

ABHITZEKESSEL | Die Papierindustrie ist einer der energieintensivsten Wirtschaftszweige. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an eine effiziente Energieversorgung. Im Jahre 2008 wurden zwischen der Myllykoski-Gruppe und der E.on Energy Projects (EEP) Verträge zur Versorgung der Papierproduktion in Plattling mit Prozessdampf und Strom geschlossen. Die eigens gegründete E.on-Tochtergesellschaft Kraftwerk Plattling GmbH betreibt zu diesem Zweck die neu errichtete Gas- und Dampfturbinen (GuD)-Anlage. Der Abhitzekeessel – als eine der Hauptkomponenten – wurde von der Standardkessel GmbH mit Sitz in Duisburg geliefert.



Bild 1

Gesamtansicht des Kraftwerks Plattling.

Planung, Bau und Betrieb eines Abhitzekeessels für das GuD-Kraftwerk Plattling

Abgaswärme optimal nutzen

Der Abhitzekeessel (AHK) im Plattlinger Kraftwerk (**Bild 1**) wird mit einer GE-PG-6111-Gasturbine, die eine Abgaswärmeleistung von 135 MW (bei 10 °C) hat, und mit einer maximalen 58-MW-Zusatzfeuerung betrieben. Der AHK erreicht bei Volllast eine Dampfleistung von 201 t/h bei 92 bar Dampfdruck und 532 °C Dampftemperatur. Gas- und Dampfturbine erzeugen zusammen bis zu 110 MW Strom; die Papiermaschine wird mit bis zu 160 t/h Prozessdampf bei einem Druck von rund 4,6 bar aus der Entnahme-Kondensatorsturbine versorgt.

Konzeptentwicklung Abhitzekeessel

Mit der Ausschreibung war die Bauform des Horizontalzugkeessels aus Geometriegründen verbindlich vorgeschrieben. Im ersten Angebot hatte sich Standardkessel für eine ungekühlte Brennkammer und zur Verbesserung des Wirkungsgrades für ein Zweidrucksystem mit 4 bar Niederdruckdampf entschieden.

Im Laufe der Planungen wurde die Anforderung dahingehend gesteigert, dass die Zusatzfeuerung (ZF) mit bis zu 58 MW Leistung im Dauerbetrieb einge-

setzt werden sollte. Der Charakteristik eines Abhitzekeessels entspricht es, dass die Abgastemperatur nach dem HD-Teil mit zunehmender Zusatzfeuerung abnimmt und somit der Niederdruckteil nicht mehr sehr effektiv ist. Vor diesem Hintergrund wurde ein Eindrucksystem mit unterkühltem Speisewasser (75 °C) gewählt. Mit Erhöhung der Leistung der ZF ergab sich eine Überschreitung der von Standardkessel gewählten maximal zulässigen, adiabaten Feuerraumtemperatur für die ungekühlte Brennkammer. Für den sicheren Betrieb bei diesen erhöhten Bedingungen wurde einer gekühlten Brennkammer der Vorzug gegeben. Dieses Konzept bietet die Vorteile höherer Änderungsgeschwindigkeit bei Lastwechseln, einer höheren Verfügbarkeit sowie einer längeren Standzeit.

Eventuell zukünftigen, schärferen Forderungen an die zulässigen Emissionen wurde durch die Schaffung eines entsprechenden Leerraums zur Nachrüstung eines Katalysators Rechnung getragen.

Beschreibung des Abhitzekeessels

Die rund 600 °C heißen Abgase der Gasturbine (GT) werden durch den Abhitzekeessel geleitet. Dieser ist als Natur-

umlaufkeessel in horizontaler Bauweise mit Obertrommel errichtet (**Bild 2**). Der Kessel erzeugt Dampf unter wirtschaftlicher Ausnutzung der GT-Abwärme; zur Erhöhung der Kesselleistung ist auf der Abgasseite (Kesseleintritt) eine Zusatzfeuerung mit acht Flächenbrennerelementen zur Verbrennung von Erdgas (EG) installiert. Der Kessel besteht aus einem Economiser, Verdampfer (Module und Wandheizflächen), Obertrommel sowie einem dreistufigen Überhitzer. Zur Regulierung der Heißdampftemperatur ist zwischen den Überhitzerstufen je ein Einspritzkühler eingebaut.

Die Gasturbinenabgase durchströmen nacheinander in waagerechter Richtung

- Abgaskanal zwischen GT und Zusatzfeuerung,
- Zusatzfeuerung,
- gekühlte Brennkammer (Membranwand als Strahlungsverdampfer),
- Verdampfergitter (Modul 1),
- Überhitzer 3.2 und 3.1 (Modul 2 + 3),
- Überhitzer 2 (Modul 4),
- Überhitzer 1 (Modul 5),
- Verdampfer (Module 6 und 7),
- Leerzug für die Nachrüstung eines Katalysators,
- Verdampfer (Module 8 und 9),
- Economiser (Module 10 – 31),
- Kamin.

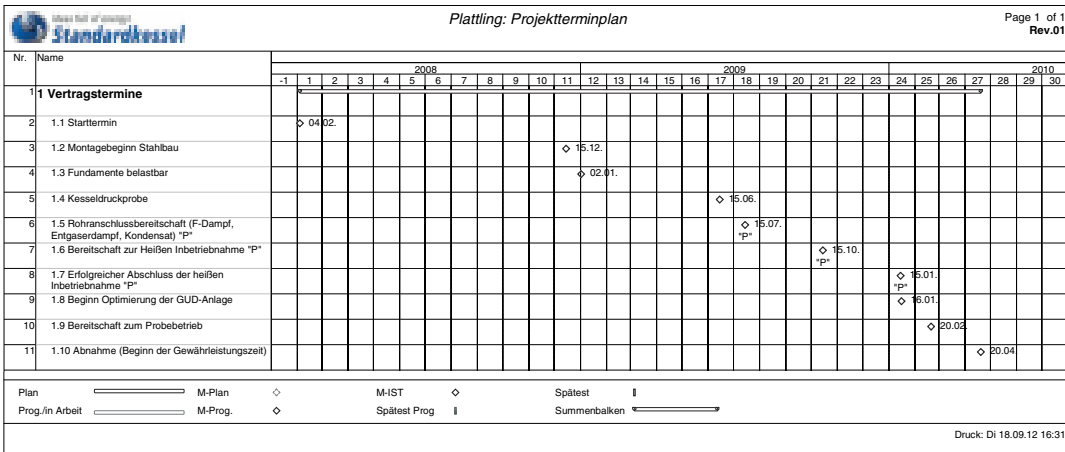


Bild 3

Ecktermine zur Planung und Erstellung des Abhitzeessels.

Der Economiser (ECO) dient zur Abkühlung der Rauchgase bei gleichzeitiger Vorwärmung des Speisewassers.

Das Speisewasser wird im Speisewasserbehälter und dem zugehörigen Entgaser durch Heizdampf auf rund 105 °C erwärmt. Zwischen Speisewasserbehälter und den Speisepumpen ist ein Wärmeaustauscher geschaltet, der das Speisewasser kühlt, indem er das Nachspeisewasser (Kondensat und Deionat) vor Eintritt in den Entgaser erwärmt. Zwei 100%-Speisepumpen fördern das Speisewasser zum Kessel. Im Anschluss folgen der Economiser 1 (10 Module) sowie der Economiser 2 (12 Module). Um den ECO auch zur Vorwärmung des Einspritzwassers der beiden Einspritzkühler nutzen zu können, ist das Speisewasserregelventil statt am Kesseleintritt hinter dem ECO angeordnet. Da der ECO somit wasserseitig absperrbar ist, befindet sich zur Absicherung gegen eine unzulässige Druckerhöhung durch thermische Expansion (Berechnungsdruck 180 bar) am Eintritt des ECO ein Sicherheitsventil.

Im Anschluss an den ECO wird das Wasser über das Speisewasserregelventil zur Dampftrommel geführt, wo es zur gleichmäßigen Verteilung und Durchmischung mit dem Trommelinhalt über ein Düsenrohr eingeleitet wird. Durch Fallrohre strömt das Wasser aus der Trommel in die Kesselsammler. Wegen des großen Wasserinhalts ist eine bestmögliche Verteilung auf die Zulaufrohre der einzelnen Systeme des Verdampfers gewährleistet. Das Wasser-Dampf-Gemisch gelangt über die Überströmröhre zur Trommel zurück.

In der Trommel erfolgt die Trennung von Wasser und Dampf mittels Trommeleinbauten und einem Demister. Über eine Vielzahl von Einzelrohren wird der Satttdampf mit geringer Geschwindigkeit entnommen und zum Überhitzer geleitet.

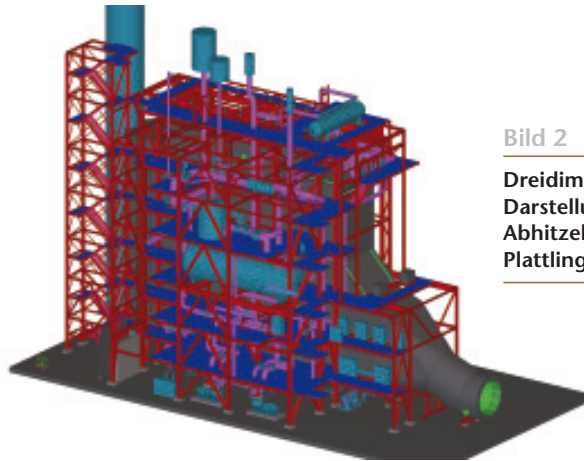


Bild 2

Dreidimensionale Darstellung des Abhitzeessels Plattling.

Im Anschluss an Überhitzer 1 und vor Überhitzer 2 (Ü2) befindet sich der Einspritzkühler 1 zur Regelung der Temperatur hinter Ü2. Analog befindet sich zwischen Überhitzer 2 und Überhitzer 3 (Ü3) der Einspritzkühler 2 zur Regelung der Frischdampf Temperatur hinter Ü3. Gegen Überdruck ist der Kessel mit einem Sicherheitsventil am Kesselaustritt abgesichert.

Beschreibung des Feuerungssystems

Das Feuerungssystem ist als Kanalbrenner mit einer maximalen Feuerungsleistung von 58 MW ausgelegt und nach dem Abgaskanal und vor dem Kessel angeordnet. Der Brenner besteht aus acht Brennelementen, die zu vier Gruppen mit je zwei Elementen zusammengeschaltet sind. Jedem Brennelement sind zwei Flammenwächter (1 von 2 – Technik) und ein Zündbrenner mit separatem Flammenwächter zugeordnet.

Die Regelung der Erdgasmenge erfolgt durch ein Regelventil (Regelbereich 1: 10) gemeinsam für alle Brennergruppen. Der zur Verbrennung erforderliche Sau-

erstoff wird der Zusatzfeuerung mit dem Turbinenabgas ungerregelt zugeführt.

Erstellung und Inbetriebsetzung der Anlage

Der Auftragseingang konnte am 22. Februar 2008 bei Standardkessel gebucht werden. Die mit dem Kunden vereinbarten Ecktermine sind in Bild 3 zusammengefasst. Es ergibt sich eine Durchlaufzeit von insgesamt 26 Monaten. Die Arbeiten konnten während der gesamten Bauzeit im Termin gehalten und der Kessel planmäßig zur Optimierung der Gesamtanlage zur Verfügung gestellt werden.

Zum Abschluss der Inbetriebsetzung des Abhitzeessels wurden Abnahmemessungen zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben als auch der vertraglich vereinbarten Beschaffenheitsmerkmale durchgeführt.

Besondere Bedeutung kommt den Emissionswerten für NO_x und CO zu. In Bild 4 sind die gleitenden Grenzwerte für NO_x und CO sowie der gleitende Bezugssauerstoff in Abhängigkeit der Zusatzfeuerungswärmeleistung dargestellt.

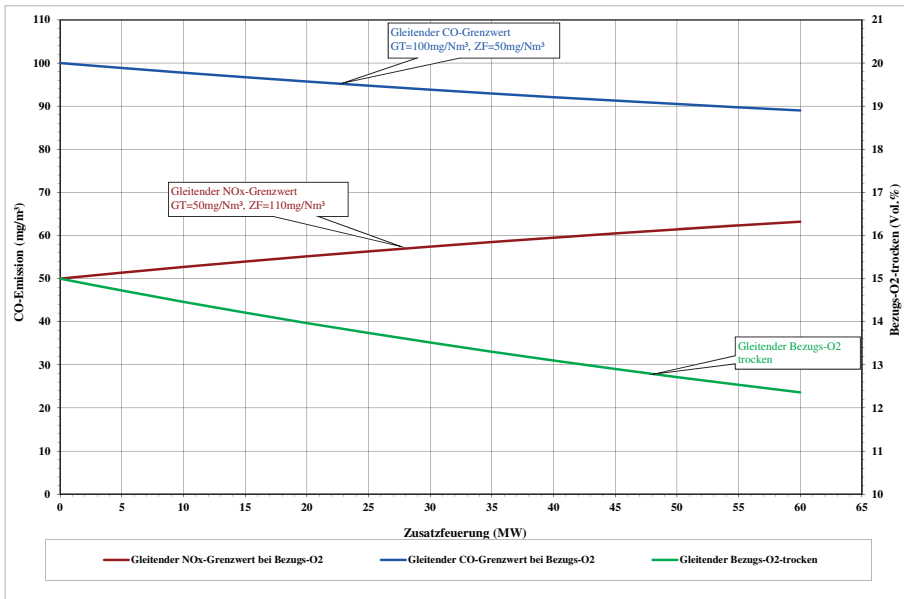


Bild 4

Gleitende Grenzwerte nach NLIS (Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz) für CO, NO_x und O₂ in Abhängigkeit von der Zusatzfeuerungsleistung.

In der **Tabelle** sind die Versuchsergebnisse den gesetzlichen bzw. vertraglichen Grenzwerten gegenübergestellt. Man erkennt, dass sowohl die Emissions-Grenzwerte nach dem Niedersächsischen Landesamt für Immissionsschutz (NLIS) als auch alle Vertragswerte sicher eingehalten werden.

Die zugesagte Verfügbarkeit von 98 % wurde mit 99,66 % in der einjährigen Messperiode ebenfalls deutlich überschritten.

Erste Betriebserfahrungen/ ausgewählte Lastfälle

Neben den oben beschriebenen Beschaffenheitsmerkmalen wurden seitens des Betreibers zahlreiche Zusatzanforderungen für die sichere und flexible Versorgung der Papierfabrik mit Strom und Dampf gestellt. Einige dieser Lastfälle sollen im Folgenden behandelt werden.

Anfahren

Bild 5 zeigt das Anfahren aus dem kalten Zustand allein mit Turbinenabgas bis zum Erreichen der Betriebsparameter im Abhitzebetrieb bei 100 % GT-Last. Der Kessel wird mit einer Gasturbinenlast von rund 8 % beaufschlagt. Dabei beträgt die Abgastemperatur rund 493 °C, so dass der Kessel ohne Dampfströmung angefahren werden kann. Nach rund 55 Minuten ist ein Druck von 40 bar erreicht und der Kesselschieber wird geöffnet. Wenn sich stabile Verhältnisse in Bezug auf Dampfmenge (Kühlung der Überhitzer) und Dampftemperatur eingestellt haben, kann die GT-Leistung gesteigert werden. Nach rund 80 Minuten ist der Betriebsdruck von 89 bar und nach weiteren 30 Minuten ist die volle GT-Leistung und damit auch die volle Dampfmenge von 117 t/h erreicht.

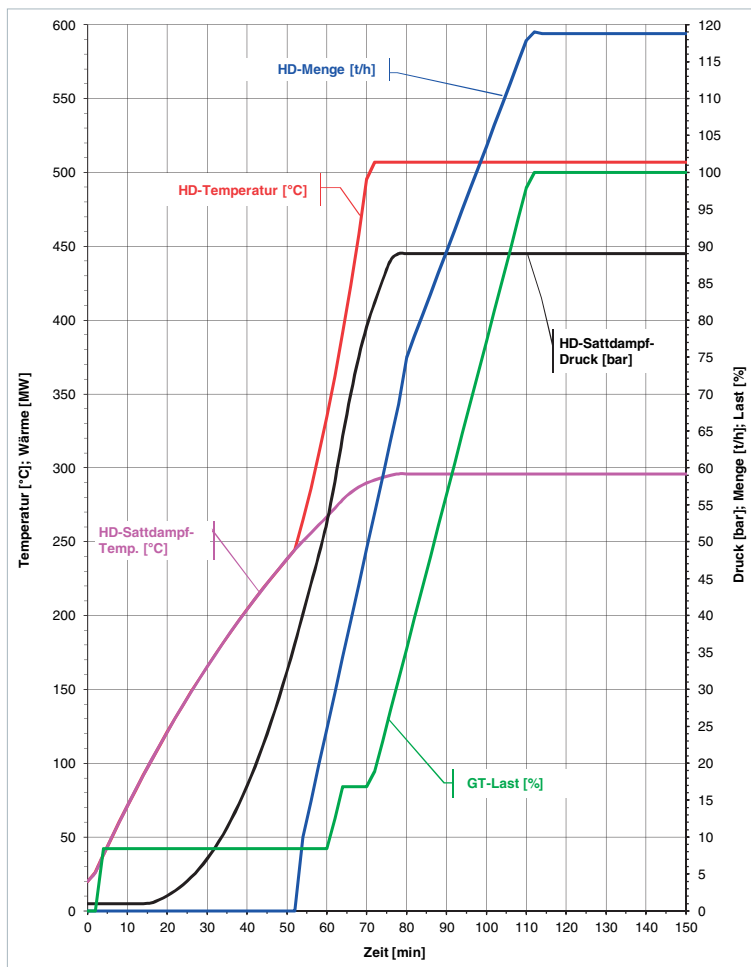


Bild 5

Anfahren aus dem kalten Zustand bis zum Erreichen der maximalen Last im Abhitzebetrieb (Heißdampfparameter: Druck 89 bar, Temperatur 507 °C, Menge 117 t/h).

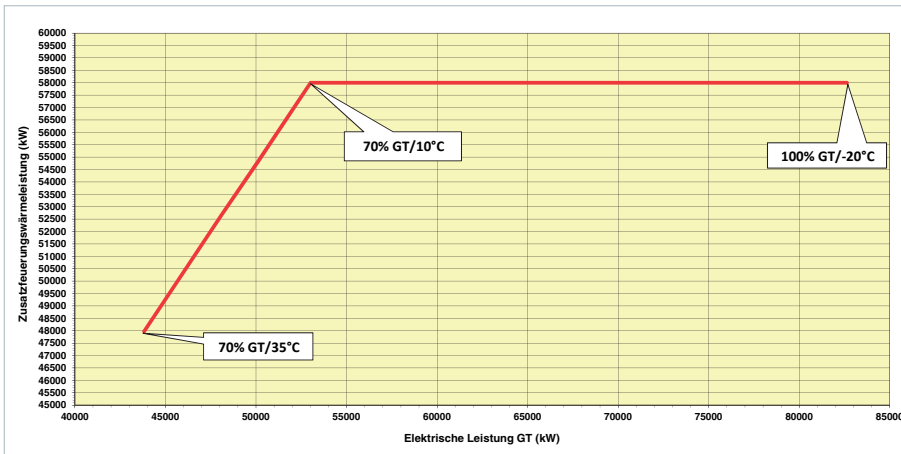


Bild 6

Maximale Zusatzfeuerung in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung der Gasturbine.

	Einheit	Beschaffenheitsmerkmal	Grenzwert nach NLIS ¹⁾	Versuchswert (korrigiert auf Gewährleistungsbedingungen)
NO _x -Änderung infolge ZF ²⁾ = 51,8 MW	mg/MJ	40	–	25,7
NO _x -Änderung infolge ZF ²⁾ = 33,9 MW	mg/MJ	40	–	13,4
CO-Änderung infolge ZF ²⁾ = 51,8 MW	mg/MJ	40	–	– 2,1
CO-Änderung infolge ZF ²⁾ = 33,9 MW	mg/MJ	40	–	19,6
NO _x bei ZF ²⁾ = 51,8 MW	mg/m ³ (i.N.)	–	61,8	41,3
NO _x bei ZF ²⁾ = 33,9 MW	mg/m ³ (i.N.)	–	58,3	35,8
CO bei ZF ²⁾ = 51,8 MW	mg/m ³ (i.N.)	–	90,2	4,5
CO bei ZF ²⁾ = 33,9 MW	mg/m ³ (i.N.)	–	93,1	8,4
Brennstoffwärme der Zusatzfeuerung	MW	37,8	–	37,812
Dampfmenge	t/h	117,0	–	119,03
Dampftemperatur	°C	507	–	509,3
elektrischer Eigenbedarf	kW	835	–	798,8

Tabelle

Gegenüberstellung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte bzw. vertraglich vereinbarten Beschaffenheitsmerkmale und der Abnahmeversuchs-Ergebnisse.

¹⁾ NLIS = Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz; ²⁾ Zusatzfeuerung

Maximale Zusatzfeuerung bei GT-Teillast

Kundenseitig bestand der Wunsch, bei Teillast der GT die Zusatzfeuerung möglichst zu 100 % einsetzen zu können. Aus diesem Grund wurden die wärmetechnischen Berechnungen für den Lastbereich der Gasturbine von 70 bis 100 % und für die Umgebungslufttemperaturen im Bereich von – 20 °C bis + 35 °C unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen durchgeführt: Zum einen war die adiabatische Feuer- raumtemperatur (zur Begrenzung der Rauchgastemperatur vor den Überhitzerheizflächen) limitiert; zum anderen war ein Mindestabstand der Dampftemperatur hinter EK1 zur Sattedampftemperatur einzuhalten, um bei Lastwechseln nicht in den Sattedampfbereich zu gelangen.

Bild 6 ist zu entnehmen, dass die maximale Zusatzfeuerung unter Einhaltung der bereits angegebenen Randbedingungen nicht über den gewünschten Bereich gefahren werden kann. In der elektrischen Leistung der GT (x-Achse) ist die Abhängigkeit von der Last der GT (70 bis 100 %) und von der Umgebungslufttemperatur (– 20 °C bis 35 °C) berücksichtigt. Die maximale Zusatzfeuerungsleistung von 58 MW kann nur in dem Bereich von 70 % GT-Last und einer Umgebungslufttemperatur von 10 °C bis zu 100 % GT-Last und einer Umgebungslufttemperatur von – 20 °C gefahren werden. Bei 70 % GT-Last fällt die maximal mögliche Zusatzfeuerung mit steigender Umgebungslufttemperatur ab und liegt bei 35 °C bei nur noch 48 MW.

Zusammenfassung

Die Kraftwerk Plattling GmbH versorgt mit der neu errichteten GuD-Anlage die Papierfabrik der Myllykoski-Gruppe mit Prozessdampf und Strom. Die Standardkessel GmbH hat zur Ausnutzung der Abgaswärme der PG-6111-Gasturbine einen Abhitzekegel in Horizontalbauweise mit einer Zusatzfeuerungswärmeleistung von 58 MW geliefert, der bei 96 bar und 532 °C eine Dampfleistung von 201 t/h erzeugt. Nach der termingerechten Fertigstellung der Anlage konnte die sichere Einhaltung aller gesetzlichen und vertraglichen Beschaffenheitsmerkmale in den Abnahmeversuchen nachgewiesen werden. In der inzwischen mehr als zweijährigen Betriebszeit hat sich der AHK als sehr zuverlässige (Verfügbarkeit 99,66 %) und flexible Komponente erwiesen.

Dr. Gerd Albers, Standardkessel, Duisburg

www.standardkessel.de