



**Weltweit leistungsstärkste
Dampfturbogruppen im Braunkohlekraftwerk
Lippendorf**

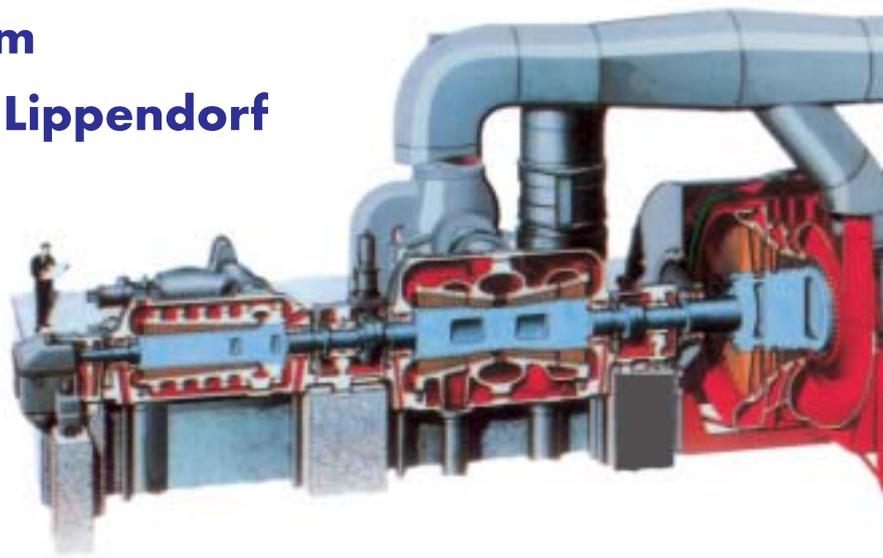
ALSTOM

Power
Turbomachinery
Steam Turbine Business

Weltweit leistungsstärkste Dampfturbogruppen im Braunkohlekraftwerk Lippendorf

Die zwei 933 MW Dampfturbogruppen, die ALSTOM für das Braunkohlekraftwerk Lippendorf, Deutschland, lieferte, sind die weltweit leistungsstärksten und effizientesten Hochtemperatur-Einwellenanlagen für fossil gefeuerte Kraftwerke. Bei Volllast arbeiten die Kraftwerksblöcke mit einem Nettowirkungsgrad von 42,4%. Massgebend für diesen sprunghaften Wirkungsgradanstieg ist der Hochtemperaturprozess, der im Braunkohlekraftwerk Lippendorf mit grossem Erfolg eingesetzt wurde. Für die mit überkritischen Dampfparametern beaufschlagten Schlüsselkomponenten der Turbinen wurden verbesserte Materialien mit hoher Warmfestigkeit verwendet. Die erste Turbogruppe wurde im Oktober 1999 in Betrieb genommen, die zweite im Juni 2000.

Das südlich von Leipzig gelegene Braunkohlekraftwerk Lippendorf mit den Blöcken R und S war die dritte Neuanlage des vorhergehenden Betreibers VEAG Vereinigte Energiewerke AG, Berlin, jetzt VE-G (Vattenfall Europe Generation AG&Co.KG), und nimmt



bezüglich Technik und Wirtschaftlichkeit eine Spitzenstellung ein. Die für den neuesten Hochtemperaturprozess ausgelegten Blöcke realisieren den technologischen Entwicklungssprung zu überkritischen Dampfparametern und höheren Wirkungsgraden und setzen neue Maßstäbe in der Braunkohleverstromung.

Mit einer Leistung von je 933 MW und einem Nettowirkungsgrad von 42,4% zählen die Blöcke weltweit zu den effizientesten und grössten mit

Rohbraunkohle befeuerten Kraftwerken. Ursächlich für diesen sprunghaften Wirkungsgradanstieg ist der von ALSTOM massgeblich mit entwickelte und im Braunkohlekraftwerk Lippendorf mit grossem Erfolg eingesetzte

Hochtemperaturprozess, eine logische Weiterentwicklung der Kraftwerkstechnologie auf dem Weg zu höheren Wirkungsgraden. Untersuchungen zur Ermittlung der wirtschaftlichsten Prozessparameter ergaben, dass die Erhöhung der Frischdampf- und Zwischenüberhitzungsdampftemperaturen sowie des Frischdampfdrucks und der Vorwärmtemperatur die wirkungsvollsten Ergebnisse erzielen.

Im Europäischen Gemeinschaftsprogramm zur Entwicklung hochwarmfester Werkstoffe, dem sogenannten COST-Programm, wurden warmfeste Stähle mit ferritischmartensitischem Gefüge für den Einsatz im Hochtemperaturbereich und zur Anwendung im modernen Kraftwerksbau (Hochtemperaturtechnologie) untersucht.

Ein modifizierter 10%iger Chromstahl ermöglicht gegenüber den heute in Betrieb befindlichen Stählen eine Dampftemperaturerhöhung von über 30°C bei gleicher Dauerfestigkeit und Lebensdauer.

Für die mit erhöhten Dampfparametern voll beaufschlagten Komponenten der Dampfturbinenanlage Lippendorf, d.h.

Tabelle1 Technische Hauptdaten der Dampfturbinen

Leistung an den Generatorklemmen	933	MW
Frischdampfmenge	672.2	kg/s
Frischdampfdruck	259.5	bar
Frischdampftemperatur	550	°C
Dampfmenge nach Zwischenüberhitzung	596.8	kg/s
Dampfdruck nach Zwischenüberhitzung	49.8	bar
Temperatur nach Zwischenüberhitzung	582	°C
Kondensatordruck	0.038	bar

Fig. 1 933 MW Dampfturbogruppe für das Braunkohlekraftwerk Lippendorf. ALSTOM rüstete die neuen Blöcke R und S mit je einer solchen Turbogruppe für fossil gefeuerte Kraftwerke.



die geschmiedeten Wellen der Hoch- und Mitteldruck-Teilturbinen, die gegossenen Ventil- und Turbinengehäuse sowie die Dampfleitungen, stehen somit Materialien mit erheblich höherer Warmfestigkeit zur Verfügung. ■

Turbogruppe

Das Herzstück der mit Braunkohle befeuerten Kraftwerksblöcke sind die von ALSTOM gelieferten und montierten 933 MW Dampfturbogruppen. Sie sind die z. Zt. leistungsstärksten Hochtemperatur-Einwellenanlagen der Welt in fossil gefeuerten Kraftwerken und entstammen der neuen modularen ALSTOM Turbinenbaureihe mit Zwischenüberhitzung für den Leistungsbereich zwischen 100 und 1200 MW. Fig. 1, Tabelle 1.

Diese modulare Baureihe wurde speziell mit dem Ziel entwickelt, kundenspezifische Anforderungen bezüglich grosser Leistungen, Flexibilität im Betrieb, hoher Verfügbarkeit, niedrigem Wärmeverbrauch und kurzen Lieferzeiten zu erfüllen. Die ursprünglich für einen konventionellen Bereich von 565°C/565°C/250 bar und für



Fig. 2 Ansicht der Turbogruppe

Leistungen bis 1200 MW entwickelte und bereits vielfach eingesetzte Baureihe ist durch den Einsatz neuer Werkstoffe auch für den Hochtemperaturbereich von bis zu 600°C/600°C/300 bar geeignet.

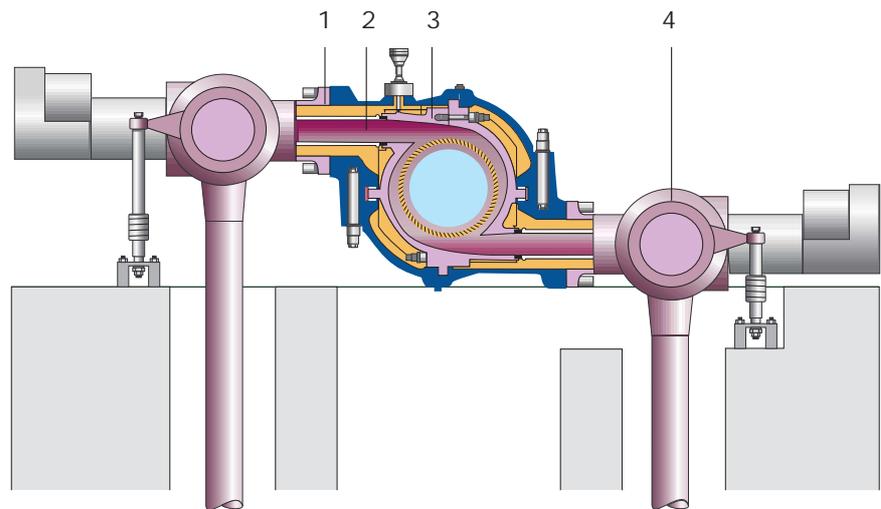
Durch Verwendung von 10%igem Chromstahl ist es möglich, diese Baureihe für den Hochtemperaturprozess einzusetzen, ohne Einschränkung und ohne dass konstruktive Neuentwicklungen notwendig werden. Die seit vielen Jahren bewährten Konstruktionsprinzipien der ALSTOM Dampfturbinen werden beibehalten. Für die thermisch elastischen zweischaligen Hochdruck- und Mitteldruck-Turbinengehäuse werden nur die Innengehäuse und die direkt an die HD- und MD-Aussengehäuse

angeflanschten Frischdampf- und Abfangventilgehäuse aus 10%igem Chromstahl gefertigt.

Die Führung des Frischdampfs zum Innengehäuse erfolgt über einen im Ventilgehäuse integrierten Diffusor, so dass das Aussengehäuse nicht der hohen Dampftemperatur ausgesetzt ist. Für Frischdampfdrücke von über 250 bar erweist sich die ALSTOM bewährte Schrumpfringkonstruktion des HD-Innengehäuses als sehr geeignet, da eine Anpassung an höhere Dampfdrücke durch einen zusätzlichen Schrumpfring oder geringfügige Verbreiterung der Schrumpfringe erfolgen kann bei gleichbleibender thermischer Flexibilität der Turbine im Anfahrbetrieb.

Fig. 3 Querschnitt durch die Hochdruck-Teilmaschine

- 1 Flanschverbindung ausgelegt für Hochdruck-Abdampfzustand
- 2 2 Diffusor Dampfdurchführung (Material: X 8 CrNiMoVNb 16 13)
- 3 3 HD-Innengehäuse (Material: G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11)
- 4 Frischdampf-Ventilgehäuse (Material: G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11)



Da die ALSTOM Turbinenläufer aus geschmiedeten Vollscheiben zu kompakten Wellenkonstruktionen zusammengeschweisst werden, wird der neue 10%ige Chromstahl nur an den heissesten Läuferstellen im Dampfeintrittsbereich der HD- und MD-Teilmaschinen eingesetzt. Diese Bereiche müssen nicht gekühlt werden. Die Wellenenden sind aus niedriglegiertem Stahl, so dass eine Auftragsschweißung des Wellenendes an der Lagerstelle nicht erforderlich ist.

Stetige Weiterentwicklung bewährter Bauteile führte unter Nutzung des Erfahrungsrückflusses darüber hinaus zum Einsatz neuer optimierter Lösungen. Dazu gehören die Eintrittsspiralen und die radial-axial angeordnete erste Beschleunigungsstufe bei allen Teilmaschinen sowie vortordierte Laufreihen und neue nach modernsten 3D-CAD-Verfahren optimierte Schaufelprofile.

Die Turbogruppe besteht aus einer einflutigen Hochdruck-, einer zweiflutigen Mitteldruck- und drei zweiflutigen Niederdruckteilmaschinen. Fig. 2. Der Läuferstrang ist zwischen den Teilmaschinen und dem Generator jeweils nur einmal gelagert. Die Läufer der Teilmaschinen und des Generators sind über integrierte Spannhülzenkupplungen

starr verschraubt. Axial angeordnete Wellendichtungen in Labyrinthbauweise mit gefederten Ringsegmenten an den Läuferdurchführungen der Teilmaschinen verhindern ein Austreten des Dampfes.

Der Frischdampf strömt vom Kessel durch die Zudampfleitungen zu den am HD-Aussengehäuse angeflanschten Frischdampfschnellschluss- und -stellventilen. Über den verlängerten Diffusor der Stellventile gelangt der Dampf zu zwei im HD-Innengehäuse integrierten 180° Eintrittsspiralen und von dort über die radial-axial angeordnete erste Beschleunigungsstufe in den Reaktionsteil der HD-Teilmaschine. Fig. 3. In der Reaktionsbeschleunigung expandiert der Dampf und strömt durch den Abdampfraum des HD-Aussengehäuses zu den beiden Abdampfstützen.

Von hier wird der Dampf zu den Zwischenüberhitzern und danach zu den kombinierten Abfangschnellschluss- und -stellventilen der MD-Teilmaschinen geführt. Die Dampfzuführung von den Ventilgehäusen zum MD-Innengehäuse erfolgt hier über geflanschte wärmeelastische Dampfleitungen. Fig. 4. Über zwei im MD-Innengehäuse integrierte 180° Eintrittsspiralen strömt der überhitzte

Dampf durch die radial-axial angeordnete erste Beschleunigungsstufe und expandiert in der zweiflutigen Reaktionsbeschleunigung auf den MD-Abdampfdruck. Anschließend strömt er über zwei am MD-Aussengehäuseoberseite angeordnete Abdampfstützen und durch Überströmleitungen zu den drei ND-Teilmaschinen.

Durch vertikal angeordnete Dampfleitungen wird der Dampf zu der im ND-Innengehäuse integrierten 360° Eintrittsspirale geführt. Fig. 5. Der Dampf strömt durch die radial-axial angeordnete Beschleunigungsstufe und die beiden Fluten des konisch glatt gestalteten Beschleunigungskanals zum ringförmigen Diffusor, wonach er über den Abdampfraum des ND-Aussengehäuses nach unten zum Kondensator abströmt.

Der Fixpunkt der Turbine zum Fundament befindet sich am Lagerblock zwischen Mitteldruck- und erster Niederdruckteilmaschine. Durch Erwärmung dehnen sich die MD- und HD-Teilmaschine mit dem über Keilverbindungen gekuppelten Axiallagerblock als ein zusammenhängendes System in Richtung vorderer Lagerblock aus. Die vorderen HD-Aussengehäusepratzen gleiten auf dem vorderen (feststehenden) Lagerblock. Die Fixierung der ND-Teilmaschinen erfolgt einzeln über seitlich im Fundament verankerte Grundplatten.

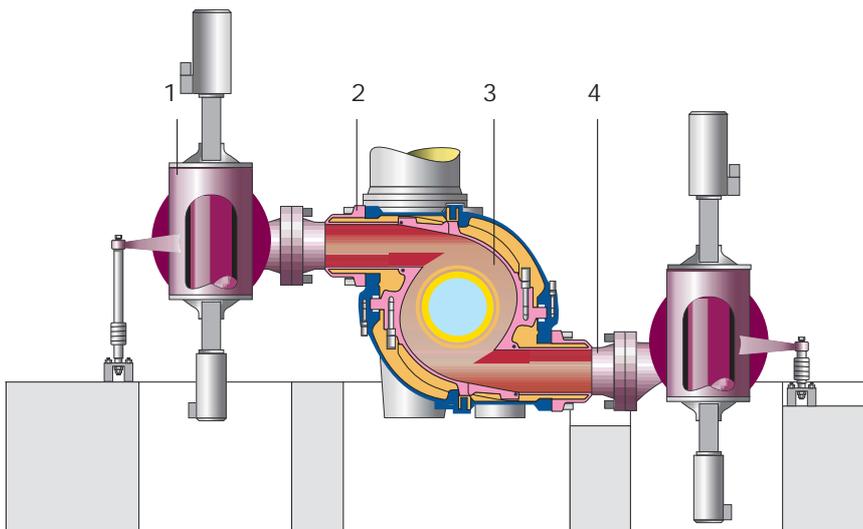


Fig. 4 Querschnitt durch die Mitteldruck-Teilturbine

- 1 MD-Abfangventilgehäuse (Material: G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11)
- 2 Flanschverbindung ausgelegt für Mitteldruck-Abdampfzustand
- 3 MD-Innengehäuse (Material: G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11)
- 4 Dampfdurchführung (Material: G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11)

Fixpunkt für den Läuferstrang der Turbogruppe ist das Axiallager im Axiallagerblock zwischen Hochdruck- und Mitteldruckteilturbine. Der Hochdruckläufer dehnt sich vom Axiallager aus nach vorn in Richtung vorderes Traglager und

Hauptölpumpenantrieb. Die Mitteldruck- und Niederdruckläufer dehnen sich in Richtung Generator. Durch diese Anordnung werden minimale axiale Verschiebungen zwischen Lauf- und Leitschaufeln erreicht. Vertikale Keilführungen zwischen der HD- und

MD-Teilturbine und den Lagerblöcken und zum Turbinenfundament sowie zwischen den ND-Teilturbinen und dem Turbinenfundament gewährleisten die Mittenlage der Turbine.

Für alle Teilturbinen ist die Möglichkeit zum Nachwuchten der Turbinenläufer gegeben. Inspektionen der ersten und letzten Beschauelungsreihen sowie der Schaufelreihen an den Anzapfstellen können endoskopisch ohne Demontage der Aussen- und Innengehäuse durchgeführt werden. ■



3D-optimierte Beschauelung für höchsten Wirkungsgrad

Die wichtigsten Bauteile der Dampfturbine zum Erreichen höchster Wirkungsgrade sind die Schaufeln, die in zwei Gruppen unterteilt werden können. Die erste Gruppe, die Standardbeschaufelung, wird im überwiegenden Teil des Schaufelkanals eingesetzt. Diese Schaufeln haben eine geringe oder mittlere Höhe, der Dampf

Fig. 5 Innengehäuse-Gussteile der ND-Teilturbine aus Sphäroguss nach der Teilflanschbearbeitung

strömt mit geringer (Unterschall-) Geschwindigkeit und die Verluste entstehen überwiegend durch Leckage und Seitenwandeinflüsse. Dagegen haben die letzten Stufen des Schaufelkanals lange Schaufeln, der Dampf strömt mit hoher (Überschall-) Geschwindigkeit und die Verluste resultieren vorwiegend aus Schockwellen und Abdampfverlusten.

Seit vielen Jahren verwendet ALSTOM das bewährte Schaufelprofil D8000 für die Beschauelung mit geringer Dampfgeschwindigkeit in Reaktionsturbinen. Da dieses Profil bereits einen hohen Wirkungsgrad aufweist, konnte eine weitere wesentliche Verbesserung nur durch Verringerung der massgeblichen Sekunderverluste erreicht werden. Zu diesem Zweck wurde die Leckageflussgeometrie genauestens untersucht und die 3D-Konstruktion der Schaufeln optimiert. Die mit modernsten CFD (Computational Fluid Dynamics) Verfahren erstellte Konstruktion wurde dann in einer Versuchsturbine erprobt. Frühere Erfahrungen hatten gezeigt, dass es gewisse Risiken barg, sich ausschliesslich auf Berechnungsverfahren zu verlassen, ohne das Ergebnis durch Versuche zu bestätigen.

Die so erhaltene dreidimensionale Konstruktion wird in elektronischer Form an die Fabrik weitergeleitet, wo die Schaufeln kostengünstig hergestellt werden, ohne dass die Schaufelkonstruktion auf Papier beschrieben werden muss.

Der grösste Teil der Beschauelung wird aus dem Vollen gefräst und die einzelnen Schaufeln mit Deckband und Fuss in einem Stück gefertigt. Ausnahmen sind die gegossene Endstufenschaufel der Leitreihe und die geschmiedete Endstufenschaufel der Laufreihe. Dieses Fertigungsverfahren garantiert ein zuverlässiges und kostengünstiges Produkt.

Das zu verwendende Schaufelmaterial hängt von der Betriebstemperatur ab. Bei Stufen mit einer Temperatur über 540°C verwendet ALSTOM einen austenitischen Stahl, bei Temperaturen unter 540°C einen 12%igen Chromstahl mit martensitischem Gefüge. Diese Materialien haben sich seit vielen Jahren bewährt, und ihre Eigenschaften konnten im Laufe der Zeit in Zusammenarbeit mit anderen Lieferanten noch verbessert werden. Obwohl die Anzahl der am ND-Turbinenende eingesetzten Stufen mit Hochgeschwindigkeitsbeschauelung gering ist, liegt hier grosses

Verbesserungspotential. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die in diesen Stufen erzeugte Leistung und die aus der letzten Stufe abströmende Energie (aufgrund des eingeschränkten Strömungsbereichs) hoch sind. Diese Stufen wurden ebenfalls unter Verwendung von CFD-Verfahren dreidimensional optimiert, um die Verluste innerhalb der Beschauelung und im Abdampf zu minimieren. Die Konstruktion wurde anschliessend in einer ND-Versuchsturbine erprobt. ■

Generatorsystem

Je Block umfasst das Generatorsystem einen Generator der Baureihe 50WT25E-158, die statische Erregungseinrichtung und die Wasserstoffkühlung, Zusatzeinrichtungen für die die Dichtöl- und Statorkühlwasseranlagen. ■

Turbogenerator

Der Generator mit dem langjährig bewährten ALSTOM Isolationssystem MICADUR® ist nach Wärmeklasse F ausgelegt; er wird jedoch vom Betreiber nur in Wärmeklasse B genutzt. [Fig. 6,](#) [Table 2](#)

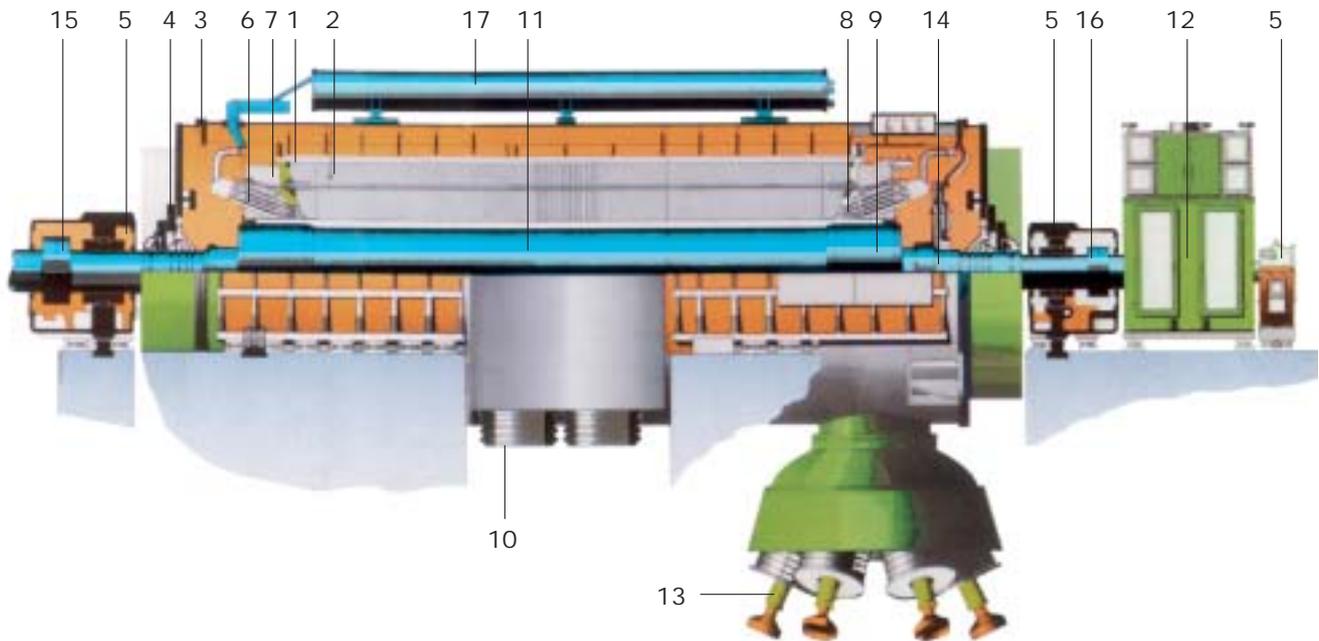
Das Ziel bei der Konzeption und Entwicklung des Generators war es, in engster Zusammenarbeit mit dem Kunden das technisch-wirtschaftliche Optimum hinsichtlich Wirkungsgrad, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit zu erreichen.

Der Generator wird mit direkter Wasserstoffkühlung der Rotorwicklung und des Statorblechkörpers sowie mit direkter Wasserkühlung der Statorwicklung ausgeführt. Hierbei wurden durch die Dimensionierung

Tabelle 2 **Technische Hauptdaten des Generators**

Nennscheinleistung		1,167 MVA
Nennwirkleistung	933.6	MW
Leistungsfaktor, übererregt	0.8	
Nennspannung	27	kV
Nennfrequenz	50	Hz
Nennstrom	24.954	A
Nennerergerstrom	6.001	A
Leerlaufkurzschlussverhältnis	0.505	
Gesamtgewicht	588	t
Läufergewicht	97	t
Statortransportgewicht	410	t

Fig. 6 Schnitt durch einen Turbogenerator, wie er im Kraftwerk Lippendorf zum Einsatz kommt



- | | | |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1 Statorgehäuse | 7 Statorwickelkopfabstützung | 13 Durchführungen |
| 2 Blechkörper mit Pressplatten | 8 Statorwicklung | 14 Ventilator |
| 3 Gehäuseabschluss | 9 Rotorkappe | 15 Kupplung zur Turbine |
| 4 Wellendichtungsgehäuse | 10 Wasserstoffkühler | 16 Kupplung zur Schleifringwelle |
| 5 Lager | 11 Rotorkörper | 17 Wassertank |
| 6 Statorwickelkopf | 12 Bürstenapparat | |

und die Wahl bewährter technischer Produkte und Materialien die Leistung und der Wirkungsgrad optimiert. ■

Statorgehäuse

Das Statorgehäuse ist im Prinzip ein einteiliger mit Versteifungselementen versehener Stahlzylinder. An die gasdichte, druckfeste Schweisskonstruktion sind an beiden Gehäuseseiten Kühlertaschen angeflanscht, die die paarweise innen hängenden Wasserstoffkühler aufnehmen.

Der unter Gasdruck stehende Innenraum des Generators wird an den Wellendurchführungen durch einen verdrehsicheren, radial beweglichen (schwimmenden) Ring abgedichtet, der die Welle mit einem kleinen Spalt umschliesst. Der verbleibende Spalt

zwischen Welle und Dichtring wird mit Drucköl abgedichtet. Die separate Dichtölanlage hat die Aufgabe, die Wellendichtung mit Dichtöl zu versorgen, um eine zuverlässige Abdichtung des Generatorgehäuses sowohl im Betrieb als auch bei Stillstand zu gewährleisten. Der Druck des Dichtöls liegt ca. 0,5 bar über dem Wasserstoffdruck. Der Wasserstoffgasverbrauch liegt mit $<9 \text{ m}^3$ pro 24 Stunden deutlich unter der VDEW-Empfehlung von 12 m^3 . ■

Statorblechkörper

Durch den umlaufenden magnetischen Fluss im Luftspalt wird der Blechkörper zu Schwingungen mit doppelter Netzfrequenz angeregt. Bei zweipoligen Maschinen ist dies eine 4-Knoten-Schwingung. Der Blechkörper ist deshalb bei Maschinen dieser Leistung an seiner

Rückseite in Statorkeilen aus Aluminium geführt, die mit den Keilträgern verbunden sind. Die Keilträger sind mit den Häuserippen verschweisst und wirken als Federn. Hierdurch wird eine Übertragung von Blechkörperschwingungen auf das Gehäuse verhindert. Keile und Keilträger sind an beiden Blechkörperenden mit Kurzschlussringen verbunden. Dadurch entsteht ein vollständiger, den Blechkörper umschliessender elektrisch leitender Käfig, der die durch das Streufeld induzierten Ströme definiert führt.

Die axiale Pressung der verlustarmen lamellierten Pressplatten, die aus miteinander verklebten Elektroblechen bestehen, erfolgt über die durchgehenden isolierten Zuganker. Der Blechkörper und die Pressplatten werden durch Wasserstoffgas gekühlt, das in axialen Kanälen im Zahn- und Jochbereich zur Generatormitte strömt.

Der ca. 7900 mm lange Blechkörper mit einem Gewicht von ca. 290 t besteht aus Segmenten verlustarmer, siliziumlegierter Elektrobleche, die beidseitig mit wärmebeständigem Lack beschichtet sind. Während der Schichtung im Gehäuse wird der Blechkörper in regelmässigen Abständen gepresst und abschliessend unter gleichzeitiger Einwirkung von Vibration, Wärme und Pressdruck so verdichtet, dass ein Lockern der Bleche im späteren Betrieb ausgeschlossen ist. ■

Statorwicklung

Die Zuverlässigkeit des Statorwicklungssystems bestimmt weitgehend die Verfügbarkeit des gesamten Generators. Unter Statorwicklungssystem versteht man den Stabaufbau, das Kühlsystem, das Isolationssystem, die Nutverkeilung und die Wickelkopfabstützung. Die Stäbe der Statorwicklung setzen sich aus Kupferteilleitern und den von Kühlwasser durchflossenen Stahlhohlleitern zusammen. Die Kupferteil- und Stahlhohlleiter sind über die gesamte Länge verroebelt.

Die Doppelroebelstäbe der Statorwicklung bestehen aus, mit epoxidharzimprägnierten Glasfasern isolierten, Teileleitern. Die umwickelten Stäbe werden unter Vakuum mit einem lösungsmittelfreien, umweltverträglichen Epoxidharz imprägniert und bei hoher Temperatur in Formen ausgehärtet. Anschliessend wird die Staboberfläche mit Glimmschutzlack gestrichen. Das MICADUR® Isolationssystem erfüllt alle Anforderungen der Wärmeklasse F.

Nach dem Einbau erfolgt das Verkeilen der Wicklung mit konvex-konkaven Keilen, die sicherstellen, dass die dauerhafte Verkeilungskraft grösser ist als die im Betrieb auftretenden

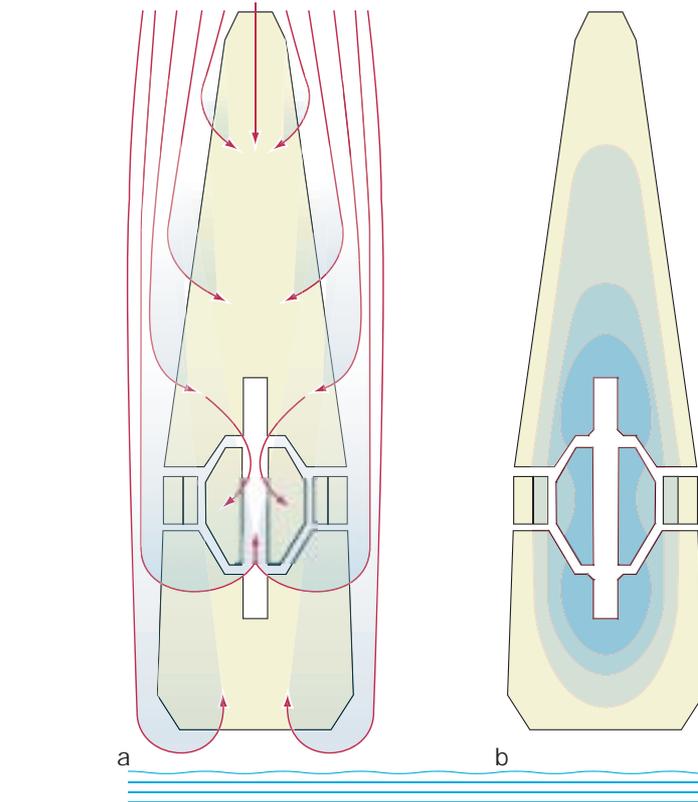


Fig. 7 Strömungsverteilung um ein Teibündel eines CM-Kondensators (a) und Isobarenverteilung im Bündelinnern (b)

elektromagnetischen Naturkräfte. Eine Lockerung oder ein Schwingen der Stäbe wird hierdurch verhindert.

Die Verbindung der Stabenden untereinander sowie zu den Wicklungsverbindungen wird durch Kupferösen hergestellt. Der Zu- und Abfluss des Kühlwassers erfolgt über Wasserkammern an den Stabenden, die über Schläuche mit den jeweiligen Sammelleitungen verbunden sind. Die Wicklungsverbindungen bestehen aus Kupferrohren, welche direkt mit Wasser gekühlt werden.

Die Wickelköpfe werden auf der Innen- und Aussenseite durch zwei massive glasfaserverstärkte Epoxidringe, einen Aussen- und einen Innenring, nachspannbar gehalten. Mit einer Einspannvorrichtung wird der gesamte Wickelkopf unter eine definierte Vorspannung gesetzt, die bei Revisionen kontrolliert und

wieder eingestellt werden kann. Zur Aufnahme von thermischen Dehnungen werden die Wickelköpfe in axialer Richtung ebenfalls elastisch aufgehängt, so dass sich dieser Generator auch gut für Lastwechsel- und Start-Stopp-Betrieb eignet.

Die elektrodynamischen Kräfte an den Wickelköpfen, die im Betrieb und bei Störfällen auftreten, werden von der Wickelkopfabstützung aufgenommen. Diese soll das ganze Wicklungssystem fixieren, um Schäden durch unzulässig hohe Schwingungsamplituden zu verhindern. ■

Rotorkörper

Der Rotorkörper ist ein einteiliges Schmiedestück aus einem wärmebehandelten Stahl mit hoher magnetischer Permeabilität. Zur Aufnahme der Wicklung werden

Tabelle 3 **Technische Daten des Kondensators**

Abzuführende Wärme		890.76	MW
Kondensatordruck		0.038	bar
Kühlwasser	- Volumenstrom	20.9	m ³ /s
	- Eintrittstemperatur	16.4	°C
	- Geschwindigkeit	1.95	m/s
Wärmeaustausch	- Fläche	54.950	m ²
	- Material DIN X 5 CrNiMo 17 12 2 (ASTM A-249 TP 316)		
Aussenabmessungen	B/H/T	22/15/18	m
Gesamtgewicht, leer		1140	t

Design values / Measured values - May 2000

Längsnuten in den Rotorkörper gefräst. Durch Querslitze in den Polzonen wird die Biegesteifigkeit für alle Rotationspositionen ausgeglichen.

Die Erregerstromzuführung erfolgt durch Kupferschienen. Diese liegen in einer Zentralbohrung auf der Nichtantriebsseite. Radialbolzen verbinden diese an Schleifringe und Wicklung. ■

Erregerwicklung und Dämpferwicklung

Die Rotorwicklung des Generators wird direkt axial mit Wasserstoff gekühlt. Der Vorteil der axialen Kühlung liegt darin, dass die Leiter der Erregerwicklung in jedem Nutquerschnitt das gleiche Temperaturniveau aufweisen und somit Relativbewegungen zwischen den einzelnen Hohlleitern verhindert werden. Um den Druck des Ventilators als Zusatzdruck für den Rotor auf der Antriebs- und Nichtantriebsseite nutzen zu können, sind im Bereich des Luftspalts Blenden eingebaut.

Die aus silberlegierten Kupferhohlleitern hergestellte Erregerwicklung ist aus konzentrischen Spulen aufgebaut, die aus im Wickelkopf miteinander verlöteten Halbwindungen bestehen.

Die Erregerwicklung wird von den als Dämpferwicklung ausgelegten Keilen und den Rotorkappen gegen die Fliehkräfte fixiert. Im Wickelkopfbereich werden die Spulen mit Glasfaserblöcken distanziert. Die Wicklung wird direkt mit Wasserstoffgas gekühlt, das durch die Hohlleiter strömt. Das erwärmte Gas tritt im aktiven Teil an vier axialen Bereichen aus den Hohlleitern aus und gelangt von dort durch radiale Schlitze im Blechkörper zum Wasserstoffkühler. Ein kleiner Teil des Wasserstoffgases tritt in Wickelkopfmitte aus, von wo er durch Schlitze in der Polzone nahe den Rotorkappen in den Luftspalt gelangt.

Die Dämpferwicklung besteht aus sich über die ganze Rotorlänge erstreckenden Nutkeilen, den Dämpfersegmenten und den Rotorkappen. In den Polzonen sind zusätzliche Dämpfernuten angeordnet, in denen sich profilgleiche Keile befinden. Sie kontaktieren am Ende des Aktivteils die Finger der Dämpfersegmente, die elektrisch mit den Rotorkappen verbunden sind. Die Kontaktpressung wird durch die Fliehkräfte gewährleistet.

Die aus unmagnetischem, austenitischem, gegen Spannungsrisskorrosion unempfindlichem Stahl hergestellten Rotorkappen werden aufgeschumpft

und mit einem Bajonettverschluss gegen axiales sowie mit Keilen gegen tangenciales Verschieben gesichert. ■

Turbinenkondensator

Für die Kondensation des Abdampfes der 933 MW Dampfturbogruppen installierte ALSTOM zwei CM-Oberflächenkondensatoren in Edelstahlberohrung und 2-Fluss-Schaltung. [Table 3](#)

ALSTOM Kondensatoren vom Typ CM haben sich weltweit bewährt. Der Typ CM ist für mittlere und grosse Kraftwerke der am häufigsten gebaute Kondensatortyp. Der Kondensator ist wegen seiner Grösse eine der wichtigsten und anspruchsvollsten Komponenten im Maschinenhaus eines Kraftwerkes.

Wichtigste Kondensatorkenngrösse ist der Kondensatordruck, der als Turbinengegendruck wesentlich den Wirkungsgrad der Gesamtanlage und damit die Generatorleistung bestimmt. Als Hersteller von Dampfturbinen und Kondensatoren gewährleistet ALSTOM eine optimale Abstimmung zwischen diesen beiden wichtigen Komponenten.

Die Kondensatoren der Typenreihe CM (Kirchenfenster-Kondensatoren) werden in modularer Bauweise gebaut. Charakteristisches Kennzeichen ist die Anordnung der Kondensatorrohre zu jeweils identischen Formationen, die in Teilbündeln zusammengefasst sind. Im ALSTOM Strömungslabor wurde in Untersuchungen und an Analogmodellen die Form und Anordnung der Teilbündel ermittelt und mit Hilfe von Computermodellen eine Typenreihe von standardisierten Bündeln entwickelt, die das gesamte Spektrum der Grosskondensatoren abdeckt. [Fig. 7](#). Hierdurch sind optimale Lösungen

möglich, da durch Auswahl eines Bündels und durch Variation der Bündelzahl und der Rohrlänge alle Geometrieanforderungen erfüllt werden können.

Die Bündel setzen sich aus Bündeloberteil, Bündelunterteil und Luftkühlerbereich zusammen. Durch den Vorkühler gelangt der Dampf über Blenden in die Luftkühler und wird über die Entlüftungskanäle durch Vakuumpumpen entgast.

Jedes Rohrbündel ist mit zwei Luftkühlern ausgestattet. Dadurch wird eine optimale Entlüftung des Kondensators sichergestellt.

Der Dampf strömt von allen Seiten in das Bündel, so dass die Dampfgeschwindigkeiten und dampfseitigen Druckverluste niedrig gehalten werden. Eine gleichmäßige Belastung des Bündels führt zu hohen Wärmedurchgangszahlen.

Der von unten in das Rohrbündel eintretende Dampf fließt im Gegenstrom zum herabtropfenden Kondensat. Durch den intensiven Kontakt mit dem Dampf wird das Kondensat optimal entgast und aufgewärmt. Unterhalb der Bündel hat der Dampf eine niedrigere Geschwindigkeit als im Abdampfstutzen und den oberen Bündelrohren; die Temperatur und der statische Druck sind dadurch höher. Damit nimmt das Kondensat im Hotwell eine höhere Temperatur an als die dem Kondensatordruck entsprechende Sättigungstemperatur. Diese Eigenschaft des CM-Kondensators wirkt sich positiv auf den Wärmeverbrauch des Kraftwerks aus und wird als "negative" Unterkühlung bezeichnet.

Durch die optimale Kondensatorrohranordnung werden hohe Wärmedurchgangszahlen (K-Werte) bei Voll- und Teillast erreicht,

so dass sich niedrige Kondensatordrücke ergeben. Aufgrund der ausgezeichneten thermischen Eigenschaften wird wesentlich weniger Wärmefläche benötigt, so dass bei günstigem Wärmeverbrauch des Kraftwerks Einsparungen erzielt werden.

Ausser diesen hervorragenden thermodynamischen Eigenschaften bietet die modulare Bauweise viele Vorteile bei der Konstruktion und Fertigung der Apparate. Der CM-Kondensator wird mit der Turbine fest verbunden und über Federn auf einer Fundamentplatte abgestützt. Der Dampfraum des Kondensators ist über den Kondensatorhals mit den drei ND-Teilturbinen-Abdämpfen verbunden. Fig. 8. Die Verbindung zum mittleren ND-Abdampfgehäuse wird starr ausgeführt. Zum Ausgleich der unterschiedlichen Wärmedehnungen verfügen die Verbindungen zu dem

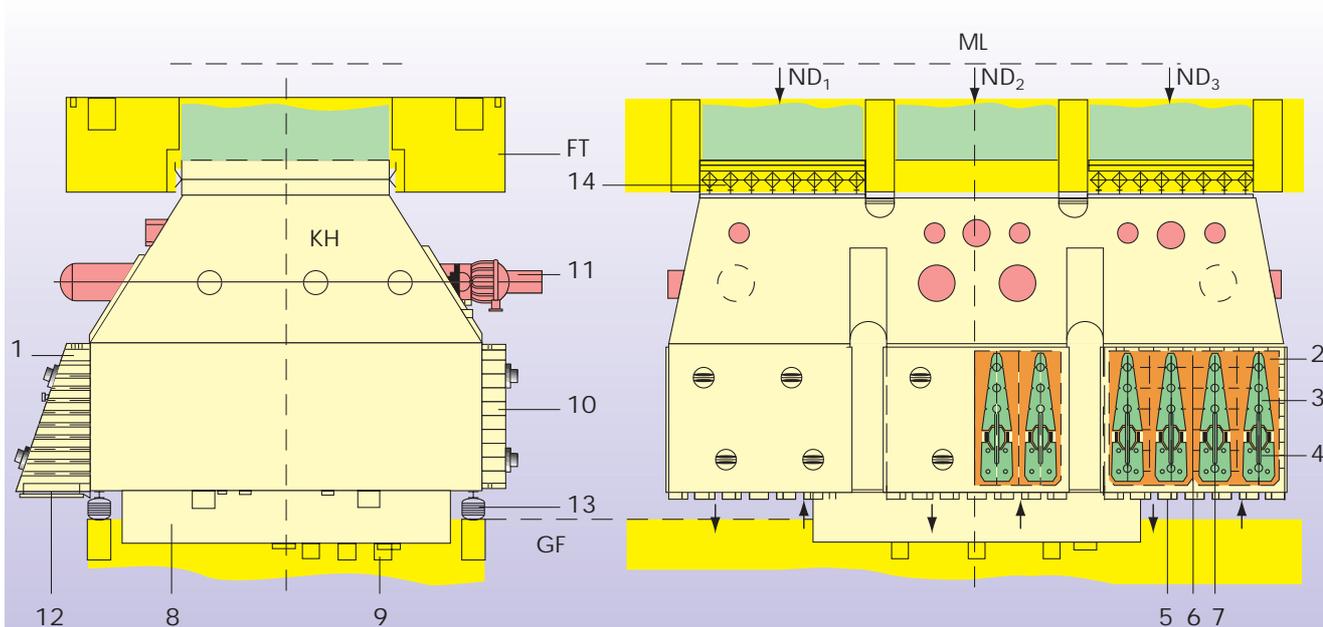


Fig. 8: Aufbau eines CM-Turbinenkondensators

FT	Fundament Tischplatte	1	Eintrittswasserkammer	8	Kondensatsammelgerät (Hotwell)
KH	Kondensatorhals	2	Dampfraum	9	Leitungen zu den Kondensatpumpen
MG	Maschinenhausboden	3	Bündeloberteil	10	Austrittswasserkammer
ML	Mittellinie der Turbogruppe	4	Bündelunterteil	11	Dampfeinführungsvorrichtung
ND1-3	Abdampf der ND-Teilturbinen	5	Vorkühler	12	Kühlwassereinleitung
		6	Luftkühler	13	Federauflager
		7	Luftabsaugkanal	14	Verankerungskompensator



Fig. 9 Modulfertigung eines Turbinenkondensators für das Braunkohlekraftwerk Lippendorf bei ALSTOM in Berlin

vorderen und hinteren ND-Abdampfgehäuse über verankerte Kompensatoren.

Kühlwasserseitig ist der Kondensator zweiflutig und dreigeteilt mit drei Anschlüssen (ND 2000) und je einer Rohrreinigungsanlage pro Drittel versehen. Zwei Kondensatoranschlüsse sind mit je zwei Dampfumleiteinrichtungen bestückt, durch die der Kesseldampf beim Anfahren etc. direkt in den Kondensator gelangt. Über die im Kondensatorhals eingebauten ALSTOM Dampfeinführungsvorrichtungen im Bereich des vorderen und hinteren ND-

Abdampfgehäuses gelangt der Dampf schonend in den Kondensator. Diese Anordnung schützt die Kondensatorrohre und ND-Teilturbinen vor dem hochenergetischen Dampf und verringert den Geräuschpegel.

Bedingt durch die grossen Abmessungen der Kondensatoren werden die einzelnen Module nach höchsten Qualitätsanforderungen vorgefertigt. Fig. 9. Für die Endmontage im Kraftwerk reduziert sich dadurch der Arbeits- und Montageaufwand auf ein Minimum. ■

Das Braunkohlekraftwerk Lippendorf

- ist das weltweit leistungsstärkste Hochtemperatur-Braunkohlekraftwerk

- arbeitet mit maximalem Wirkungsgrad durch Einsatz neuer Materialien

- liefert ausgezeichnete Betriebserfahrungen

References

- [1] H. Kotschenreuther, U. Hauser, P.-H. Weirich: Zukünftige wirtschaftliche Kohleverstromung. VGB Kraftwerkstechnik 1/93.
- [2] B. Scarlin: Dampfturbinen. BWK Bd. 49 (1997) 91-96.
- [3] K.-H. Soyk: Wasser- und wasserstoffgekühlte Turbogeneratoren. ETG-Fachbericht Nr. 53. VDE-Verlag 1994, 55-64.
- [4] P. Baumann, I. Pesthy: Development of large steam condensers with optimized cost/performance ratio. ALSTOM Review 3/97, 40-48.

