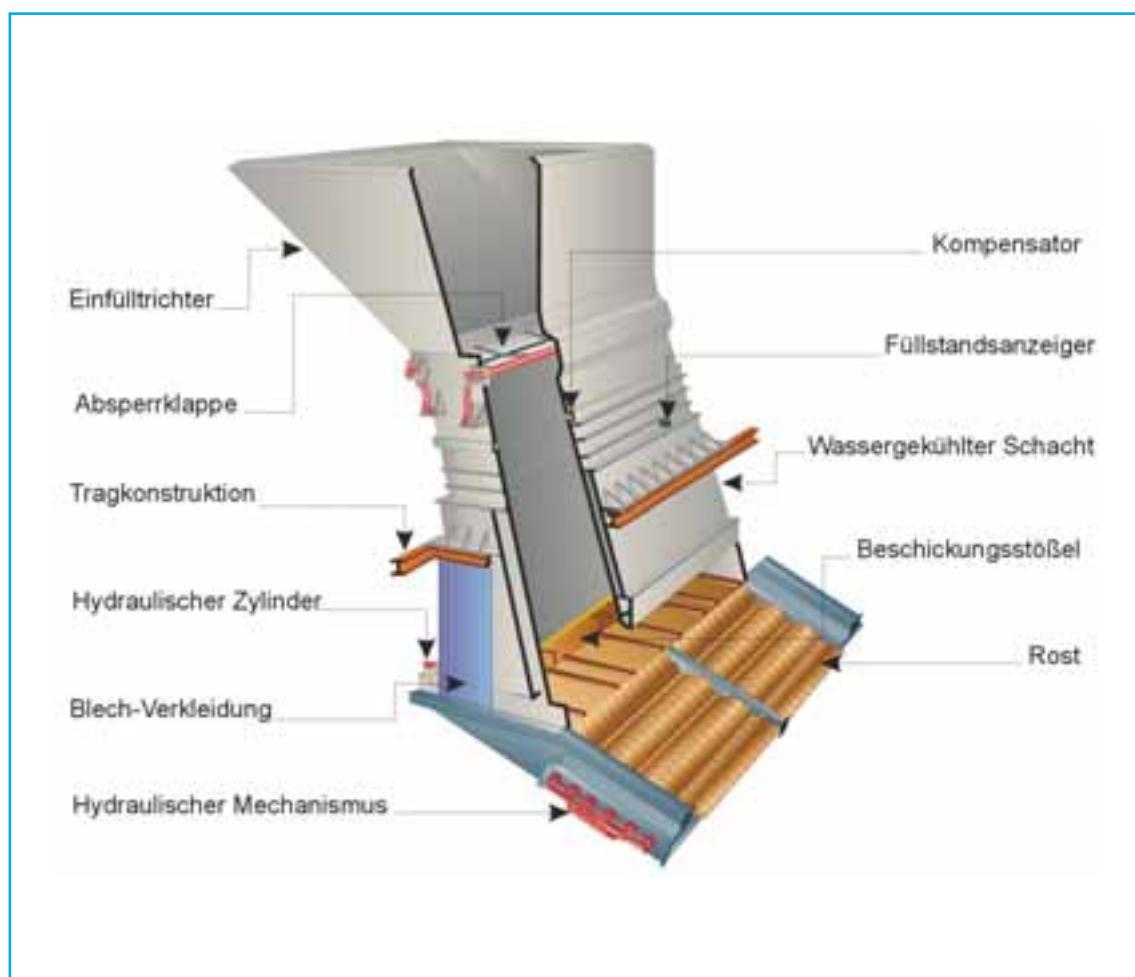


Bild 4: Aufgabevorrichtung

Die inneren Oberflächen des Trichters sind mit Stahlschleißblechen ausgekleidet.

Alle Belastungen werden vom Trichter auf das Krandeck übertragen. Da die Verbindung zwischen Aufgabetrichter und Aufgabeschacht nicht fest ist, hat die thermische Expansion des heißen Feuerraums keine Einwirkung auf die Belastung, die auf das Krandeck übertragen wird. Die Verbindung zwischen Trichter und Schacht ist mit einer staubdichten flexiblen Verbindung abgedichtet.

Zwei hydraulisch betätigte Sicherheitsabsperklappen sind zwischen Trichter und Schacht vorgesehen. In offener Position – bei Normalbetrieb – fluchten die Absperklappen mit der Vorder- bzw. Rückwand des Unterteils des Trichters. Bei Betätigung schließen die Absperklappen und bilden eine Abdichtung zwischen Trichter und Schacht.

Im Falle eines Feuers im Schacht können die Absperklappen geschlossen werden. Bei Stromausfall schließen die Absperklappen selbsttätig.

Der Aufgabeschacht fördert den Abfall vom Aufgabetrichter zum Abfallzuteiler. Der Schacht dient außerdem als Lagerstätte für den Abfall, bis er auf dem Rost Feuer fängt. Wegen der Wärmeeinwirkung ist der Schacht in kräftigem Stahlblech mit Wasserkühlung auf der Außenseite ausgeführt. Bei Normalbetrieb wird der Kühlbedarf minimal sein, das stets im Umlauf befindliche Kühlwasser wird aber eine etwaige Überhitzung verhindern. Die Wärme aus der Schachtkühlung wird dem Fernheizungssystem zugeführt.

Der Schacht ist konisch ausgeführt und öffnet sich nach unten. Dies bewirkt, dass sich die Abfälle, wenn sie durch die oberste Öffnung gelangt sind, nicht verhaken können.

Der Rost wird mittels eines hydraulischen Abfallzuteilers bei variabler, an die Energieerzeugung angepasster Geschwindigkeit mit Abfällen beschickt.

Aus der kontinuierlichen, langsamen Vorwärtsbewegung des Abfallzuteilers bei variabler Geschwindigkeit ergibt sich die andauernd kontinuierliche Beschickung des Rostes.

Der Abfallzuteiler wird am unteren Ende des Aufgabeschachts angeordnet und führt hier die Abfälle langsam der ersten Stufe des Rostes zu. Der Abfallzuteiler besteht aus mehreren Zuteilerstößeln, wobei jeder Stößel von einem hydraulischen Zylinder angetrieben wird.

Die Aufgabestößel weisen synchrone Vorwärtsbewegungen bei variabler Geschwindigkeit auf. Dies wird durch das hydraulische Ölmengen-Kontrollsystem sichergestellt.

Der Abfallzuteiler ist aus kräftigem Stahlblech ausgeführt, um den mechanischen Einwirkungen der Abfallfraktionen standzuhalten. Darüber hinaus ist die Zuteilerfront und -spitze mit austauschbaren Schleißblechen versehen. Auch der untere Teil des Schachts, in dem der Stößel arbeitet, ist mit Schleißblech aus Gusseisen versehen.

Jeder Aufgabestößel wird mit Luft gekühlt, so wie er zwei KühlluftEintritte aufweist, damit ausreichende Kühlung des Stößels gewährleistet ist. Dieses fortschrittliche Kanalsystem der Stößel ist ebenfalls solide gebaut, damit die Stößel Einwirkungen durch schwere Gegenstände bewältigen können, die in den leeren Schacht geraten.

Die austauschbaren Gußeisen-Schleißbleche seitlich am Schacht sind derart ausgestaltet, dass es nicht zum Zerquetschen von Beschickungsgut zwischen dem äußeren Stößel und dem Schacht kommen kann.

BS-W Abfallverbrennungsrost

Beim Verbrennungsrost handelt es sich um eine Fördervorrichtung, die den angezündeten Brennstoff vom Abfallzuteiler durch den Feuerraum hin zur unten angeordneten Aschenentnahmevorrichtung bewegt. Während des Fördervorgangs wird der Brennstoff gemischt und Verbrennungsluft zugeführt. Flüchtiges Material wird im Feuerraum freigesetzt, gebundene Kohlenstoffe werden auf dem Rost verbrannt.

Die Linie 4 ist mit einem für Umrüstung auf Wasserkühlung vorbereiteten BS-W Mark 5 luftgekühlten Rost versehen. Der Rost in Form zweier paralleler Rostflächen (jeweils 4,4 m breit) und in der Längsrichtung in vier Sektionen ausgeführt.

Im BS-W Mark 5 Rost steckt das Ergebnis einer 40-jährigen Entwicklung. Der bewährte, luftgekühlte W-Rost ist für die Abfallverbrennung optimal geeignet, zumal eine sehr hohe Verbrennungseffizienz bei hoher Energienutzung und geringer Umweltbelastung vorliegt.

Der patentierte wassergekühlte Mark 6 Rost weist etwa 32.000 Betriebsstunden als Prototyp und etwa 32.000 Betriebsstunden auf kommerzieller Basis – bis 2006 – auf.

Der wassergekühlte Mark 6 Rost ist durch seine Eignung zur Verbrennung heizwertreicher Abfälle gekennzeichnet und lässt sich vollständig mit dem Mark 5 zusammenführen, woraus sich ein unbeschränkter Gestaltungsspielraum zum Variieren des Verhältnisses zwischen luft- und wassergekühlter Rostfläche ergibt.

Der BS-Rostsystem bewältigt unsortierte feste Abfälle jeder Art und lässt sich zur kombinierten Befeuerung mit Biomasse einsetzen.

Wie funktioniert der Rost?

Der Rost lässt sich mit einer Treppe vergleichen. Die einzelnen Stufen – die Roststäbe – sind abwechselnd horizontal und vertikal angeordnet. Diese Roststäbe sind wiederum an Achsen montiert, damit die Stäbe zweier benachbarter Achsen ineinander greifen können, so dass ein lückenloser Rostteppich entsteht.

Der Aufbau des Rosts ist Bild 5 zu entnehmen.



Bild 5: BS-W MARK 5

Wenn sich die Achsen bei einer Rostbewegung um 60 Grad in der Gegenrichtung drehen, wechseln die Roststufen von der horizontalen in die vertikale Lage.

Diese Änderung der Stufenposition aus der horizontalen in die vertikale Lage und umgekehrt bewirkt eine wellenförmige Bewegung in der Längsrichtung. Aus dieser Bewegung ergibt eine maximale Aufmischung und Verteilung, wodurch Austrocknen, Förderung und Verbrennung des Abfallbetts gewährleistet sind.

Der außerhalb des Feuerraums angeordnete Antriebsmechanismus (Bild 6) lässt während der Rostbewegung andauernd einen etwa 2 mm breiten Spalt zwischen den Roststäben zweier angrenzender Wellen klaffen, durch den Verbrennungsluft zugeführt wird.

Die Rostbewegung gewährleistet, dass die Luftspalten stets rein und von Partikeln befreit sind. Während der Rostbewegung gibt es keine physische Berührung zwischen den Roststäben zweier angrenzender Achsen.

Jede Rostsektion wird seitlich durch eine Drehscheibe abgegrenzt, die zusammen mit den Seitenabdeckblechen des Rosts eine glatte Seitenwand bildet, die die freie Ausdehnung des Rosts in diesem Bereich ermöglicht. Alle Rostdetails, die an den Feuerraum angrenzen, sind auf der Rückseite mit Kühlflanschen versehen.

Ein Rost besteht aus Modulen, die sich zu Rosten unterschiedlicher Länge und Breite kombinieren lassen.



Bild 6: Antriebsmechanismus außerhalb des Feuerraums

Die maximale Breite einer Rostbahn beträgt 4,8 m. Größere Rostbreiten lassen sich durch die Anordnung mehrerer Bahnen nebeneinander erzielen. Es gibt keine Begrenzungen hinsichtlich der Anzahl der zu kombinierenden Rostsektionen und somit keine Begrenzung der Rostlänge. Der Rost hat eine Neigung von 25 Grad gegenüber der Horizontallage.

Die einzelnen Rostsektionen können jeweils unabhängig voneinander bei variabler, an die Energieerzeugung angepasster Geschwindigkeit betrieben werden. Jede Rostsektion ist mit einem kompletten Antriebsmechanismus einschließlich eines doppelt wirkenden Hydraulikzylinders ausgerüstet. Dieser Antriebsmechanismus gewährleistet ebenfalls, dass der Spalt zwischen den Roststäben zweier angrenzender Achsen während der Rostbewegung konstant bleibt.

Luftgekühlter W-Rost, BS Mark 5

Prozessvorteile:

- Minimale, gut definierte Luftspaltfläche machen etwa 1,5 bis 1,8 Prozent der projizierten Rostfläche aus. Dies begrenzt den Rostdurchfall und damit auch die Menge unverbrannten Materials unter dem Rost. Das hat wiederum eine besonders effiziente Luftverteilung oberhalb jeder Fläche der Rostsektionen zur Folge.
- Die gelungene mechanische Umwandlung des Abfalls auf dem Rost bedeutet, dass die Wärmestrahlung aus dem Feuerraum sowie die Verbrennungsluft mit allen Abfallfraktionen in Verbindung kommen. In Kombination mit der

effizienten Luftverteilung wird eine kontrollierte und effektive Verbrennung, aus der sich sehr niedrige CO- und TOC-Werte am Dampferzeugeraustritt sowie eine stabile Energieerzeugung ergeben, sichergestellt.

- Die Primärluftversorgung für den Mark 5-Rost erreicht annähernd den stöchiometrischen Wert. Dadurch werden niedrige Temperaturen in der Abfallschicht auf dem Rost erzielt, so dass wiederum das Agglomerationsverhalten der Schlacke und das Anbacken brennbarer Bestandteile minimiert werden. Daraus ergeben sich gutes Ausbrandverhalten und eine feinkörnige Schlacke.
- Die langsame, kontinuierliche Bewegung des Rosts erzeugt sehr wenig Staub und Flugasche im Abgasstrom.

Mechanische Vorteile:

- Es gibt keine physische Berührung zwischen beweglichen Rostteilen. Dies begrenzt den Verschleiß und minimiert die mechanischen Kräfte, denen der Rost ausgesetzt wird.
- Die Anordnung der Antriebsvorrichtung und der Lager des Rosts außerhalb des Ofenperimeters schützt sie gegen Verschmutzung durch Rostdurchfall und abgeschmolzenes Metall und Flüssigkeiten.
- Der Luftspalt zwischen den Seitenblechen und dem am nächsten gelegenen Roststab bleibt konstant ohne Rücksicht auf die thermische Ausdehnung.
- Die beweglichen Seitenabdichtungen folgen der seitlichen Ausdehnung des Rosts.
- Eine maschinelle Bearbeitung der Rostteile auf enge Toleranzen stellt eine optimale Verteilung der Primärluft sicher.

Außer den unmittelbar mit der Verbrennung heizwertreicher Abfallstoffe verbundenen Prozessvorteilen ermöglicht der patentierte Mark 6 Rost (Bild 7) die vollständige Integration mit dem luftgekühlten Mark 5 Rost (BS-W Rost). Er bietet unbeschränkten Gestaltungsspielraum bei der Wahl des Rostteppichs, zumal entweder die luft- oder die wassergekühlte Alternative bzw. eine Kombination der beiden gewählt werden kann; denn der wassergekühlte Rost hat dieselbe Bewegungsgeometrie wie die luftgekühlte Variante, sowie die wassergekühlten Rostbestandteile grundsätzlich die gleiche geometrische Form haben wie die luftgekühlten Teile. Der wassergekühlte Rost bringt also verfahrenstechnisch und mechanisch dieselben Vorteile wie der luftgekühlte Rost.

Die wassergekühlten Roststäbe sind maschinell als hohle Sektion mit Kanälen verarbeitet und ausgestaltet worden, damit das Kühlwasser den Bereichen mit der höchsten Wärmelast zugeführt werden kann. Die große Menge des durch die einzelnen Roststäbe zirkulierenden Wassers führt eine geringfügige Temperaturdifferenz über dem einzelnen Roststab herbei, um das Risiko für lokale Überhitzung zu minimieren.

Die einzelnen Rostsektionen sind mit separatem Wasserkreislauf versehen, der für einen maximalen Betriebsdruck von 10 bar und eine maximale Betriebstemperatur von 120 °C ausgelegt ist. Die Temperaturen des Kühlungskreislaufs

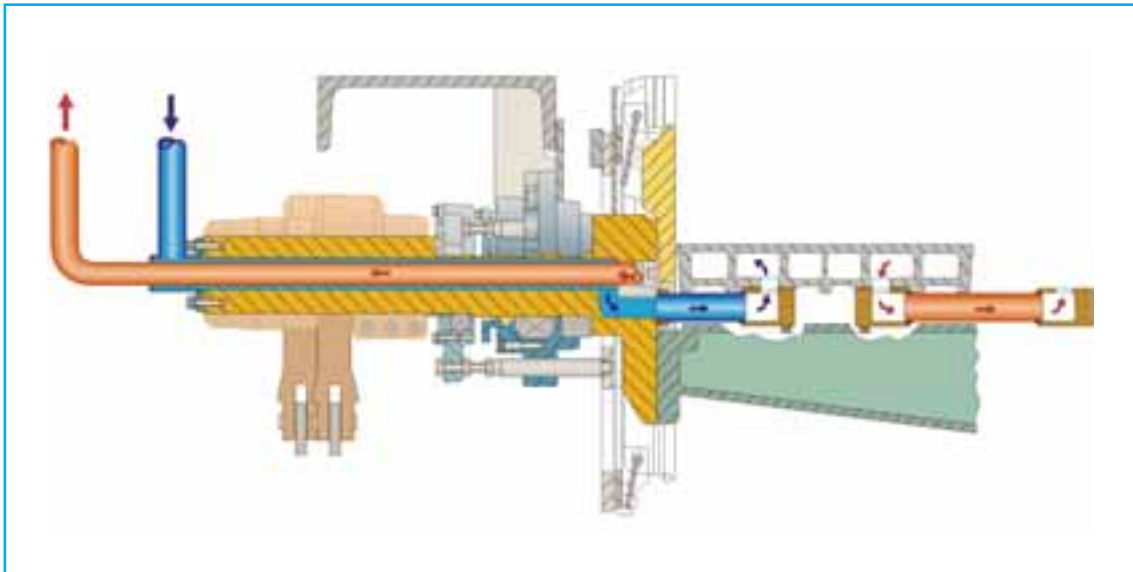


Bild 7: BS-W Mark 6, wassergekühlter Rost

sind geregelt, um eine konstante Austrittstemperatur am Rost zu erzielen. Dies bedeutet, dass die Differenztemperatur über dem Rost variiert. Die maximale Differenztemperatur beträgt 25 °C.

Der Kühlkreislauf ist für maximalen Heizfluss aus den heißen Abgasen ausgelegt. Die normale Wärmeübertragung liegt bei 15 bis 20 kW pro m². Bei normalem Betrieb kann die gesamte übertragene Energie vom Rost zum Verbrennungsverfahren zurückgeführt werden, zumal die Energie zur Heizung der Verbrennungsluft verwendet werden kann. So werden die Dampferzeugereffizienz und die Stromerzeugung durch Verwendung eines wassergekühlten Rosts aufrechterhalten.

Jeder Kühlkreislauf ist mit Zirkulationspumpen, einem Durchfluss- und Energiezähler, einem Druckausdehnungsgefäß und einem Wärmetauscher ausgestattet. Die vom Rost übertragene Energie wird im Wärmetauscher zur Verbrennungsluft umgesetzt. Um den gleichmäßigen Durchfluss zu allen Achsen steuern zu können, ist ein kombinierter Durchflussanzeiger/-zähler an den einzelnen Rostachsen vorgesehen.

Die Kühlwasserströmung erfolgt von jeder Achse aus durch zwei konzentrisch platzierte Rohre in der Achse. Diese Rohre leiten das Wasser durch ein standfestes Rohrsystem in der Mittelsektion der Achse hin zu den einzelnen Roststäben, die hintereinander angeordnet sind. Das Wasser wird auch durch das Rohrsystem von den Roststäben zurückgeleitet. Standarddampfschläuche werden dazu verwendet, das Wasser vom standfesten Rohrsystem außerhalb des Ofens zu den Achsen zu leiten, die sich im Winkel von sechzig Grad bewegen.

Die Schläuche sind außerhalb des Ofens platziert, damit sie heißer Asche, abgeschmolzenem Zinn, Aluminium usw. nicht ausgesetzt werden. Solche Materialien können die Schläuche beschädigen. Diese Konstruktion bewirkt, dass Schlauchverbindungen innerhalb des Ofens vermieden werden.

Wassergekühlter W-Rost, BS Mark 6:

Prozessvorteile:

- Kühlung des Rostteppichs unabhängig von der Verbrennungsluft, die anschließend zwecks optimaler Verbrennung zugeführt werden kann;
- optimale Verteilung der Verbrennungsluft, wodurch der Luftüberschuss bei gleichzeitiger Reduzierung der Abgasmenge minimiert werden kann;
- minimale Korrosion wegen niedriger Rostelementtemperaturen;
- konstant hohe Wasserzirkulation durch das einzelne Rostelement, wodurch örtliches Kochen vermieden werden kann;
- gesamte Energie von der Rostkühlung an die Primärluft übertragbar;
- niedrige Differenztemperatur über dem Rost, woraus sich eine geringe Wärmebeanspruchung ergibt.

Mechanische Vorteile:

- Zufuhr bzw. Ableitung des Kühlwassers an den Rost durch die Achsenden hin zur mittleren Sektion der Achsen durch Rohrverbindungen;
- keine empfindlichen Schlauchverbindungen unter dem Rost;
- keine Beschädigung der Rostelemente durch zeitweiligen Ausfall der Kühlung.

Verbrennungsluftsystem

Die gesamte Verbrennungsluft wird mittels eines Gesamtluftgebläses vom Abfallbunker und vom Kesselhaus gleichermaßen abgesaugt. Dieses Gebläse weist Frequenzregulierung aus. Von hier aus wird die Luft durch den aus zwei Sektionen bestehenden Luftvorwärmer geleitet.

In der ersten Sektion des Luftvorwärmers wird die gesamte Verbrennungsluftmenge auf 125 °C aufgeheizt.

Die Primärluft wird in der zweiten Sektion des Luftvorwärmers mittels eines Teilstroms aus nach dem Ekonomiser entnommenem Speisewasser auf 145 °C erwärmt.

Nachdem sie den Luftvorwärmer passiert hat, wird die Primärluft durch das Kanalsystem auf die einzelnen Trichter unter dem Ofen verteilt.

Die Luftmenge wird mit Venturidüsen gemessen und den einzelnen Rostsektionen durch die Klappe des jeweiligen Versorgungskanals zugeführt. Dies wird im Rahmen der Verbrennungssteuerung geregelt und bewirkt, dass die Luftversorgung zu den einzelnen Rostsektionen individuell reguliert werden kann.

Nach dem Luftvorwärmer wird der Druck der 125 °C heißen Sekundärluft mittels eines frequenzregulierten Fliehkraftreglers schlagartig gesteigert. Das Gebläse hält einen gleich bleibenden Druck in einem Verteilerstück aufrecht, von wo aus die Luft an die einzelnen Düsenreihen verteilt wird.

Die Luftzufuhr zu den einzelnen Düsenreihen lässt sich mittels von Venturidüsen messen.

VoluMix[®]

Bei dieser Technologie wird Sekundärluft in die Verbrennungszonen eingespritzt, und zwar vielerorts aus unterschiedlichen Winkeln und mit unterschiedlicher Luftgeschwindigkeit (Bild 8). Zu den Strömungsfeldern gehören doppelte, rotierende Wirbel in der Nachbrennkammer (NBK). Das Wirbelverfahren gewährleistet gründliche Aufmischung des Gases und stellt sicher, dass eine längere Verweilzeit, vollständiger CO-Ausbrand bei schneller O₂-Kontrolle und einheitliche Abgastemperaturen – auch in den Ecken – erzielt werden.

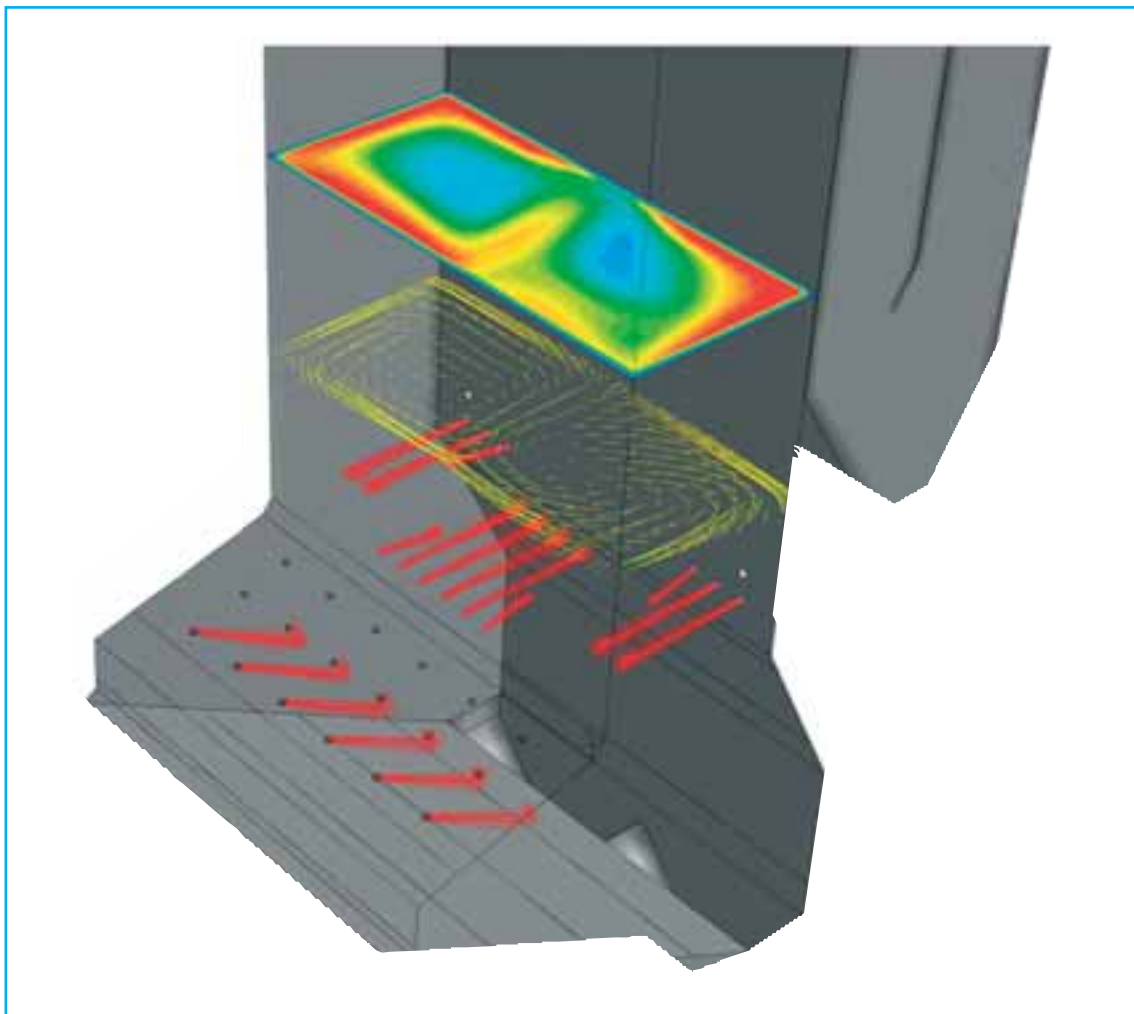


Bild 8: VoluMix

Bei der Anordnung der VoluMix-Düsen handelt es sich um ein wichtiges Kontrollelement im Rahmen des NBK-spezifischen Abgasströmungsmusters. Für die Platzierung der Düsen sind mehrere bauliche Anforderungen maßgeblich.

Die Düsen vorne an der Feuerraumdecke sind zwecks Zufuhr von Heißgas nach vorne angeordnet, um in die heiße Schicht über den mittleren Rosten vorzustoßen. Die an der Rückwand angeordneten Düsen dienen zur Herbeiführung von

Turbulenzen am Einlass zur Nachbrennkammer und zum Absaugen von heißen Verbrennungsgasen von den mittleren Rosten hin zur Rückwand. Mehrere Düsenreihen sind am Einlass zur Nachbrennkammer angeordnet. Daraus ergibt sich ein großer Bereich mit günstigen Turbulenzverhältnissen.

Es werden entgegenwirkende Düsen angeordnet, um sehr gute Aufmischungswerte zu erzielen, Sauerstoff bereitzustellen und Turbulenzverhalten für CO-Ausbrand zu gewährleisten. Viele Konstruktionszwecke können angegeben werden, der Schwerpunkt liegt aber bei der Erzielung der maximalen voraussichtlichen Lebensdauer, geringer Emissionswerte und hoher thermischer Effizienz. Aus dieser Zielsetzung ergibt sich eine Reihe von Anforderungen an das Strömungsverhalten:

- Gute Durchmischung im Feuerraum,
- reduzierte Temperaturspitzen im Feuerraum zwecks Minimierung der thermischen NO_x -Bildung,
- stufenweise Verbrennung,
- Vermeidung von Stellen in Feuerraum und Kessel mit zu hohen Gastemperaturen, die Korrosionsprozesse beschleunigen könnten,
- Herbeiführung turbulenter Verhältnisse im ersten Zug zur Optimierung des Ausbrands,
- gleichmäßige Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung in den Zügen, um Wärmeübertragung und Verweilzeit zu maximieren,
- Vermeidung des Partikelaufralls im Wandbereich, um Korrosion/Erosion zu minimieren.

Die Ausführung und Anordnung der VoluMix-Strahldüsen erfolgt auf Grund einer CFD-Strömungsfeld- und Verbrennungsanalyse. Diese Methode ermöglicht es, niedrigste CO-Werte unter kommerziellen Betriebsverhältnissen als ein Merkmal für Verbrennungsqualität zu erzielen.

Luftüberschuss

Die Kesselkonstruktion von Vølund System mit stufenweiser Verbrennung, Mittel- oder Parallelströmungsöfen, ermöglicht den Betrieb mit einer niedrigen Luftüberschussquote, woraus sich O_2 -Niveaus von 4 bis 5 %, ft., bei geringer CO-Emission und ohne CO-Korrosion ergeben.

Kühlluft

Die Kühlluft dient zur Kühlung der Rostbalken und der Abfallzuteiler.

Der größte Teil der Kühlluft wird nicht in den Verbrennungsvorgang einbezogen. Ein geringer Teil hiervon dient aber als Verbrennungsluft, indem er an den Rostseiten entlang zugeführt wird, um diese Anlagekomponenten zu kühlen.

Rostdurchfall, Schlacke und Asche

Rostdurchfall

Zur Aufnahme von Rostdurchfall und zur Versorgung mit Primärluft gibt es unter jeder Rostsektion zwei Aufgabetrichter mit Reinigungstür. Die Trichter sind mit einem Rohr mit doppelter Klappschleuse versehen und durch die Rohrvibrationsförderanlagen 1 und 2 zur Förderung von Rostdurchfall zu den Nassentschlackern 1 und 2 verbunden. Sowohl die Aufnahme als auch die Förderung des Rostdurchfalls erfolgen in einem dicht geschlossenen System, was bewirkt, dass Staubbelästigungen nicht vorkommen.

Schlacke

Der Schlackentrichter verbindet den Ofen mit dem Nassentschlacker. Wenn der Rost durch seine Bewegung die ausgebrannte Schlacke abgekippt hat, fällt sie durch den Schlackentrichter in den Nassentschlacker. Es gibt zwei Trichter und zwei Nassentschlacker.

Der Schlackentrichter ist in Stahlblech ausgeführt, wobei der obere Teil ausgemauert ist, um die kräftigen, abwechselnden Wärmeeinwirkungen, denen er durch die Schlacke ausgesetzt ist, standhalten zu können.

Die Nassentschlacker erhalten die heiße Schlacke aus dem Ofen. Die Schlacke wird in einem Wasserbad abgekühlt, wodurch außerdem falscher Lufteinlass durch die Nassentschlacker verhindert wird.

Die Schlackenentnahme erfolgt mit Hilfe eines hydraulisch angetriebenen Stößels. Der Stößel funktioniert automatisch mit Hilfe eines einstellbaren Impulsgebers und schiebt durch seine Bewegung die Schlacke auf den querverlaufenden Vibrationsförderer.

Der querverlaufende Vibrationsförderer führt die Schlacke einem Gummiförderband zu, das die Schlacke aus dem Kesselhaus transportiert.

Asche

Die Kesselasche wird mittels Kettenkratzern im zweiten und dritten Kesselzug sowie im horizontalen Konvektivzug aufgenommen und dem Aschesilo zugeführt. In diesem Silo wird die Elektrofilterasche ebenfalls gelagert.

Die Asche wird in trockenem Zustand aus dem Silo entnommen, um in Tankwagen zur Deponie gefahren zu werden.

Kessel und Feuerraum

Vølund Systems – Das Kesselkonzept

Babcock & Wilcox Vølund befasst sich seit Jahrzehnten mit der Konstruktion und dem Bau einer breit gefächerten Produktpalette von Wasserröhrekesseln zur Befeuerung mit Öl, Gas oder Festbrennstoffen.

Zum Kessel-Angebot gehören:

- Dampfkessel für gesättigten bzw. Heißdampf,
- Heißwasserkessel,
- Abfallheizkessel für mit Abfall befeuerte Kraftwerke und Gasturbinen.

Das Konstruktionskonzept sieht normalerweise einen Vierzugkessel mit zwei Ausführungen des letzten Zugs vor. Zu den Funktionen der Vølund Systems Kessel gehören:

- Integration von Ofen, Nachbrennkammer und Kessel,
- optimale Abgasdurchströmung im System,
- einheitliche Temperaturen und Wärmebelastungen,
- minimiertes Korrosionsrisiko,
- gutes Ausbrandverhalten, geringe CO- und TOC-Werte,
- optimierte und integrierte SNCR als NO_x-Reduktionsprozess,
- sehr geringe NO_x-Emission,
- Erzeugung von Heißwasser oder Dampf bzw. Strom.

Bei den ersten zwei oder drei Zügen handelt es sich überwiegend um Strahlungswärmeübertragung. Im letzten Zug erfolgt die Wärmeübertragung überwiegend durch Konvektion. Der Konvektivzug eines Kessels ist durch die Art und Weise, wie die Energieübertragung vom heißen Abgas zu Wasser oder Dampf erfolgt, gekennzeichnet, wobei es sich hier vorrangig um Konvektivwärmeübertragung handelt. Bei Kesseln zur Energieerzeugung aus Abfällen liegt die Abgastemperatur – beim Eintritt in den Konvektivzug – typischerweise unterhalb von 700 °C, um Korrosion und Anbackungen in den Überhitzern zu minimieren.

Typischerweise werden die Heizflächen je nach Anordnung der jeweiligen Heizfläche mittels Rußbläsern oder einem Klopfer gereinigt. Normalerweise ist der Konvektivzug unmittelbar vor dem Ekonomiser angeordnet, wobei es sich hier ebenfalls um eine Konvektivheizfläche handelt.

Gestaltung des Feuerraums

Wegen des Verhältnisses zwischen der Richtung des Abgases und der Richtung der Abfallbeschickung über den Rost stellt die Ofengeometrie einen außerordentlich wichtigen Faktor bei der Optimierung der Verbrennung dar; ganz allgemein gibt es drei verschiedene Konfigurationen bei der Anordnung von Ofen und Kessel:

- Gegenstrom = Gasstrom und Abfallbeschickungsfluss in entgegengesetzten Richtungen,
- Mittelstrom,
- Parallelstrom = Gasstrom und Abfallbeschickung in gleicher Richtung.

Der Feuerraum der Linie 4 ist als Mittelstromfeuerung ausgeführt (Bild 9).

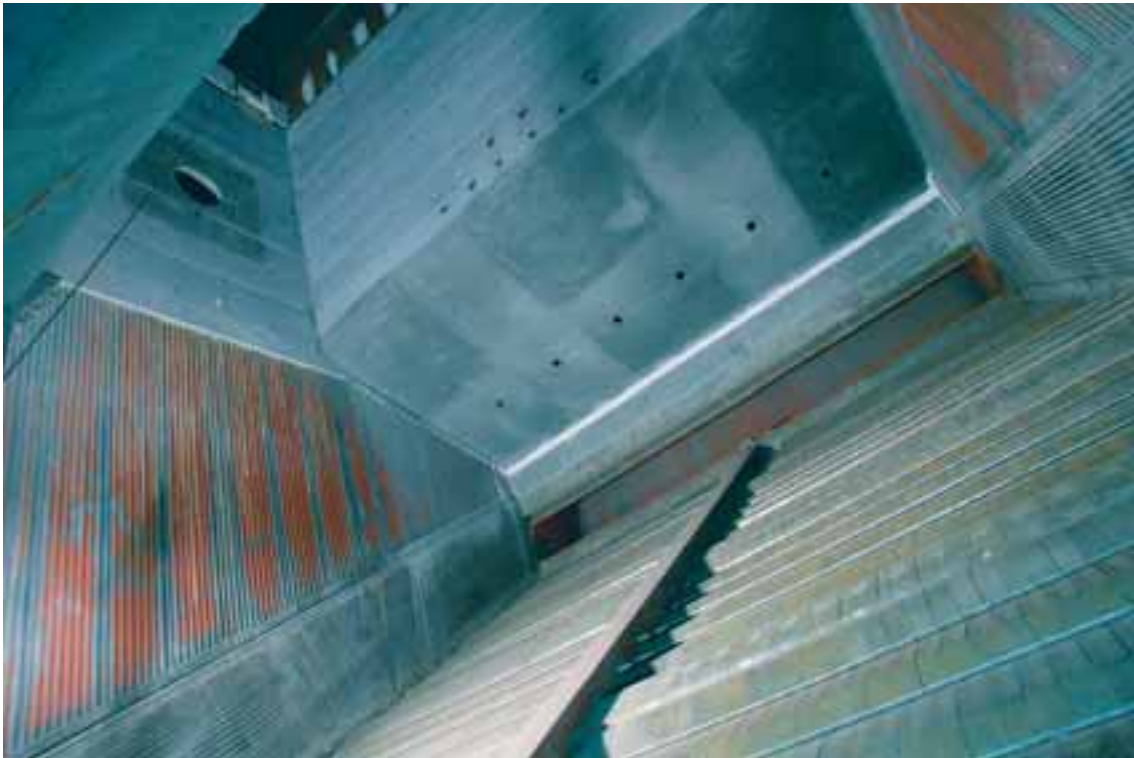


Bild 9: Feuerraum mit Mittelstromfeuerung

Mittelstromkonzept von Vølund:

- Integration von Ofen, Nachbrennkammer und Kessel,
- optimierte Abgasdurchströmung des Systems,
- einheitliche Temperaturen und Wärmebelastungen,
- minimiertes Korrosionsrisiko,
- gute Wasserzirkulation,
- optimale Eignung für flüchtige heizwertreiche Brennstoffe.

Der Mittelstromofen mit einem Kessel mit großem Strahlungszug im Anschluss, der ebenfalls als Nachbrennkammer dient, stellt die optimale Lösung bei heizwertreichen Gewerbeabfällen dar.

Dadurch können die flüchtigen Bestandteile des Brennstoffs der Nachbrennkammer zugeführt werden und verhältnismäßig schnell ausbrennen. Die freigesetzte Energie wird vom Kessel aufgenommen. Ferner kann der Kessel einen Großteil der Wärmestrahlung vom Ofen aufnehmen. Noch dazu kommt, dass sich aus einer geringfügig höheren Abgastemperatur im Strahlungszug automatisch eine höhere Flächenwärmebelastung ergeben wird. Auf diese Art und Weise handelt es sich zwar um eine kleinere, dafür aber umso wirksamere Strahlungskomponente.

Wände und Decken des Feuerraums werden als wassergekühlte Feuerraumeinrichtung ausgeführt und bestehen aus Membranrohrwänden. Die Wände werden mit Inconel und die Decken mit feuerfestem Mauerwerk verkleidet. Die betriebs- und umwelttechnischen Vorteile einer solchen Lösung beziehen sich darauf, dass die Anlage mit einem relativ niedrigen Luftüberschuss betrieben werden kann, ohne zu hohe Verbrennungstemperaturen zu erzielen.

Als Übergang zwischen dem Kessel und dem Rost werden wassergekühlte, als Membranrohrwände ausgeführte Verschleißbereiche eingesetzt, zumal diese Wände der Neigung des Rosts folgen und auf dem Rost stehen, so dass sich der hängende Kessel nach hinten über den Verschleißbereich hinaus ausdehnt. Die Verschleißbereiche sind mit Inconel-Belag versehen und als zwei Verdampferheizflächen ausgeführt, die ihre Wasserzufuhr von den beiden Hauptfallrohren erhalten. Von den beiden Heizflächen führen jeweils Siederohre zum Oberbehälter.

Der hier verwendete wassergekühlte Verschleißbereich wurde vorrangig für den größeren hängenden Kessel entwickelt, um die aus ungekühltem feuerfestem Material bestehende Fläche des Ofens zur Energieerzeugung aus Abfällen zu reduzieren.

Diesem ungekühlten feuerfesten Material haftet aber der Nachteil an, dass es hier regelmäßig zur Ablagerung großer Schlackenmengen kommt, woraus sich in einigen Fällen Betriebsstörungen der Anlage ergeben können. Insbesondere an den Seitenwänden des Feuerraums können solche Anbackungen die Zufuhr von Abfällen unterbrechen und somit den Verbrennungsprozess erheblich beeinträchtigen. Im Extremfall ergibt sich der vollständige Betriebsausfall. Deshalb besteht der mit der Reduzierung des feuerfesten Materials verbundene Vorteil darin, dass die Wartungskosten gesenkt werden können.

Der Kessel

Der Kessel für die Linie 4 ist als Vierzugkessel mit drei Strahlungszügen und einem Horizontalzug mit Überhitzer und Ekonomiser aufgebaut. Der Kessel wurde mit Naturumlauf ausgeführt.

Bei den Strahlungszügen handelt es sich um eine hängende Ausführung, während der Konvektivzug mit Überhitzer und Ekonomiser stehend ausgeführt worden ist.

Bei Zugrundelegung einer vorsichtigen Schätzung wurde der Kessel mit einer großen Heizfläche zwecks Erzielung langer kontinuierlicher Betriebszeiten ohne unzweckmäßige Ablagerungen von Asche während der Betriebsdauer ausgerüstet.

Der Kessel wurde auf Wunsch von I/S Reno Nord derart ausgelegt, dass die Anlage mit einem Luftüberschuss von 1,8 betrieben werden kann, was einem prozentualen Sauerstoffanteil am Abgas von 9,3 Vol.-% tr. entspricht.

Nachverbrennungszonen gehören zum ersten Strahlungszug des Dampferzeugers.

Die Nachverbrennungszone ist ausgemauert. Beim Eintritt zum ersten Zug sind in der Vorder- und Rückwand Sekundärluftdüsen angeordnet, durch die Sekundärluft mit hoher Geschwindigkeit zugeführt wird.

Am Anfang des ersten Zugs sind zwei modulierende Anfahr-/Hilfsbrenner für Leichtöl vorgesehen. Jeder Brenner hat eine Kapazität von 25 MW. Die Anordnung erfolgt seitlich im ersten Zug, wobei die Ausmauerung unter Berücksichtigung der notwendigen Brennerkonusse ausgeführt wird.

Keramische Brennerkopfschutzplatten werden benutzt, weshalb die Brenner nicht aus dem Feuerraum ausgezogen werden müssen, wenn sie außer Betrieb sind.

Im ersten Zug sind ebenfalls Düsen an den Seitenwänden auf zwei Ebenen zwecks Eindüsung einer Ammoniaklösung zur NO_x -Reduktion vorgesehen.

Der Rest des ersten Zugs sowie der obere Teil des zweiten Zugs sind mit Inconel verkleidet.

Im dritten Zug sind Hängewände angeordnet, damit eine ausreichende Senkung der Abgastemperatur vor dem Eingang zum Konvektivzug gewährleistet ist.

Die Hängewände sind mit Dampf Fußgebläsen zu reinigen, damit die erforderliche Abgastemperatur von 620 °C vor dem Überhitzer eingehalten werden kann.

Vor dem Überhitzer ist ein Vorverdampfer angeordnet.

Der Überhitzer ist in drei Sektionen eingeteilt, wobei Wassereinspritzvorgänge zwecks Regulierung der Dampftemperatur zwischen Überhitzer 1 und Überhitzer 2 sowie zwischen den Überhitzern 2 und 3, dem letzten Überhitzer, vorgesehen sind.

Zur Reinigung der Überhitzersektionen während des Betriebs kommen pneumatische Klopfer zum Einsatz.

Der Ekonomiser liegt in Horizontalausführung vor. Der Ekonomiser ist derart ausgelegt worden, dass es durch Zuleitung eines Teilstroms des Speisewassers zu Rohrschläuchen im Oberbehälter möglich wird, eine Abgastemperatur von 180 °C beim Austritt vom Ekonomiser während der gesamten Reisezeit aufrechtzuerhalten. Der Ekonomiser wird während des Betriebs mittels pneumatischer Klopfer gereinigt.

Turbinenanlage

Die Turbinenanlage wurde von B+V Industrietechnik GmbH geliefert.

Die Turbine wurde für ein Schluckvermögen von 120 Prozent der nominellen Dampferzeugung ausgelegt. Die Nennleistung des Generators beträgt 17,918 MW. Die Turbinenanlage ist mit einer Umlaufleitung zur Aufnahme des vollen Dampfolumens ausgerüstet.

Die Turbine ist mit einer Kontrollstufe und fünf auf zweiundzwanzig Stufen aufgeteilten Sektionen mit Reaktionsbeschaukelung im Anschluss hieran ausgerüstet.

Die Turbinenanlage ist mit zwei fernwärmegekühlten Kondensatoren versehen, und zwar jeweils einem für Hoch- bzw. Niederdruck.

Die Turbine ist mit unkontrollierter Dampfenahme zur Kondensatvorwärmung über Wärmetauscher sowie einer Entnahmevorrichtung zur Beheizung des Speisewassertanks ausgerüstet.

Die Kondensatvorwärmung verläuft zweistufig: Die Aufheizung der ersten Stufe erfolgt über die zweite Stufe des Abgaskühlers. Anschließend wird das Kondensat mit Hilfe von Entnahmedampf in einem getrennten Wärmetauscher zusätzlich temperiert, bis es in den Speisewassertank weitergepumpt wird, in dem es auf 130 °C temperiert wird.

Abgasreinigung

Als erste Stufe der Abgasreinigungsanlage wurde ein Drei-Feld-Elektrofilter, Fabrikat ALSTOM, eingebaut. Die Staubkonzentration nach dem Filter beträgt 10 mg/Nm³ bei einem Sauerstoffgehalt des Abgases von 11 Vol.-% tr. Die geringe Staubmenge beruht darauf, dass die Staubkonzentration am Eintritt des Skrubbers wegen der Auflagen zur Regelung der Einleitung von Schwermetallen in Abwässer möglichst gering zu halten ist.

Nach dem Elektrofilter folgt eine von LAB S.A. gelieferte Nassreinigungsanlage für Abgase.

Bei der LAB-Abgasreinigungsanlage handelt es sich um einen einzigartigen Prozess zum Abtrennen von Ammoniak, Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff, Quecksilber, Schwermetallen, Dioxinen und Festpartikeln aus dem Abgas bei Abfallverbrennungsanlagen. Zur Abgasreinigungsanlage gehört ebenfalls ein Ammoniakstripper zum Entfernen von Ammoniak aus dem Abwasser, ehe es der Kläranlage zugeführt wird. Die Stripperanlage wurde von Rauschert Verfahrenstechnik GmbH geliefert.

Hauptbestandteile der Abgasreinigungsanlage:

- Bei der ersten Stufe handelt es sich um einen offenen Sprüh-Skrubber. Hier wird das Abgas durch Eindüsen von Wasser am Eintritt des Skrubbers abgekühlt. Auf dieser ersten Stufe werden hauptsächlich Ammoniak, Chlorwasserstoff und Quecksilber entfernt. Als Reagenz dient Kalksteinschlamm.
- Die zweite Stufe ist ebenfalls ein offener Sprüh-Skrubber zur Abtrennung von hauptsächlich Schwefeldioxid. Als Reagenz dient Kalksteinschlamm.
- Die dritte Stufe besteht aus zwei Teilen, einem offenen, mit den patentierten LAB G Düsen ausgerüsteten Teil, und einem anderen Teil mit Füllkörpern. Diese Stufe ist zur Abtrennung von Dioxinen und Furanen vorgesehen. Dabei handelt es sich um den patentierten DEDIOXLAB Prozess zur Nasskatalyse.

Um dem Abgas Energie zu entziehen und den im Abgas befindlichen Wasserdampf zu verflüssigen, ist im Wasserkreislauf des Skrubbers ein Wärmetauscher vorgesehen, der die im Prozesswasser befindliche Energie ins Fernwärmenetz überträgt. Auf der dritten Stufe wird Natriumhydroxid zugesetzt. Natriumhydroxid ergibt eine schnelle Reaktion in Bezug auf Schwefeldioxidspitzen und vereinfacht etwaige Anpassungen. Im dritten Zug wird Herdofenkoks zum Entfernen von Dioxinen und Furanen injiziert.

- Die vierte Stufe setzt sich aus den sogenannten Agglo-Filtrier-Modulen (AFM) zusammen, die die restlichen Staubpartikeln abtrennen.
- Es folgen die Abwasserkläranlage einschließlich Ammoniakstripper zum Entfernen der aus dem Abgas ausgewaschenen Ammoniakemissionen,
- der Kalksteinsilo und die Kalksteinvorbehandlungsanlage,
- die Gipshandhabungsanlage und
- die Lagerbehälter für Herdofenkoks, die Vorbehandlungsanlage sowie das Eindüsungssystem.

2. Betriebserfahrungen – Leistungen

Im Anschluss an das Anlagenkonzept werden hier erste Betriebserfahrungen skizziert, die sowohl auch mit den gegebenen Garantien verglichen werden. Bezugszeitraum ist das erste Betriebsjahr bzw. die Probezeit.

2.1. Erzielte Leistung bei Gegenüberstellung mit Garantien

Im Zusammenhang mit der dreimonatigen Probezeit vor der vorläufigen Abnahme waren eine Funktionsprüfung bzw. vorläufige Erprobungen zum Nachweis dessen vorgesehen, dass die in Bezug auf Funktion und Umweltverträglichkeit gestellten, durch Garantien abzusichernden Anforderungen erfüllt werden könnten. Während des Prüfungszeitraums sollten mindestens dreihundert Stunden Dauerbetrieb vorliegen. Die Berichterstattung erfolgte auf Grund der durch die MSR-Anlage ermittelten betrieblichen Daten. Ein unabhängiges Messlabor wurde als unbeteiligte Partei mit der Vornahme von Emissionsmessungen in Bezug auf Abgas und Abwasser beauftragt. Ebenfalls wurden während der 300-Stunden-Prüfung Schlacken- und Aschenproben innerhalb von 12 Stunden zur Analyse auf TOC entnommen.

Folgender Aufstellung sind die Sollwerte gemäß der Garantie sowie die ermittelten Istwerte zu entnehmen (Tabelle 3).

Gemäß der Garantie ist zuzusichern, dass die Schwankungen der Dampferzeugung innerhalb einer Bandbreite von plus/minus zehn Prozent der nominalen Dampferzeugung bleiben.

Den Bildern 10 und 11 sind die ermittelten normalen Schwankungen des Dampfstromes sowie CO und O₂ zu entnehmen.

Tabelle 3: Sollwerte gemäß der Garantie sowie die ermittelten Istwerte

	Einheit	Messwert	Garantiewert
Energieeintrag	GJ/h	243,69	240,00
Abfallmenge	t/h	21,72	14 – 24
Heizwert	kJ/kg	11.277	8 – 14,5
Dampffluss	kg/s	22,55	22,42
Dampf Temperatur an Turbine	°C	422	422
Dampfdruck an Turbine	bar (a)	48	48
Stromerzeugung	MW	17,956	17,918
Eigenstrombedarf			
Ofen/Kessel	kWh/h	819	730
Turbinenanlage	kWh/h	171,4	256
Abgasreinigung	kWh/h	720	980
Stromverbrauch insgesamt	kWh/h	1.710,4	1.966
Gesamtanlage	kWh/h	2.332	
% bezogen auf Brennstoffwärme	%	3,5	

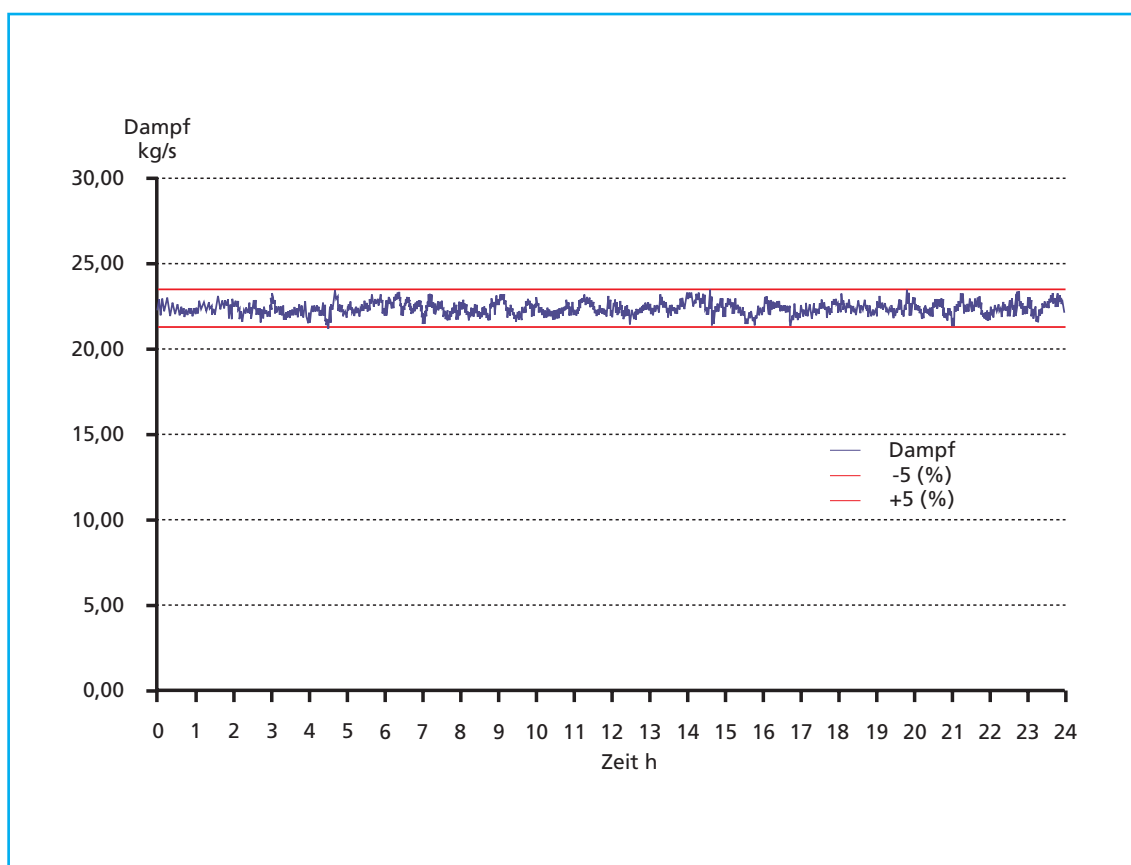


Bild 10: Normale Schwankungen des Dampfflusses

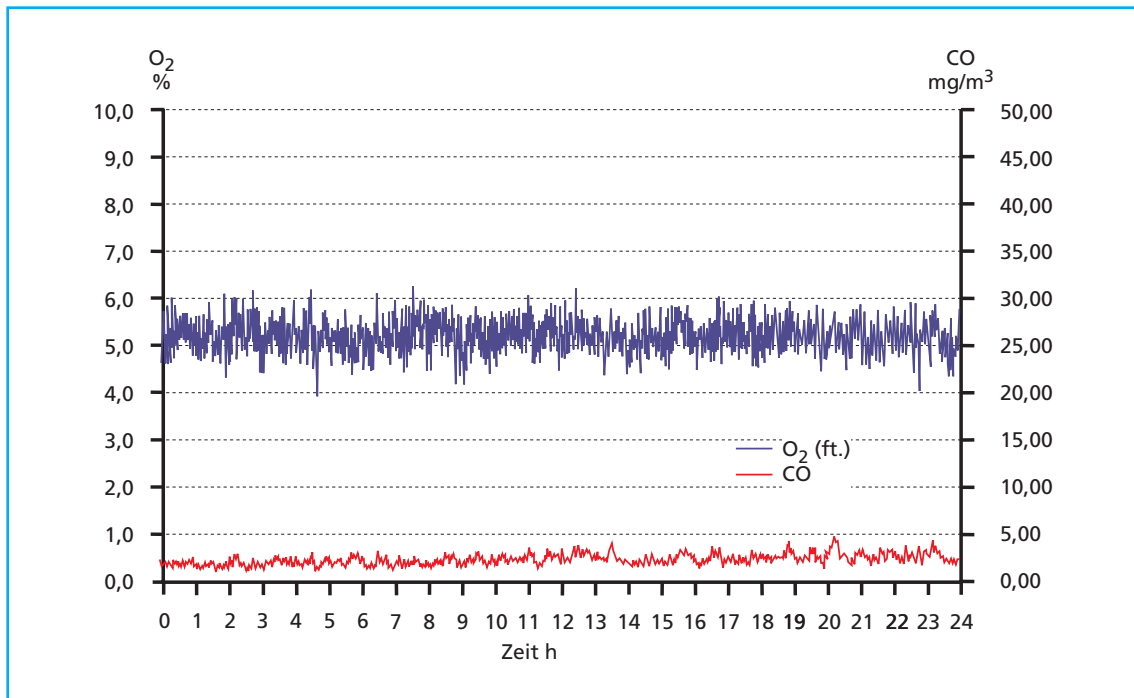


Bild 11: Normale Schwankungen der O₂- und CO-Gehalte

Tabelle 4: Umweltdaten

	Einheit	Messwert	Garantiewert
Schlacke und Asche			
Glühverlust bei Schlacke	% von TS	2,3	unter 3,3
TOC bei Schlacke	% von TS	0,27	unter 2,0
Glühverlust bei Kesselasche	% von TS	2,9	unter 5
Glühverlust – Gesamtasche	% von TS	5,4	
TOC bei Asche	% von TS	0,11	nicht verfügbar
Abgasemissionen			
Partikel			
nach Elektrofilter	mg/Nm ³	1,6	10
in Schornstein	mg/Nm ³	0,21	10
HCl	mg/Nm ³	0	5
HF	mg/Nm ³	unter 0,1	2
SO ₂	mg/Nm ³	7,4	20
Hg	mg/Nm ³	0,0028	0,05
Cd+Tl	mg/Nm ³	unter 0,0001	0,05
Summe Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm ³	unter 0,009	0,5
CO	mg/Nm ³	unter Nachweisgrenze	50
Dem Bild 11 sind Normalkurvenwerte für Sauerstoff und CO zu entnehmen.			
NO _x	mg/Nm ³	150	200
TOC	mg/Nm ³	unter Nachweisgrenze	10
Dioxin/Furan	ng I-TEQ/Nm ³	0,013	0,1

Geklärte Abwässer

Die Abwässer werden in der Kläranlage derart geklärt, dass sie die Behördenauflagen für die direkte Einleitung geklärter Abwässer in das Gewässer Limfjord erfüllen.

2.2. Das erste Betriebsjahr

Im August 2006 wurde die Linie 4 zwecks Durchführung der jährlichen Revision aus dem Betrieb genommen. Die Anlage wies damals eine Leistung von etwa 8.000 Betriebsstunden seit der Inbetriebnahme im Sommer 2005 auf.

Während der abgelaufenen Betriebszeit hat es einige planmäßige und außerplanmäßige Ausfallzeiten gegeben.

Anfang Dezember erfolgte eine im Rahmen der Garantie vorzunehmende Überprüfung von Feuerraum, Kessel und Abgasreinigung im Zusammenhang mit dem Auslauf der dreimonatigen Probetriebszeit und dem Anlauf der zweijährigen Garantiezeit. Während dieser Betriebsunterbrechung kam es zu keinerlei Reinigung des Kessels.

Im Januar 2006 ereignete sich bedingt durch Fehler im 150-kV-Stromnetz ein Gesamtausfall der Anlage, woraus sich ein Trockenkochen des Kessels ergab – jedoch ohne wesentliche Schäden. Die Ausfalldauer betrug etwa 36 Stunden.

Im Februar 2006 wurde eine etwa neun Tage lange Pause zum Austausch von Generatorlagern eingelegt. Während dieser Stilllegungsphase wurden auch Änderungen der Wasserfüllstandsregulierung des Kessels vorgenommen, zudem kam es zum Umbau der Aschenförderanlage.

Im März musste die Anlage wegen der Anhäufung von Asche im Elektrofilter-Bodentrichter aus dem Betrieb genommen werden. Es kam zu einer zusätzlichen Ausfallzeit wegen eines Fehlers an der Hochspannungseinheit an einem Feld des Elektrofilters.

Abgesehen von diesen Ausfallzeiten hat die Anlage während der abgelaufenen Betriebszeit von etwa 8.000 Stunden eine vertragsgemäße Leistung durch Abfallverbrennung und Energieerzeugung unter Einhaltung der Umweltschutzaufgaben erbracht.

Nachstehender Tabelle ist ein Vergleich der Betriebsdaten für Ofen bzw. Kessel vor und nach der manuellen Reinigung zu entnehmen.

Als Ausgangspunkt gelten die in der MSR-Anlage gespeicherten Betriebsberichte sowie Umweltberichte, und zwar jeweils für den 27. Juli 2006, also vor der Reinigung, und für den 27. August 2006 nach der Reinigung. Der 27. Juli 2006 liegt unmittelbar vor der Betriebsstilllegung, während am 27. August 2006 etwa vierzehn Tage nach Inbetriebnahme der Anlage mit Abfallverfeuerung verstrichen waren.

Wie den Zahlen zum Stand vor der Reinigung zu entnehmen ist, beträgt die Abgastemperatur vor OH 2, dem 1. Überhitzer in der Abgasrichtung, 585 °C, die Anforderung liegt bei maximal 620 °C.

Tabelle 5: Vergleich von Betriebsdaten

	Einheit	27.07.2006	27.08.2006
Kessellast	%	102,5	102,1
verfeuertes Volumen	kg/h	21.119	22.227
Heizwert	MJ/kg	11,1	10,5
Temperatur vor EVAP	°C	606	510
Temperatur vor OH 2	°C	585	500
Temperatur vor OH 3	°C	529	446
Temperatur vor ECO 3	°C	320	293
Temperatur nach Kessel	°C	180	180
Abgasdruck vor EVAP	Pa	59	60,3
Abgasdruck vor ECO	Pa	-153	-68,1
Abgasdruck nach ECO	Pa	-304	-196,6
Temperatur Speisewasser	°C	131	131
Durchfluss Speisewasser	kg/s	22,546	22,58
Druck Speisewasser	bar	79,5	82,2
Durchfluss Hauptdampf	kg/s	22,277	22,309
Druck Hauptdampf	bar	47,708	47,402
Temperatur Hauptdampf	°C	423	417
Temperatur Dampf v. OH 2	°C	363	349
Temperatur Dampf n. OH 2	°C	409	390
Temperatur Dampf v. OH 3	°C	380	389
Durchfluss Wassereinspritzung	kg/s	1	0
Temperatur Speisewasser v. ECO	°C	134	165
Temperatur Speisewasser n. ECO	°C	226	215
Druck Oberbehälter	bar ü	55,9	56,2
Durchfluss Heißwassersystem	kg/s	7	6
Temperatur v. warm. Abgaskühler	°C	75	75
Temperatur n. warm. Abgaskühler	°C	155	155
Abgastemperatur v. Abgaskühler	°C	182	179
Kondensattemperatur n. Abgaskühler	°C	93	92
Abgasdruck n. Abgaskühler	mbar	-21	-17
Abgasströmung Schornstein	m³/h	169.437	169.345
Abgastemperatur Schornstein	°C	65	65
Sauerstoff in Schornstein	Vol.-% tr.	6,8	6,4
Fernwärmeenergie	MJ/s	45,6	44,9
Generator	MW	17,3	17,2

Die Abgastemperatur oben im zweiten Zug am Übergang zwischen erstem und zweiten Zug wurde vor der Reinigung mit 717 °C gegenüber einem vorgegebenen Wert von maximal 900 °C gemessen.

Wie der Tabelle weiterhin zu entnehmen ist, beträgt die Abgastemperatur nach dem Kessel am 27. Juli 180 °C gegenüber einem Vorgabewert von 180 °C.

Die Temperatur des Speisewassers vor dem Ekonomiser betrug am 27. Juli 134 °C, die Speisewassertemperatur davor 131 °C. Das heißt, dass nach wie vor Speisewasser durch die im Oberbehälter vorhandenen Wärmeschläuche geleitet wird, wobei das Speisewasser hier auf 134 °C aufgeheizt wird. Es erfolgt deshalb immer noch eine Regulierung der Abgastemperatur mittels des Speisewassers. Die Temperatur des Speisewassers nach dem Ekonomiser betrug 226 °C.

Am 27. August, als der Kessel rein ist, beträgt die Speisewassertemperatur vor dem Ekonomiser 165 °C und nach dem Ekonomiser 215 °C.

Der abgasseitige Druck vor Reinigung wurde am 27. Juli mit -304 Pa gemessen. Am 27. August wurde der Druck mit -197 Pa gemessen. Also ist es nach etwa 8.000 Betriebsstunden zur Steigerung um 107 Pa gekommen.

Bei der Überprüfung der Heizflächen des Kessels vor der Reinigung konnte festgestellt werden, dass es im Großen und Ganzen freien Durchfluss für das Abgas im gesamten Konvektivteil gab. An keinen Stellen waren Anzeichen einer Versperrung zwischen den einzelnen Rohrreihen festzustellen.

Bei der Überprüfung wurden ansatzweise Korrosionserscheinungen im zweiten Zug an der Kesselwand zwischen erstem und zweiten Zug nach dem Inconel-Belag festzustellen. Es könnte sich als erforderlich herausstellen, den Inconel-Belag im zweiten Zug weiter nach unten zu verlängern.

Vor diesem Hintergrund lässt sich feststellen, dass die Anlage die Anforderung einer Reisezeit von 8.000 Stunden zwischen manuellen Reinigungsvorgängen erfüllt.

Im Laufe des ersten Betriebsjahres hat es sich herausgestellt, dass der Lärmpegel im Bereich des Abgaskühlers den zulässigen Wert von 80 dB(A) überschritten hat. Eine nähere Untersuchung des Problems ließ mit großer Wahrscheinlichkeit darauf schließen, dass der hohe Lärmpegel auf eine strömungsbezogene akustische Wechselwirkung im Abgaskühler zurückzuführen war. Vor diesem Hintergrund wurden Berechnungen durchgeführt, aus denen sich der Einbau zweier Ablenkplatten zwischen den unteren Rohrreihen bei Verlängerung nach unten in das Übergangsstück zwischen dem Abgaskühler und dem Quench am Eintritt des Skrubbers ergab. Hierdurch wurde der Lärmpegel zwar reduziert, verfehlte aber immer noch den Garantiewert. Zurzeit werden mögliche Alternativen zur Lösung dieses Problems überprüft, damit der zugesicherte Wert für den Lärmpegel eingehalten werden kann.

3. Zusammenfassung

Das Abfalltechnologiekonzept von Babcock & Wilcox Vølund ApS basiert auf BS Technologie und Vølund Systems Plattformen.

Für die Linie 4 von I/S Reno Nord wurde BS Technologie eingesetzt. Mit Anlagen, die auf dieser Technologieplattform mit BS-W Mark 5 oder Mark 6 Verbrennungsrost basieren, lassen sich folgende Leistungen erzielen:

- Abfallflexibilität,
- hohe Energieeffizienz,
- gleichmäßige und stabile Energieerzeugung,
- ein einheitlicher und effizienter Verbrennungsprozess, der sehr niedrige CO-Werte gewährleistet und die in den Abgasen vorhandenen, nicht ausgebrannten organischen Verbindungen minimiert,
- hoher Ausbrandgrad bei Schlacke und Asche,
- lange Reisezeit und hohe Verfügbarkeit.

Für I/S Reno Nord lag der Schwerpunkt beim Bau der Linie 4 bei der Anwendung sicherer, zuverlässiger und bewährter Technologie bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz und langen kontinuierlichen Betriebszeiten unter Einhaltung der für die Linie 4 festgesetzten, strengen Umweltschutzauflagen.

Die nach ungefähr einjährigem Betrieb erzielten Ergebnisse belegen, dass diese Anforderungen erfüllt sind.

Der beschriebene Anlagenaufbau mit einem mit Inconel-Belag versehenen, groß ausgelegten Feuerraum und der begrenzten Verwendung feuerfesten Mauerwerks sowie dem auf Grund vorsichtiger Schätzungen ausgelegten Kessel mit niedrigen Abgastemperaturen vor den Überhitzern lassen zusammen mit der Möglichkeit, einen Teil des Rostteppichs auf Wasserkühlung umzurüsten, die Anlage für die Verbrennung zunehmend heizwertreicher Abfälle als optimal geeignet erscheinen.

Gleichzeitig belegen die erzielten Ergebnisse, dass die Herbeiführung hoher elektrischer Wirkungsgrade mit bewährter Technologie auch ohne den Rückgriff auf extreme Dampfdaten möglich ist, woraus sich eine erhebliche Reduzierung des Betriebsrisikos ergibt.