

Das Bauxit- und Tonerdeprojekt der Alusuisse in Australien. 5. Teil: Die Erzeugung von Prozessdampf und elektrischer Energie

Autor(en): **Köchli, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **91 (1973)**

Heft 27

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71928>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

5. Teil¹⁾: Die Erzeugung von Prozessdampf und elektrischer Energie

Von J. Köchli, Zürich

1. Ausgangslage und Bedingungen für den Entwurf der Energieversorgung

1.1 Zum Energiebedarf

Der Bayer-Prozess, als erster Schritt der in zwei Etappen erfolgenden Aluminiumherstellung, konsumiert zur Produktion von Tonerde aus Bauxit eine totale spezifische Energie von ungefähr 3 kWh/kg Al_2O_3 . Die Tonerdefabrik Gove benötigt kontinuierlich bedeutende Massenströme an Dampf zweier Druckstufen sowie Druckluft; nur etwa 10% dieses Konsums sind in Form elektrischer Energie zu decken. Neben dem eigentlichen Produktionswerk für Tonerde sind aber noch folgende stromkonsumierende Hauptverbraucher zu versorgen: Mine, Transportanlagen, Hafen, Stadt Nhulunbuy (vollklimatisiert, anfänglich rund 4000 Einwohner).

Infolge der isolierten geographischen Lage der Halbinsel Gove (650 km von Darwin, der nächstgelegenen Stadt entfernt) war eine vollständig autonome Erzeugung der Energie im Inselbetrieb für den ganzen Gove-Komplex mit entsprechender Reservehaltung vorzusehen. Da für den Bayer-Prozess kontinuierlich grosse Dampfmenngen benötigt werden, drängte sich als wirtschaftliche Lösung die Heranziehung dieses Dampfes zur Stromerzeugung auf, bevor er dem Prozess in der geforderten Qualität zugeführt wird.

Die Tonerdefabrik selbst bezieht vom Kraftwerk aber nicht nur Energie, sie konsumiert auch einen Teil der Energieträger, da z. B. ein bedeutender Dampfmassenstrom in der Aufschlussanlage direkt in die Suspension eingeführt wird, wie im 3. Teil erläutert wurde. Nur ein Teil der in Form von Dampf dem Prozess zugeführten Materie lässt sich somit als Kondensat zurückgewinnen. Das Manko ist dem Kraftwerk von einer entsprechend vergrösserten Wasseraufbereitungsanlage kontinuierlich bereitzustellen.

1.2 Naturbedingte Faktoren

Klima: Wie aus dem 1. Teil hervorgeht, treten heftige Regenfälle während etwa 4 Monaten pro Jahr auf. Deshalb wurden mit Rücksicht auf Betrieb und Unterhalt nur grössere Tanks und die Wasseraufbereitungsanlage im Freien aufgestellt. Die Kessel hingegen baute man für Aussenaufstellung und versah sie mit geeigneten lokalen Schutzvorrichtungen gegen Witterungs- und Umgebungseinflüsse (semi-out-door).

Wind: Windgeschwindigkeiten von bis etwa 210 km/h mussten für die Bemessung berücksichtigt werden. Gelegentlich treten Zyklone auf.

Erdbeben: Die Konstruktionen waren für Beschleunigungen von 0,04 g vorzusehen. Schliesst man die Gleichzeitigkeit von heftigstem Wind und Erdbeben aus, so ist allerdings die Bemessungsbedingung für die oben genannte Windstärke im allgemeinen massgebend und jene für Erdbeben erfüllt.

Salzgehalt der Luft: Infolge der Küstenlage an einem tropischen Meer, der vorherrschenden Winde vom Gulf of Carpentaria und der Arafura Sea sowie häufiger grosser relativer Feuchtigkeit waren entsprechende korrosionshemmende Massnahmen zu treffen.

1.3 Etappen der Bereitstellung der Kraftwerksanlagen

Entsprechend den Erfordernissen der Baustelle wurde zuerst die Versorgung mit elektrischer Energie bereitgestellt.

¹⁾ Fortsetzung von H. 45 und 51/1972, S. 1143–1151 bzw. 1327–1333 sowie H. 2 und 24/1973, S. 21–28 bzw. 582–588.

Dies geschah in mehreren Etappen, die im 6. Teil eingehender beschrieben werden, und zwar durch

- schrittweise Bereitstellung von insgesamt 22 mobilen Dieselgeneratorgruppen mit einer installierten Gesamtleistung von etwa 5 MW.
- den Bau eines Dieselkraftwerkes von 14 MW, mit 5 Dieselgeneratorgruppen. Der industrielle Betrieb konnte im April 1970 aufgenommen werden.
- den Bau eines Dampfkraftwerkes von insgesamt 112,5 MW installierter Leistung, aufgeteilt in eine Kondensationsturbogruppe von 7,5 MW und drei Entnahme-Gegendruckturbogruppen von je 35 MW.

Mitte 1971 begann planungsgemäss der Export von Bauxit. Dadurch erhöhte sich der Strombedarf für die Versorgung der Mine, der Förder- und Brechanlagen, der Bauxit-Verschiffung und anderer Verbraucher. Dies fiel mit der Periode höchster Bautätigkeit in der Tonerdefabrik und der Stadt zusammen. In der zweiten Hälfte des Jahres 1971 waren zeitweise über 3500 Beschäftigte in Gove; die Dieselgruppen genügten zur Stromversorgung des ganzen Komplexes nicht mehr. Deshalb nahm im Oktober 1971 die Kondensationsturbogruppe, die vom ersten Kessel gespiesen wurde, den industriellen Betrieb auf. Parallel musste ab diesem Zeitpunkt im Rahmen der Inbetriebsetzung der Tonerdefabrik intermittierend Dampf an gewisse ihrer Anlagen abgegeben werden. Schliesslich verlangte im Laufe der fortschreitenden Inbetriebsetzung die Tonerdefabrik eine kontinuierliche Dampflieferung bei wachsendem Strombedarf, weshalb die erste Gegendruckturbogruppe im Februar 1972 den industriellen Betrieb aufnahm.

1.4 Gewährleistung ununterbrochener Versorgung der Produktionsanlagen

Für gewisse Energiekonsumenten der Tonerdefabrik ist eine praktisch ununterbrochene Versorgung zu gewährleisten. Es handelt sich dabei nicht nur um Vermeidung von Produktionsausfällen infolge Unterbrüchen in der Versorgung der Tonerdefabrik durch das Inselbetriebskraftwerk, sondern auch um Vermeidung von schwerwiegenden Sekundärschäden in den Anlagen des Produktionsbetriebes bei Ausfall der minimal nötigen Versorgung. So darf Prozessdampf selbst bei Drosselung auf Nullproduktion nur während beschränkter Zeit ausfallen, damit in gewissen Fabrikationsanlagen keine unzulässige Temperaturabsenkung auftritt. Sehr kritisch bezüglich Unterbruch der Energieversorgung ist die Rührung der Suspension in den Kristallisationsbehältern. Wie bereits im 3. Teil beschrieben, wird in einigen kleineren Tanks mechanisch, in den vielen grossen Behältern hingegen pneumatisch gerührt. Bei einem Ausfall der Stromversorgung für die elektrischen Antriebe der mechanischen Rührwerke und der Turbokompressoren für die Druckluftversorgung würden rasch Zehntausende von Tonnen Impfhydrat zu dekantieren beginnen, was katastrophale Auswirkungen zur Folge hätte.

Aus diesem Grunde wurden für lebenswichtige Anlageeinheiten für beide Ausbauetappen der Produktionsanlagen ($\frac{1}{2}$ und 1 Mio t Al_2O_3 pro Jahr) eingeplant. Die Bedingungen des Baus der beschlossenen Produktionsstätte in zwei zeitlich gestaffelten Schritten und der Bereitstellung einer echten Reserve für jede einzelne Ausbaustufe waren mitbestimmend für die Festlegung der Einheitsgrössen

Tabelle 1. Anzahl Betriebs- und Reserveeinheiten des Dampfkraftwerkes

Tonerdeproduktion Mio t/a Zahl der Einheiten in	1/2		1		total
	Betrieb	Reserve	Betrieb	Reserve	
Kessel	1	1	2	1	3
Gegendruckturbogruppen	1	1	2	1	3
Kondensationsturbogruppen	1	0	1	0	1
Kondensatpumpen	1	1	1	1	2
Kesselspeisepumpen	1	2	2	3	5
Turbokompressoren ¹⁾	1 (2)	2 (1)	2 (3)	2 (1)	4

¹⁾ Klammerwerte: ausnahmsweise forcierte Rührung

der wichtigsten Dampfkraftwerksanlageteile, woraus sich eine verhältnismässig grosse Zahl von Einheiten ergab.

Die Reserveeinheiten gewährleisten die Versorgung während den geplanten Stillständen für Revisionen einzelner Kraftwerksanlagen und bei plötzlichen Ausfällen von Einheiten. Durch zusätzliche, an kritische Stellen eingebaute Redundanzen sowie gewisser Querverbindungen zwischen parallel arbeitenden Anlageteilen liess sich die Sicherstellung minimaler Versorgungen weiter erhöhen. Ferner können durch gezielten Einbau von Doppelabsperungen im Betrieb einzelne Anlageteile stillgesetzt, vollständig isoliert und unabhängig von weiter betriebenen Einheiten gewartet werden. Aus Tabelle 1 geht die Anzahl Betriebs- und Reserveeinheiten des Dampfkraftwerkes hervor.

Die beiden Kessel und Gegendruckturbogruppen, die die Anlage für 1/2 Mio t pro Jahr versorgen, wurden nach einem konsequent durchgeführten Sammelschienensystem geschaltet, wobei aber vorgesehen ist, im Normalbetrieb nur unumgänglich nötige Querverbindungen, wie Prozessdampf-Sammelschienen, offenzulassen. Der dritte Kessel und die zugehörige Gegendruckturbogruppe, d.h. die Ausrüstung für die im Gang befindliche Erweiterung der Prozessanlagen, sind als Block konzipiert, der im thermischen Teil im wesentlichen nur auf der Prozessdampfseite mit den andern Einheiten quer verbunden ist. Dieses Konzept verringert die Zahl der Nahtstellen der dritten Kessel-Gegendruckturbinen-Einheit mit der vorher installierten Ausrüstung. Die Montage dieses Blockes erfolgte parallel zum ungestörten Betrieb der ersten Einheiten. Der Verzicht auf vollständige Sammelschienenschaltung der thermischen Teile des dritten Blockes vereinfacht die Leitungsführung, bringt Einsparungen z.B. auf Frischdampf- und Kesselspeiseseite und verringert die Zahl der Doppelabsperungen, ohne die Elastizität der Betriebsführung wesentlich einzuschränken.

Mit Rücksicht auf die Bedeutung der Druckluftversorgung wurden für beide Ausbaustufen zwei Reservekompressoren installiert, da nur so gewährleistet werden kann, dass bei temporär erhöhtem Druckluftbedarf oder während der Revision einer Kompressorgruppe noch eine Reserveeinheit zur Verfügung steht.

1.5 Planung des Endausbaus

Aus dem 1. Teil geht hervor, dass das Tonerdewerk im Endausbau für 2 Mio t Al_2O_3/a geplant wurde. Zurzeit erfolgt der Bau der Tonerdefabrik in zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Schritten für eine Jahreserzeugung von 1 Mio t. Das Dampfkraftwerk hingegen wurde direkt für die 1-Mio-t/a-Anlage vergeben, wobei die Hauptteile gestaffelt abgeliefert und montiert werden. Die Diesel- und Dampfkraftwerke wurden bezüglich der Grossverbraucher im Tonerdewerk an derart zentraler Lage geplant, dass das Dampfkraftwerk für den Endausbau an gleicher Stelle vergrössert werden kann und bezüglich der Verbraucher zentral bleibt.

Abgesehen von Felssprengungen für die Fundamente weiterer Kompressoren, der Reservation von Platz im Kom-

mandoraum des Dampfkraftwerkes für alle künftigen Einheiten und von kleineren baulichen Massnahmen, wie die Kapazität unterirdisch verlegter Sammelleitungen für Sturmwasserabläufe der später bis auf Endausbau vergrösserten Turbinenhalle, wurden vorerst keine Investitionen für die künftige Erweiterung vorgenommen.

1.6 Balance von Dampf- und Strombedarf

Prozessdampf wird nur von den eigentlichen Produktionsanlagen verlangt. Die Prozessdampf-Massenströme sind im Normalbetrieb wenig veränderlich und werden ununterbrochen benötigt. Insbesondere ändern sie sich auch saisonbedingt nicht wesentlich. Schliesslich wird sich der Dampfkonsum des Prozesses beim Übergang der Produktion von 1/2 Mio t/a auf 1 Mio t/a fast genau verdoppeln.

Die Konsumenten elektrischer Energie hingegen sind über den ganzen Gove-Komplex verstreut, und ihr Bedarf gehorcht völlig anderen Gesetzen. Infolge diskontinuierlicher Arbeitsweise gewisser Anlagen (wie Mine, Schiffsbeladung usw.) und saisonaler Schwankungen (Klimatisierung der Stadt) ergeben sich bedeutende Bedarfsschwankungen in Funktion der Zeit. Zudem verdoppelt sich beim Ausbau der Tonerdefabrik nur der Strombedarf ihrer eigenen Konsumenten näherungsweise, nicht aber jener der Stadt und anderer Verbraucher.

Sind unter bestimmten Bedingungen Dampf- und Strombezug der Fabrik und Strombezug des Komplexes für die 1/2 Mio t/a-Anlage ausgewogen, so ist das Gleichgewicht im Laufe des Jahres gestört und stimmt nach Erweiterung auf 1-Mio-t/a erst recht nicht mehr. Um trotzdem eine laufende Deckung des Dampf- und Strombedarfs gewährleisten zu können und dabei ständige Betriebsverluste zu vermeiden, waren investitions-mässig aufwendige Massnahmen unumgänglich. Davon sind folgende Einrichtungen zu nennen:

a) zur sofortigen Erhöhung der verfügbaren elektrischen Leistung:

- eine Kondensationsturbogruppe, die wahlweise über Gegendruckturbinen oder Reduzierstationen angespiesen wird,
- das Dieselmotorkraftwerk,
- ein atmosphärischer Hilfskondensator (dump condenser) zur Kondensation von Überschussdampf am Austritt der Gegendruckturbogruppen,

b) zur sofortigen Erhöhung der Dampfmassenströme zum Prozess:

- Druckreduzierstationen für beide Prozessdampfnetze.

1.7 Personalbedarf und Kraftwerkskonzeption

Der spezifische Personalbedarf (pro installiertes MW) von Elektrizitätsversorgungsunternehmen für Betrieb und Unterhalt kleiner Dampf- und Dieselmotorkraftwerke ist höher als jener grosser thermischer Anlagen. Industriekraftwerke, die zur Gruppe kleiner Anlagen zählen, sind diesbezüglich meist besonders ungünstig. Im Vergleich zur installierten Leistung ist für sie, wie in Abschnitt 1.4 begründet, oft eine relativ

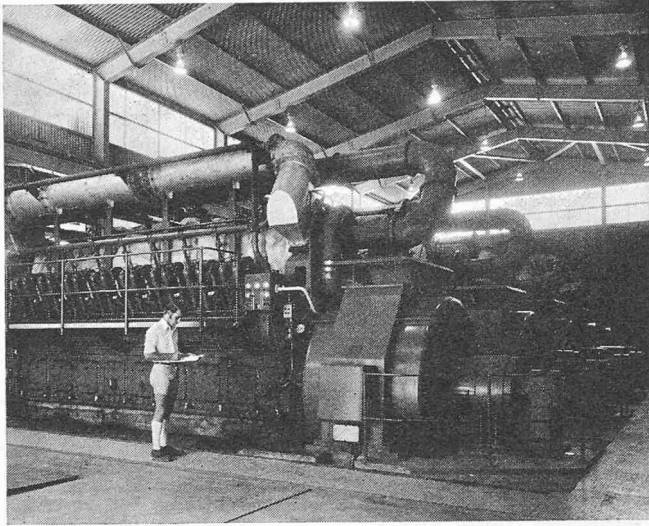


Bild 1. Dieselmotorgruppen

grosse Zahl von Einheiten vorzusehen, die erst noch durch zusätzliche Einrichtungen für die Wärmeversorgung des Produktionsprozesses zu ergänzen sind.

Bei den Personalkosten ist noch in Betracht zu ziehen, dass in Gove für jeden zusätzlichen Mitarbeiter eine aufwendige Infrastruktur bereitzustellen ist. Ferner ist infolge der geographischen Ablegenheit mit nicht zu vernachlässigendem Wechsel von Arbeitskräften zu rechnen, obschon die Infrastruktur grosszügig geplant wurde und die Halbinsel attraktiver ist als zahlreiche dicht besiedelte Industriegebiete.

Aus diesen Gründen wurden Lösungen angestrebt, die Personaleinsparungen erlauben und bezüglich Gesamtaufwand für Betrieb und Unterhalt unter Gove-Bedingungen optimal sind. So profitieren die beiden Kraftwerke von Massnahmen (z.B. Normungen) und zentralen Dienstleistungen (chemisches Labor, Werkstatt, Unterhaltungspool usw.), die im Rahmen des ganzen Tonerdekomplexes geplant wurden. Aber auch im Kraftwerk selbst wirkte sich dieses Ziel massgebend auf die Konzeption aus. Um die Betriebsführung, vor allem auch im Hinblick auf den geplanten Endausbau, zu erleichtern, sah man im Verhältnis zur Grösse der Einheiten einen überdurchschnittlichen Aufwand für zentrale Überwachung, Datenerfassung und gezielte Automatik einzelner Einheiten vor. Die Maschinen beider Kraftwerke werden von einem zentralen Kommandoraum im Dampfkraftwerk überwacht und bedient. Dieser Kommandoraum dient als kombinierte thermische und elektrische Warte der Energieversorgung sowie einiger zentralisierter Hilfsbetriebe, wie Kühlwasser- und Brennstoffsysteme für die gemeinsame Versorgung der Tonerdefabrik und der Kraftwerke.

Als weiteres Beispiel personalsparender Massnahmen sei der Einbezug der Turbokompressorgruppen in das Dampfkraftwerk erwähnt. Diese Maschinen dienen hauptsächlich der Luftrührung im Tonerdeprozess. Sie stellen als thermische Turbomaschinen für Betrieb und Unterhalt ähnliche Probleme wie Dampfturbinen. Statt sie in einer Druckluftstation unmittelbar beim Hauptverbraucher vorzusehen, wurden sie in der dazu verlängerten Turbinenhalle aufgestellt und können ohne zusätzliches Personal betrieben und überwacht werden. Dadurch konnte auch ein besonderes Gebäude mit Kran entfallen. Allerdings war dem Lärmproblem Beachtung zu schenken.

Da die Hauptmontagezeit des Dampfkraftwerkes in die Periode grösster Aktivität auf dem Bauplatz fiel, während welcher zeitweise die Unterkünfte voll belegt waren, wurde

versucht, durch partielle Vorfabrikation Personalbedarf und Montagedauer in Gove zu verkürzen, was sich z.B. bei den Dampferzeugern günstig auswirkte. Um nicht unnötig Probleme nach Gove zu verlagern, wurde für alle wesentlichen Lieferungen vollständige Werkstattmontage, für rotierende Einheiten Werkprobeläufe vorgeschrieben, was sich dann allerdings nicht konsequent durchführen liess.

2. Dieselmotorgruppen

Das Dieselmotorgruppenwerk wurde im Januar 1969 an die Firma John Holland (Constructions) Pty., Ltd., Melbourne, als Generalunternehmer für eine schlüsselfertige Anlage vergeben und nahm im April 1970 den industriellen Betrieb auf (Bild 1).

Damals diente es der Versorgung der Baustelle mit elektrischer Energie. Nach der Inbetriebnahme der Kondensationsturbogruppe arbeiteten Diesel- und Dampfkraftwerk bis zum Zeitpunkt bedeutender Prozessdampfbezüge zur Inbetriebsetzung der Tonerdefabrik parallel. Seither übernahm das Dampfkraftwerk die Versorgung mit Dampf und elektrischer Energie. Das Dieselmotorgruppenwerk dient nun noch der Spitzendeckung in Perioden hoher Strombezüge und als schnellstartende Reserve.

Bei planungsmässigem Einsatz des mit fünf Dieselmotorgruppen ausgerüsteten Kraftwerkes werden künftig nur noch zeitweise einzelne Dieselmotoren in Betrieb sein und im Laufe der Jahre eine beschränkte Zahl Betriebsstunden aufweisen. Deshalb fiel die Motorwahl mit Rücksicht auf die Investitionskosten nicht auf Langsamläufer. Die Daten der aufgeladenen Viertaktmotoren sind:

Hersteller und Typ:	W.H. Allen & Sons; VBCS 37-F
max. Kupplungsleistung:	2750 kW (dauernd)
Zylinderzahl:	16 (V-Anordnung)
Drehzahl:	600 U/min
Mittlere	
Kolbengeschwindigkeit:	rund 7,4 m/s
Kompressionsverhältnis:	12

Die direkt gekuppelten Generatoren wurden von Harland & Wolff hergestellt, ihre Leistung beträgt je 3930 kVA, die Spannung 6,6 kV.

Die Dieselmotorgruppen werden mit Druckluft gestartet. Start, Synchronisierung und Energieabgabe an die 6,6-kV-Sammelschienen gehen vollständig automatisch vor sich, ebenso die Ausserbetriebnahme einzelner Gruppen, sobald die totale Last entsprechend fällt.

Die Generatoren sind über ölarme Leistungsschalter, Fabrikat Brown Boveri, mit den Sammelschienen der 6,6-kV-Schaltanlage verbunden. Von dort wird die Energie wahlweise an die 6,6-kV-Hilfsbetriebe des Dampfkraftwerkes und über zwei 7,5-MVA-Transformatoren an das 22-kV-Netz abgegeben. Über zwei 6,6-kV/415-V-Transformatoren von je 500 kVA werden die Hilfsbetriebe des Dieselmotorgruppenwerkes versorgt. Die Schaltung ist im elektrischen Übersichtsschaltplan Bild 2 schematisch dargestellt.

Das Kraftwerk ist mit einem Tagestank für Dieselöl, Kühltürmen für die Kühlwasserrückkühlung und Feuerlöschanlagen der Dieselmotorgruppen, des Schaltanlagenraums und der Transformatorzellen ausgerüstet.

3. Dampfkraftwerk

3.1 Hauptdaten und Vergabe

In Tabelle 2 sind für einige typische Betriebsfälle die Hauptdaten des Dampfkraftwerkes zusammengestellt.

Das Dampfkraftwerk (Bild 3) wurde im Juni 1969 an die Dillingham Engineering Pty Ltd., Sydney, als Generalunternehmer für eine schlüsselfertige Anlage vergeben. Im Laufe des Jahres 1971 ging diese Firma in die amerikanische Firma

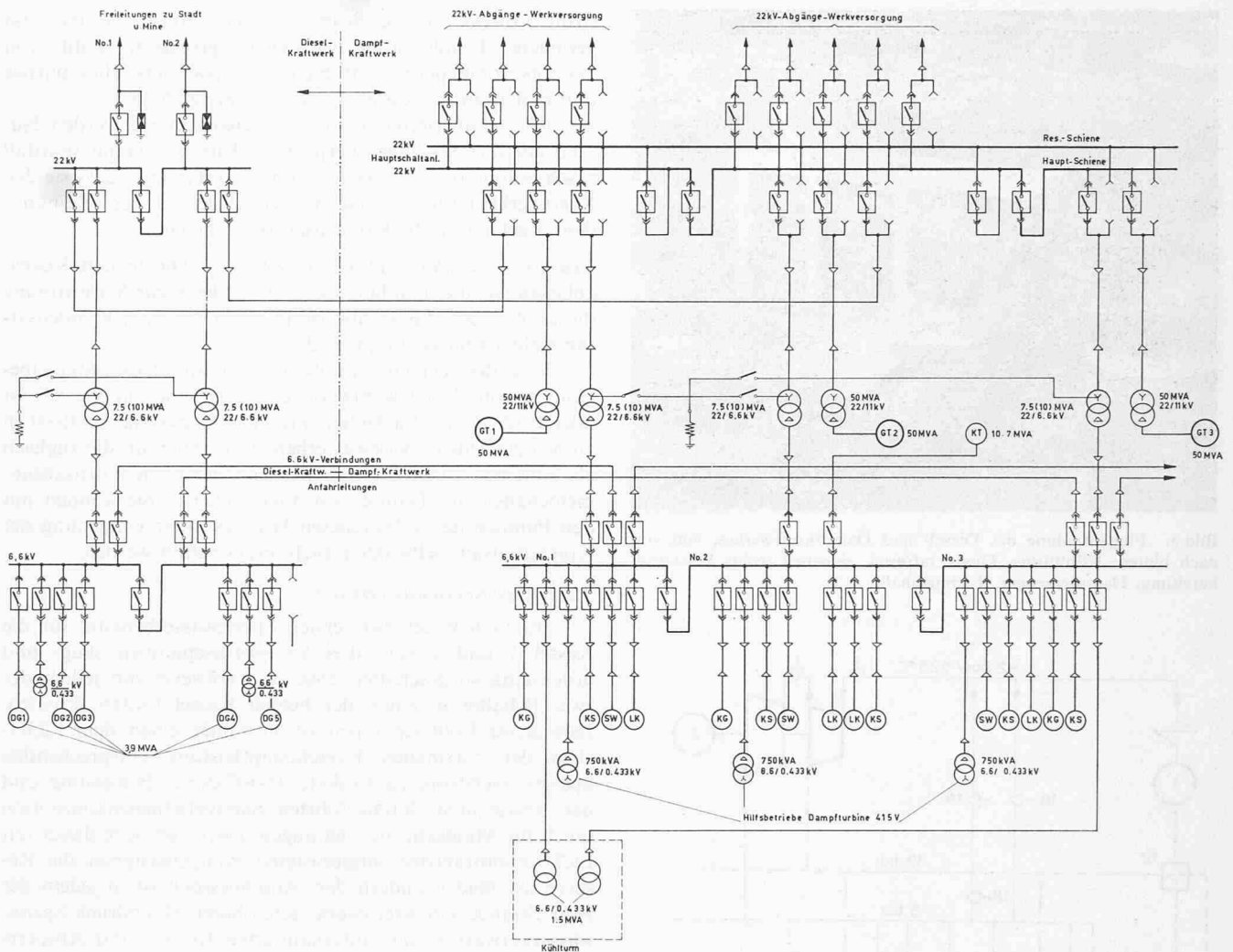


Bild 2. Einpoliges elektrisches Prinzipschema

Ralph M. Parsons über, die das Kraftwerk zurzeit fertigstellt. Die pauschale Vertragssumme beläuft sich einschliesslich Teuerung auf rund 85 Mio sFr. Das Vertragspaket für das Dampfkraftwerk stellt nach jenem für die Stadt Nhulunbuy wertmässig den grössten Einzelauftrag des Gove-Komplexes dar.

3.2 Systeme

Bild 4 stellt einen vereinfachten Wärmeschaltplan und Bild 2 ein einpoliges elektrisches Prinzipschema dar. Bezüglich der Zahl der Einheiten der wichtigsten Komponenten wird auf Tabelle 1 verwiesen.

3.2.1 Kondensatsystem

Im Normalbetrieb stammt das zu den Kesselspeisewasserbehältern geförderte Wasser von folgenden drei Quellen her:

- Kondensat des Dampfkraftwerkes: Kondensationsturbine, Hilfskondensator, dampf beheizter Luftvorwärmer, Anwärmlleitungen, Entwässerungen usw.,
- Reinkondensat vom Tonerdewerk: rekuperiertes Kondensat der 12- und 5-bar-Dampfnetze,
- entsalztes Wasser der Wasseraufbereitung.

Zurückgewonnenes Kondensat des Kraftwerkes: Das Kondensat des Hauptkondensators wird in Wärmeaustauschern aufgeheizt, die den Dampfektoren nachgeschaltet sind. Anschliessend wird es durch den von der Kondensationsturbine gespiesenen Niederdruckvorwärmer weiter erhitzt, von wo es schliesslich in einen der zwei Kondensatsammelbehäl-

Tabelle 2. Typische Betriebsfälle

Produktionsanlage	1/2	1/2	1	Mio t Al ₂ O ₃ /a
Al ₂ O ₃ -Produktion	100	100	110	%
Elektrische Last des Komplexes	mittlere	max.	mittlere	-
Massenströme:				
Frischdampf zu Gegendruckturbogruppen	198 500	226 750	379 000	kg/h
Prozessdampf:				
rund 12 bar:	54 000	54 000	119 000	kg/h
rund 5 bar:	76 800	76 800	169 000	kg/h
Generatorleistungen¹⁾				
Gruppe 1 ²⁾	29 280	34 735	27 207	kW
Gruppe 2	0	0	27 207	kW
Gruppe 3	0	0	0	kW
Gruppe 4 ³⁾	3 656	6 600	1 706	kW
Total	32 936	41 335	56 120	kW

¹⁾ an Generatorklemmen, ²⁾ Gegendruckturbogruppen, ³⁾ Kondensationsturbogruppe

ter gelangt. Das im atmosphärischen Hilfskondensator niedergeschlagene Wasser gelangt direkt in die Kondensatsammelbehälter. Auch die mit Dampf gespiesenen Luftvorwärmer fliessen über Tanks in diese Behälter aus.

Reinkondensat des Tonerdewerkes: Wie im 3. Teil erwähnt, wird ein bedeutender Teil der 12-bar-Prozessdampf-Massen-

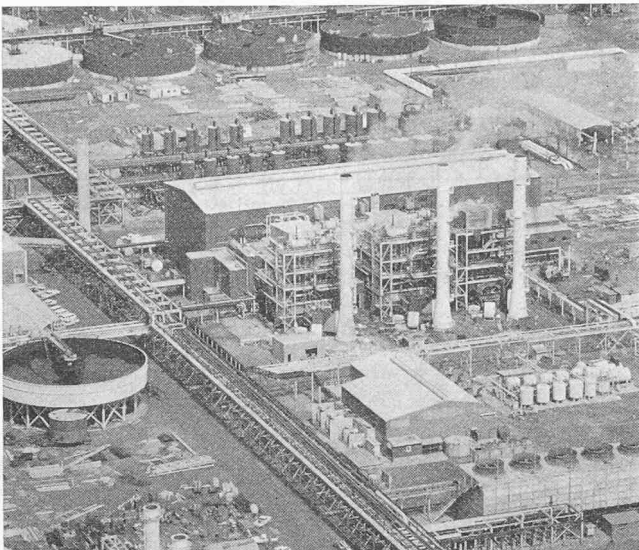


Bild 3. Flugaufnahme des Diesel- und Dampfkraftwerkes, von vorn nach hinten: Kühltürme, Dieselmotorkraftwerk, daneben rechts Wasseraufbereitung, Dampfzeuger, Turbinenhalle

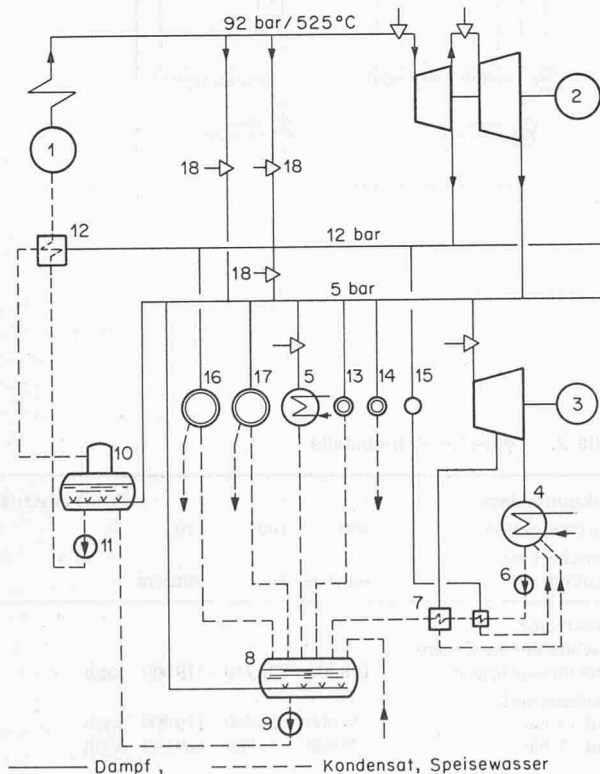


Bild 4. Vereinfachter Wärmegrundschaftplan

- 1 Dampferzeuger
- 2 Entnahme-Gegendruckturbogruppe
- 3 Kondensationsturbogruppe
- 4 Hauptkondensator
- 5 Hilfskondensator
- 6 Kondensatpumpe
- 7 Niederdruck-Vorwärmer
- 8 Kondensatsammelbehälter
- 9 Pumpe zu 8
- 10 Entgaser/Speisewasserbehälter
- 11 Kesselspeisepumpe
- 12 Hochdruck-Vorwärmer
- 13 Kraftwerk-Hilfsbetriebe, Kondensat rekuperiert
- 14 Kraftwerk-Hilfsbetriebe, Kondensat nicht rekuperiert
- 15 Ejektor
- 16 Dampfverbraucher Prozessanlagen,
- 17 Kondensat teilweise rekuperiert
- 18 Druckreduzierstationen (Dampfumformer)

stroms direkt in die Suspension eingeführt. Weiter sind geringere Kondensatmengen einer grösseren Zahl von Dampfverbrauchern nicht mehr ins Kraftwerk rückführbar und finden im Prozess anderweitige Verwendung.

Die rekuperierten Kondensatmassenströme werden laufend auf ihre Qualität überprüft und im Kontaminationsfall rasch automatisch umgeleitet, um zu verhindern, dass sie den Kraftwerkskreislauf verschmutzen. Akzeptiertes Reinkondensat gelangt in die Kondensatsammelbehälter.

Neu zuzusetzendes aufbereitetes Wasser: Die in den Kesselablassenspannern anfallende Wärme dient zur Vorwärmung dieses Wassers, das wahlweise in einen der zwei Kondensatsammelbehälter gepumpt wird.

Von den beiden dampfbeheizten Kondensatsammelbehältern, von denen wahlweise entweder einer in Betrieb ist oder beide parallel arbeiten, wird das Kondensat schliesslich zu den einzelnen Speisewasserbehältern gepumpt, die zugleich als Entgaser wirken. Diese werden wie die Kondensatsammelbehälter mit Dampf von 5 bar beheizt. Sie können mit den Pumpen des aufbereiteten Wassers unter Umgehung der Kondensatsammelbehälter auch direkt gefüllt werden.

3.2.2 Kesselspeisewassersystem

Im System der zwei ersten Speisewasserbehälter für die Kessel 1 und 2 sind drei Kesselspeisepumpen saug- und druckseitig so geschaltet, dass sie wahlweise von jedem der zwei Behälter in einen der beiden Kessel fördern können. Jede dieser Vollastpumpen ist imstande, einen dem 1,25fachen der maximalen Kesseldampfleistung entsprechenden Speisewasserstrom zu fördern. Dank dieser Bemessung und der konsequent durchgeführten Sammelschienenkonzeption (auch für Mindestmengenleitungen usw.) stellt jede dieser mit Elektromotorantrieb ausgerüsteten Pumpengruppen die Reserve der beiden andern dar. Anschliessend ist in jedem der zwei Stränge ein kreuzweise schaltbarer Hochdruck-Speisewasservorwärmer mit automatisierten Bypass- und Absperrventilen eingebaut.

Das Speisewassersystem des Kessels 3 ist grundsätzlich von jenem der Kessel 1 und 2 getrennt, wobei aber gewisse Querverbindungen vorgesehen wurden, wie die Sammelschiene für die Wassereinspritzung der Reduzierstationen.

Vom dritten Speisewasserbehälter fördert wahlweise eine der zwei installierten Kesselspeisepumpen das Wasser durch den zugehörigen Hochdruckvorwärmer oder ihren Bypass zum Kessel 3. Die Pumpengruppen und die Hochdruckvorwärmer dieses Blockes sind identisch mit jenen der beiden ersten Kessel. Die Hochdruckvorwärmer werden mit Dampf des auf 12 bar geregelten Entnahmenetzes gespiesen.

3.2.3 Dampfsysteme

Die Frischdampfleitungen (92 bar, 525°C) der beiden ersten Kessel sind derart miteinander quer verbunden, dass jeder dieser Kessel wahlweise eine der beiden Gegendruckturbinen 1 und 2 beaufschlagen kann. Abgesehen von einer Querverbindung zur Speisung der Dampfproduzierstationen ist hingegen Block 3 frischdampfseitig von den andern Einheiten getrennt.

Die drei Entnahme-Gegendruckturbinen sind gefällmäsig parallel geschaltet. Ihnen ist die Kondensationsturbine in Serie nachgeschaltet. Sollte in irgendeinem Ausbaustadium vorübergehend keine Gegendruckturbogruppe verfügbar sein, so kann die Kondensationsturbine mit ihren Hilfsbetrieben über eine Umleitung und Reduzierstation mit irgendeinem der installierten Kessel bis zu ihrer Maximallast betrieben werden. Die Reduzierstation entspannt von 92 auf 5 bar und enthitzt durch Einspritzung von Kesselspeisewasser. Eine zweite mit Frischdampf gespiesene Reduzierstation gewährleistet unter Umgehung der Turbinen die Sicherstellung des für

Prozess und Kraftwerkhilfsbetriebe im 12-bar-Entnahmenetz benötigten minimalen Massenstroms.

Die drei Entnahme-Gegendruckturbinen (kurz Gegendruckturbinen genannt) speisen in eine Sammelschiene mit geregelterm Druck von rund 12 bar ein. Parallel dazu strömt Frischdampf über eine der oben beschriebenen Reduzierstationen in diese Sammelschiene, falls der Druck im Entnahmenetz einen kritischen Wert unterschreitet.

Von der Sammelschiene führen Abgänge, die teilweise mit motorisierten Schiebern versehen sind, zum Prozess und zu den Kraftwerkhilfsbetrieben, wie Hochdruckvorwärmern, dampf-beheizten Luftvorwärmern, Ejektoren der Kondensationsturbogruppe.

Es war naheliegend, die Hochdruckvorwärmer mit geregelterm Entnahmedampf zu speisen, da dadurch eine weitere (ungeregelte) Entnahme an den Turbinen mit entsprechendem Netz entfallen konnte. Dies erleichterte die konstruktiven Aufgaben, doch ist die Lösung etwas vom Optimum entfernt.

In die Sammelschiene mit geregelterm Druck von rund 5 bar strömt der Abdampf der drei Gegendruckturbogruppen wie auch jener der früher beschriebenen Frischdampf-Reduzierstation. Sie verteilt den Dampf zu folgenden Konsumenten: Tonerdefabrik (Abgang mit motorisiertem Schieber versehen), Kondensationsturbine, Entgaser, Kondensatsammelbehälter, Brennstoffsystem. Zudem besteht eine weitere Reduzierstation, die von der Entnahmesammelschiene zur Gegendrucksammelschiene führt und im Notfall den Minimalbedarf an Dampf von 5 bar der Tonerdefabrik und der Kraftwerkhilfsbetriebe deckt.

3.2.4 Überwachung und chemische Behandlung der Speisewasser- und Dampfsysteme

Kondensat- und Dampfqualität werden durch Leitfähigkeitsmessungen an kritischen Stellen laufend kontrolliert.

Zusätzlich zur mechanischen Entgasung in den Speisewasserbehältern erfolgt eine «chemische» Entgasung durch Dosierung von Hydrazin auf der Saugseite der Kesselspeisepumpen. Hochdruck-Dosiereinrichtungen sind zur Injektion von Chemikalien in die Kesseltrommel installiert, um im System Korrosionen, Ausscheidung von Ablagerungen und Schaumbildung zu verhindern. Die Überwachung erfolgt durch Analyse an geeigneten Stellen periodisch entnommener Proben. Die Kesselabschlammung, die entsprechend der Dampf- und Speisewasserqualität reguliert wird, dient zugleich zur Vorwärmung des neu zuzusetzenden aufbereiteten Wassers. Jeweils kurz vor ihrer ersten Inbetriebsetzung wurden Kessel und Rohrleitungssysteme ausgeblasen, gebeizt und passiviert.

3.2.5 Konservierung der Speisewasser- und Dampfsysteme

Unter normalen Bedingungen sind stets ein Kessel und eine Gegendruckturbogruppe mit zugehörigen Systemen und Hilfsbetrieben als Reserve im kalten Zustand startbereit zu halten. Während längeren Stillständen sind die Reserveeinheiten vor Korrosion zu schützen, zeigt doch die Erfahrung, dass die überwiegende Zahl der zurzeit in Kesselanlagen auftretenden Sauerstoffkorrosionen Stillstandskorrosionen sind. Es ist beabsichtigt, dazu den entsprechenden Speisewasserbehälter, Hochdruckvorwärmer, Economiser, Kessel einschliesslich Trommel und Überhitzer und die zugehörigen Speisewasserleitungen mit demineralisiertem Wasser unter Zugabe von Chemikalien bei leichtem Überdruck zu konservieren. Hingegen werden die Frischdampfleitungen trocken konserviert. Die Turbinen sind mit Trocknungsventilatoren ausgerüstet.

Dank der Verwendung leicht flüchtiger Chemikalien kann der Reservekessel nach partieller Entleerung rasch

aufgeheizt werden, wobei im Falle hoher Gehalte an Ammoniak, Hydrazin oder Amine vorgesehen ist, das Kondensat temporär nicht zum Kesselspeisesystem zurückzuführen.

3.2.6 Brennstoffsysteme

Zum Start des ersten Kessels, wenn kein Dampf zur Vorwärmung von Schweröl vorhanden ist (es wurde kein Hilfskessel installiert), und zur Stabilisierung der Flammen bei extrem tiefer Kessellast wird Dieselöl des benachbarten Dieselmotors verfeuert.

Unter normalen Bedingungen arbeitet man jedoch in den Kesseln ausschliesslich mit Schweröl (Bunkeröl C). Der Brennstoff gelangt von Vorrattanks im Hafengebiet zu zwei Tagesbehältern im Kraftwerksareal. Transferpumpen fördern das dampf-beheizte Schweröl vom in der Warte wählbaren Tank zu den Pumpen und Wärmeaustauschern der einzelnen Kessel. Rezirkulationseinrichtungen von den Pumpendruckseiten zurück zu den Tanks erlauben, unabhängig vom Brennstoffverbrauch, den Öldruck vor den Brennern konstantzuhalten.

3.2.7 Luft- und Gassystem

Pro Kessel ist ein Frischluftgebläse installiert, das die für die Verbrennung benötigte Luft liefert und die gasführenden Räume unter leichtem Überdruck hält. Die dem Verbrennungsraum eines Kessels zugeführte Luft wird im Normalbetrieb in einem Ljungstromvorwärmer durch die Abgase erhitzt. Für Tiefastbetrieb ist zur Verminderung der Korrosion in Kaltgaspartien in Strömungsrichtung vor dem Ljungstrom-Wärmeaustauscher ein dampf-beheizter Luftvorwärmer eingebaut. Für die Kaltgaskanäle wurde Corten-Stahl verwendet. Jeder Kessel ist mit Rücksicht auf den Unterhalt der Reserveeinheit während des ununterbrochenen Betriebs anderer Gruppen mit einem eigenen Kamin ausgerüstet.

3.2.8 Kühlwassersysteme

Meerwasserkühlung:

In Gove besteht, wie im 1. Teil schon erwähnt, ein ergiebiges Grundwassersystem von guter Qualität. Um aber mit diesem Wasser haushälterisch umzugehen und seine Qualität für anspruchsvolle Verbraucher womöglich zu erhalten, ging man von der ursprünglichen Idee ab, alles mit Süsswasser zu kühlen. Einzelne Grossverbraucher der Prozessanlage und des Dampfkraftwerks wurden für Meerwasserkühlung entworfen.

In der Pumpstation sind zwei drehzahlgeregelte und eine drehzahlkonstante Pumpe montiert. Eine der drehzahlvariablen Pumpen beliefert die Tonerdefabrik mit der Verdampferanlage als Hauptverbraucher. Die nicht regulierbare Gruppe dient der Kühlwasserversorgung des Hauptkondensators und des atmosphärischen Hilfskondensators, die wasserseitig in Serie geschaltet sind. Die dritte Pumpe bildet schliesslich die Reserve der beiden andern. Filter und Umleitungen zum Haupt- und Hilfskondensator vervollständigen das System. Das erwärmte Wasser fliesst durch einen offenen Sturmwasserkanal zum Meer zurück.

Es ist nicht vorgesehen, das System durch Chlorierung sauberzuhalten. Statt dessen wurde eine Rezirkulationsleitung montiert, durch die vom Haupt- und/oder Hilfskondensator erhitztes Kühlwasser nach Bedarf periodisch kurzzeitig im dazu geschlossenen System umgepumpt wird und schliesslich die temperaturempfindlichen Lebewesen aus dem System schwemmt. Dadurch umgeht man die Probleme mit chlorresistenten Muscheln (die z.B. im Takt der Impfung sich schliessen und öffnen) und der Lochfrasskorrosionen durch chlorhaltiges Salzwasser.

Von der Warte aus betätigbare Drosselklappen dienen der Umsteuerung von Normal- auf Rezirkulations- oder Bypassbetrieb.

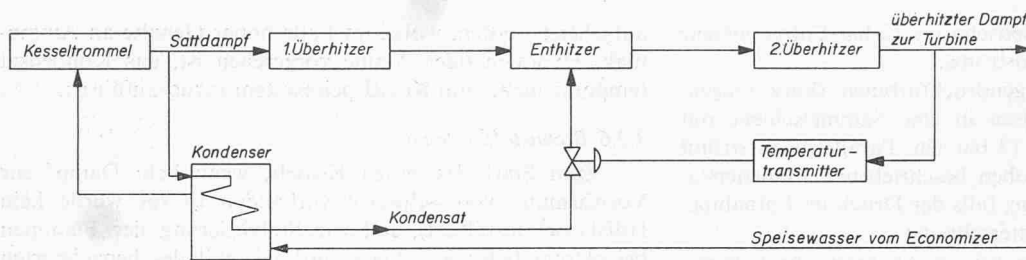


Bild 5. Schema für die Temperaturregelung des überhitzten Dampfes

Süsswasserkühlung:

Ausser Haupt- und Nebenkondensator werden alle Kühler im Kraftwerk vom Kühlturmsystem versorgt, das gleichzeitig auch das Tonerdewerk und die Dieselstation bedient. Im Dampfkraftwerk sind dies vor allem die Kühler der Luftkompressoren, Dampfturbogruppen, Kesselspeisepumpen, Kesselgebläse und Klimaanlage.

Das Kühlturmsystem ist im Kraftwerk in zwei Stränge aufgespalten. Einer dieser Stränge versorgt jene Kühler, die bei Ausfall des Kühlturmsystems nicht weiter versorgt werden. Dies sind vor allem die Luftkühler der Generatoren sowie die Klimaanlage. Der andere Strang führt zu jenen Kühlwasserkonsumenten, die bei Ausfall der normalen Versorgung zum sicheren Auslauf der betreffenden Einheiten noch einige Zeit Kühlwasser benötigen, wie z.B. die Ölkühler der Dampfturbogruppen und Kesselspeisepumpen. Dieses Notkühlwasser wird der Frischwasserversorgung des Tonerdefabrikkomplexes über einen Hochtank im Kraftwerk entnommen. Unabhängig davon können im Notfall einzelne Turbokompressoren, von der Warte aus wahlweise schaltbar, vorübergehend durch das Frischwassersystem gekühlt werden, so dass die Luftrührung ununterbrochen in Betrieb bleibt.

3.2.9 Elektrische Systeme

Die elektrischen Systeme sind in Bild 2 vereinfacht dargestellt und zum Teil in Abschnitt 2 bereits beschrieben. Die Spannung der Generatoren der Gegendruckgruppen beträgt 11 kV. Sie wird zum Transport der Energie zu den Hauptverbrauchszentren (Tonerdewerk, Hafen, Stadt und Mine) durch drei 50-MVA-Blocktransformatoren auf 22 kV umgespannt. Die 22-kV-Schaltanlage ist mit einem Doppelsammelschienensystem ausgerüstet, das entsprechend den drei Generatorschaltfeldern der Gegendruckturbogruppen in drei Längssektionen aufgeteilt ist.

Die Kondensationsturbogruppe arbeitet auf eine 6,6-kV-Sammelschiene, die ebenfalls in drei Sektionen aufgespalten ist und die Hilfsbetriebe des Dampfkraftwerkes sowie die Druckluftkompressorgruppen versorgt. Die Schiene kann auch über drei 7,5-MVA-Hilfstransformatoren vom 22-kV-System versorgt werden. Ferner sind drei 750-kVA-Transformatoren von 6,6 kV/415 V für weitere Eigenbedarfszwecke installiert. Die 415-V-Sammelschiene ist ebenfalls in drei Abschnitte geteilt. Eine 80-kW-Notstrom-Dieselgeneratorgruppe garantiert ununterbrochene Versorgung der wichtigsten elektrischen Verbraucher, wie Regelapparate und Instrumente.

3.2.10 Druckluftsystem

In Abschnitt 1.7 wurde der Entschluss begründet, die Turbokompressoren in der Turbinenhalle aufzustellen. Auf die vitale Bedeutung der Sicherstellung einer praktisch ununterbrochenen Druckluftversorgung war in Abschnitt 1.4 hingewiesen worden.

Über Filter und Schalldämpfer saugen die Turbokompressoren Aussenluft an. Die einzelnen Maschinen fördern ölfreie Luft durch ihre druckseitigen Schalldämpfer, Nachkühler und Trockner in eine gemeinsame Sammelleitung, die folgende Abgänge anspeist:

- Rührluft: Zwei Leitungen für die Luftrührung in der Tonerdefabrik, die getrennt voneinander zum Tonerdewerk führen und als Ringleitung ausgebildet sind.
- Instrumentenluft: Zwei Leitungen mit je einem zusätzlichen Kühler, Wasserabscheider und Lufttrockner und je einem Druckluftbehälter. Diese Leitungen sind ebenfalls zu einem Ring zusammengeschlossen, von dem aus die Messinstrumente und Regelapparate der Tonerdefabrik und des Kraftwerkes versorgt werden.
- Werkluft: Schliesslich wird von der Sammelleitung in einem getrennten Netz Druckluft zu weiteren Verbrauchern der Tonerdefabrik und des Kraftwerkes verteilt, z.B. zur Versorgung pneumatischer Werkzeuge. Jeder dieser Verbraucher ist, entsprechend seinen spezifischen Forderungen, mit Reduzierstation und Einrichtungen zum Zusatz von Öl ausgerüstet.

Die Überwachungseinrichtungen der Druckluftsysteme sind in der Warte des Kraftwerkes zusammengefasst.

Zur Überbrückung der mehrmonatigen Periode, während welcher der erste Kessel und die Kondensationsturbogruppe, noch nicht aber die Tonerdefabrik in Betrieb waren, wurde zur Vermeidung unwirtschaftlichen Teillastbetriebes anstelle eines Turbokompressors temporär ein kleiner, mobiler Kompressor für die zu versorgenden Mess- und Regeleinrichtungen installiert.

3.3 Komponenten

Im Anschluss an die kurze Beschreibung einzelner Kraftwerkssysteme sind nachfolgend einige Bemerkungen über ihre Hauptkomponenten zusammengestellt.

3.3.1 Dampferzeuger

Die drei identischen Dampferzeuger Typ CE-S MU sind von der Firma Combustion Engineering-Superheater Ltd., Montreal (CE-S), konstruiert und fabriziert worden. Es sind Überdruck-Strahlungskessel mit Naturumlauf und Frischluftgebläsen. Jeder Kessel ist für folgende dauernde Maximaldaten gebaut:

Brennstoff (Normalbetrieb)	Schweröl (Bunker C)
Dampfleistung	226 700 kg/h
Frischdampfzustand am Kesselaustritt	92 bar, 525 °C
Speisewassertemperatur nach Hochdruckvorwärmer	182 °C
Brennstoffverbrauch	rd. 16 000 kg/h

Fiktive spezifische Heizflächen- und Feuerraumbelastungen waren mit Rücksicht auf die erhöhte Kontaminationsgefahr des Industriekraftwerkes reichlich bemessen worden.

Zur Vermeidung der Gefahr, den Dampf durch eingespritztes Kesselspeisewasser zu kontaminieren, wurde ferner festgelegt, dass zur Dampftemperaturregelung ein indirekt arbeitender Enthitzer vorgesehen werden soll. Dazu wird der Kesseltrommel entnommener Dampf in einem das Speisewasser vorwärmenden Wärmeaustauscher niedergeschlagen. Dieses im Vergleich zum Kesselspeisewasser reinere Kondensat wird in der Temperaturregelstrecke zwischen erstem und zweitem Überhitzer in den Dampf eingespritzt (Bild 5).

Diesen «modular unit type»-Dampferzeuger baut CE-S mit zahlreichen vorfabrizierten Elementen, wodurch sich Einsparungen auf dem Montageplatz ergeben. Die ganze Einheit ist selbsttragend, ruht auf einfachen Fundamenten und kann frei nach oben expandieren. Zwei Brenner sind in jeder Kesselecke auf zwei Ebenen tangential zu je einem imaginären Kreis im Feuerraum angeordnet. Sie sind einzeln abschaltbar und mit einem automatisch arbeitenden Brenner-Managementsystem sowie Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet. Die heissen Gase steigen von dort mit Drall vertikal auf und beaufschlagen anschliessend nach unten strömend nacheinander beide Überhitzer und den Economiser. Kesseltrommel und Fallrohre sind den heissen Gasen nicht ausgesetzt. Überhitzer und Economiser sind entleerbar angeordnet.

Da grosse Dampfmengen im Laufe der Expansion zum Prozess abgezweigt werden, ist die installierte Kesselleistung weit grösser als die installierte elektrische Leistungsfähigkeit. Mit dem von den Kesseln lieferbaren Dampf könnte eine elektrische Leistung von etwa 200 MW bereitgestellt werden.

3.3.2 Entnahme-Gegendruckturbogruppen (Bild 6)

Brown Boveri konstruierte die drei Entnahme-Gegendruckturbogruppen und fabrizierte sie in ihrem Werk Zürich-Oerlikon. Jede Dampfturbine ist mit ihrem Generator starr gekuppelt. Die Gruppen sind für folgende Hauptdaten bemessen:

Klemmenleistung	35 MW
Generatorscheinleistung ($\cos \varphi = 0,7$)	50 MVA
Drehzahl	3000 U/min
Frischdampfzustand:	
Druck	87 bar
Temperatur	520 °C
Massenstrom	226 700 kg/h
Entnahmedruck (geregelt)	12 bar
Gegendruck (geregelt)	5 bar

Die Axialturbine wurde in Kammerbauart mit Gleichdruckbeschaukelung konzipiert. Zur Erhöhung des Wirkungsgrades ist die Regelstufe nur einkränzig ausgeführt, so dass ihr Gefälleanteil relativ klein ist und die Expansion vorwiegend in den vollbeaufschlagten Repetierstufen bei vergrösserter Volumenkenzahl erfolgt. Bis zur geregelten Entnahme sind 11 Repetierstufen eingebaut, anschliessend verarbeiten 3 weitere Stufen den Gegendruckdampf. Die Turbine ist eingehäusig und einmantelig konstruiert, ihr Scheibenrotor ist aus einem Schmiedestück bearbeitet. Die zwischen rotierenden und feststehenden Teilen zu dichtenden Stellen der Leitradzwischenböden und Stopfbüchsen sind mit federbelasteten beweglichen Segmenten und alle Laufschauflern mit Deckbändern ausgerüstet. Der Dampf gelangt über zwei Schnellverschlussventile und die vier symmetrisch angeordneten Einsitzreguliertventile der Düsendgruppen zur Regelstufe. Vier Überströmventile führen den Dampf zum letzten Expansionsabschnitt der Maschine. Eine von der Turbinenwelle mechanisch angetriebene Schraubenpumpe versorgt die Regulierung und die Schmierung der ganzen Turbogruppe im Normalbetrieb mit Drucköl. Für das Anfahren ist ausserdem eine von einem Wechselstrommotor angetriebene Pumpe vorgesehen. Zur Sicherstellung des Auslaufs bei Ausfall der Wechselstromversorgung wird die Schmierung automatisch von einer Pumpe mit Gleichstrommotor übernommen. Die Gruppe ist ferner mit Hochdruckschmierung zum Anheben des Rotors beim Start ausgerüstet. Die Drehzahl der elektrisch getriebenen Wellendrehvorrichtung ist so hoch gewählt worden, dass beim Wellendrehen in den Lagern Mischreibung vermieden wird. Mit Rücksicht auf die Frischdampfdaten wurde ferner eine Spritzasbestisolation des Turbinengehäuses vorgesehen. Der Generator ist mittels eines geschlossenen Luftsystems gekühlt.

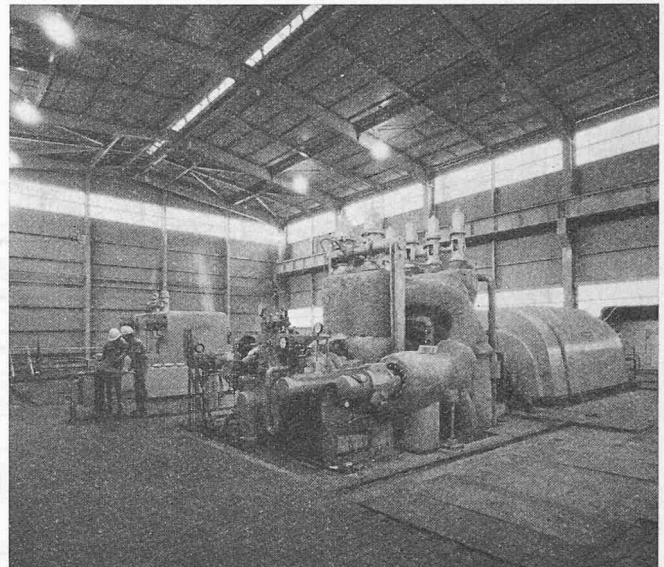


Bild 6. Entnahme-Gegendruckturbogruppe, dahinter Kondensationsturbine

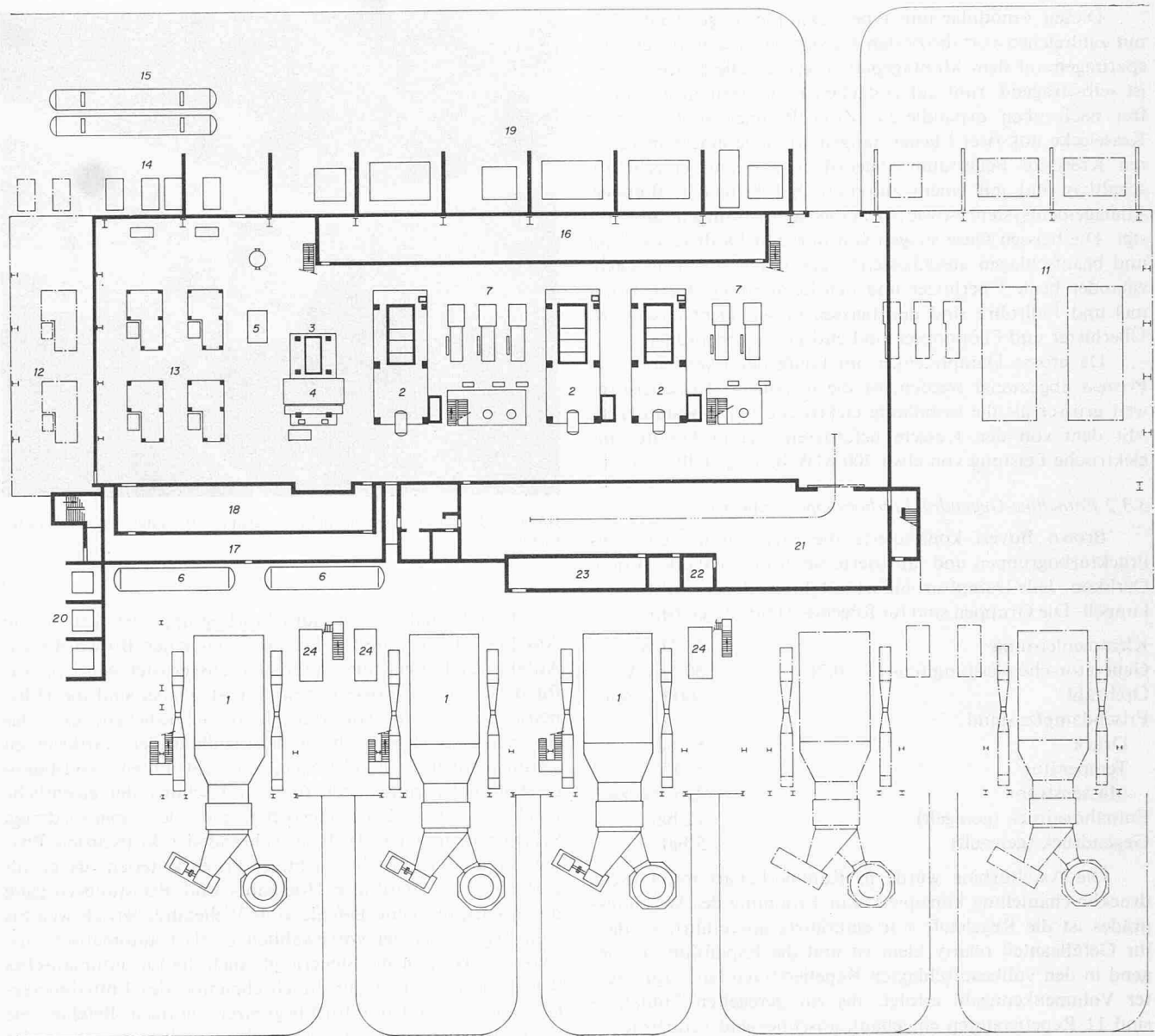
Jede Entnahme-Gegendruckturbogruppe ist aus den in Abschnitt 1.7 erwähnten Gründen mit einer Brown-Boveri-Anfahr- und -Belastungsautomatik ausgerüstet worden, was für diese Einheitsgrösse ungewohnt ist. Dabei sind die Hilfsbetriebe nach wie vor von Hand zu bedienen, und das Betriebspersonal ist auch für die Erfüllung der Startkriterien verantwortlich. Es handelt sich also nicht um eine vollständige Automatisierung, doch führt und schützt der eigentliche Hochfahr- und Belastungsregler mit der angegliederten Schrittsteuerung die Turbine während der kritischsten Phasen. Sofern eine Reihe wichtiger Primärkriterien als erfüllt gemeldet sind, wird der Hochfahr- und Belastungsvorgang durch entsprechende Befehle vom Wellendrehbetrieb weg bis zum Erreichen einer vorgewählten Endlast automatisch ausgelöst. Dabei gibt die Steuerlogik auch die für automatisches Synchronisieren und zur Inbetriebnahme des Entnahmereglers und Frischdampfdruckbegrenzers nötigen Befehle. Sie gewährleistet ferner die Verknüpfung und Verriegelung der ein- und ausgehenden Signale. In Stellung «Manual» ist ein Dauersuchprozess wirksam, bei dem fortwährend auf Grund der erfüllten Primärkriterien der Zustand der Turbine festgestellt wird. Schaltet man auf Stellung «Automat» um, so schreitet der Programmvorschub von der höchsten Programmstufe, in welcher alle in dieser Stufe überwachten Primärkriterien erfüllt sind, weiter. Ist schliesslich eines der Primärkriterien nicht erfüllt, so springt die Vorrichtung auf «Manual» zurück, wobei ein Alarm und die Anzeige des nicht erfüllten Kriteriums aufleuchten. Auf Stellung «Automat» kann erst wieder gefahren werden, wenn die durch die Vorrichtung identifizierte Störung behoben ist.

3.3.3 Kondensationsturbogruppe

Brown Boveri fabrizierte die Turbine dieser Gruppe im Werk De Pretto-Escher Wyss in Schio (Italien) und den Generator im Werk MFO in Oerlikon. Ihre Hauptdaten sind:

max. Leistung	7,5 MW
Drehzahl	3000 U/min
Frischdampfzustand:	
Druck	rd. 5 bar
Temperatur	rd. 185 °C
Kühlwassertemperatur	32 °C

Diese Turbine ist ebenfalls in Kammerbauart mit axialer Gleichdruckbeschaukelung ausgeführt. Sie besitzt mit dem ein-



kränzigen Regelrad neun Stufen. Der Kondensator wurde nach Lizenz von Brown Boveri von Evans Deakin Pty. Ltd., Brisbane (Australien), gebaut. Bei reduzierter Last kann wahlweise eine Kondensatorhälfte in Betrieb inspiziert und gereinigt werden.

3.3.4 Kesselspeisepumpengruppen

Die Firma Sulzer Bros. Ltd., London, lieferte die fünf Kesselspeisepumpen, die in ihrem Werk in Leeds (U. K.) gefertigt wurden. Sie sind über eine hydraulische Kupplung der Firma Fluid Drive Engineering Co. Ltd. durch Elektromotoren von Laurence, Scott & Electromotors Ltd., Norwich (U. K.), angetrieben. Ihre Hauptdaten sind:

Pumpe:	
Pumpentype	HPT 32
Druck	118 bar
Fördermenge	283 500 kg/h
Stufenzahl	8
Elektromotor:	
Leistung	1340 kW
Drehzahl	2970 U/min

Die Pumpendrehzahl wird automatisch auf minimalen Druckabfall über dem Kesselspeiseregulventil reguliert.

3.3.5 Druckreduzierstationen

Die in Abschnitt 3.2.3 erwähnten zwei mit Frischdampf (92 bar) beaufschlagten Reduzierstationen, die auf die 12- und 5-bar-Netze arbeiten, sind Siemens-Dampfumformventile. Der Dampfteil jeder dieser Reduzierstationen ist als dichtschiessendes Einsitzregelventil ausgebildet, in das zwischen der Ventildichtstelle und dem engsten Ventilquerschnitt das Kühlwasser so eingeführt wird, dass es sich im Dampf rasch gleichmässig verteilt. Die nachfolgende turbulente Expansionsströmung ergibt eine homogene Beschaffenheit des gedrosselten und gekühlten Dampfes, so dass Wasserschläge und Wärmespannungen vermieden werden. Die Kühlwasserversorgung des vom gekühlten Dampf temperaturabhängig gesteuerten Wassereinspritzventils ist von allen fünf Kesselspeisepumpen her sichergestellt. Die Reduzierstationen sind für folgende Dampfströme gebaut (abströmseitig):

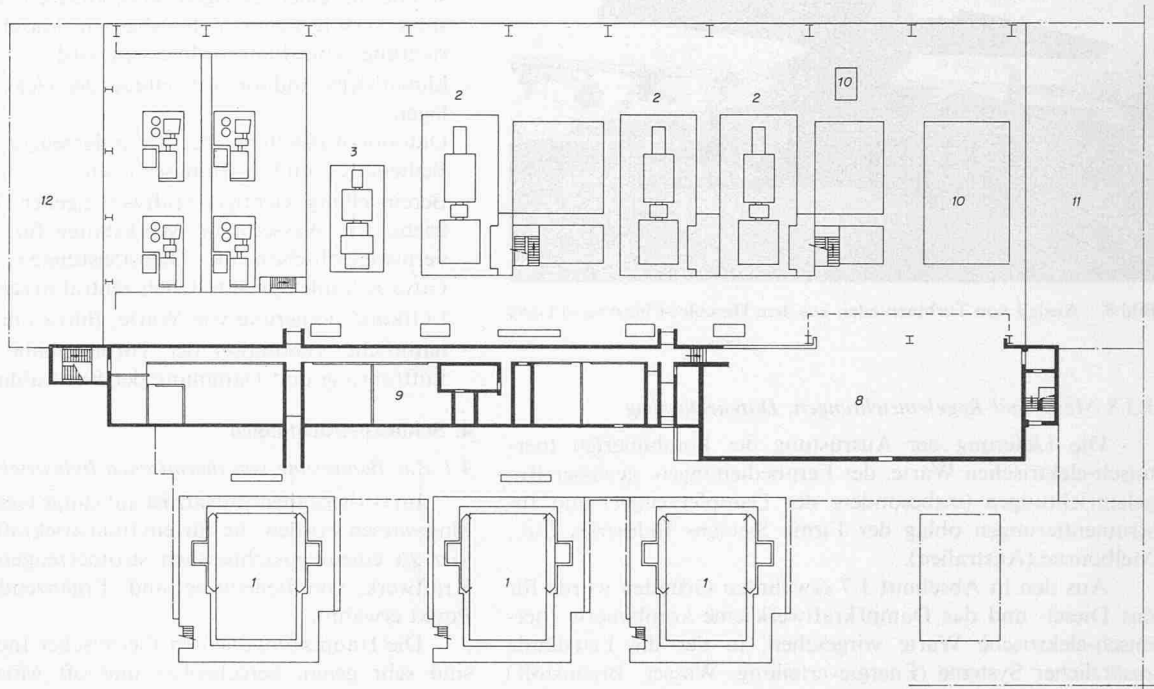
Station I: 92 / 5 bar:	97 700 kg/h
Station II: 92 / 12 bar:	38 000 kg/h
Station III: 12 / 5 bar:	31 900 kg/h

3.3.6 Speiswasseraufbereitung

Der Wasseraufbereitung kommt für diese Anlage aus verschiedenen Gründen grösste Bedeutung zu. Die qualitati-

Bild 7a (Seite links). Grundriss des Dampfkraftwerkes auf Fundamenthöhe

Bild 7b (unten). Grundriss des Dampfkraftwerkes auf Maschinenhaushöhe



- | | | |
|---|--|--|
| 1 Dampferzeuger | 9 Trakt mit Data Logger, Instrumentenwerkstatt, Wasserlabor, Büros, Sozialräumen | 16 22-kV-Kabelkeller, darüber 22-kV-Schaltanlage |
| 2 Entnahme-Gegendruckturbogruppen 35 MW | 10 Montageöffnung | 17 6,6-kV-Kabelkeller, darüber 6,6-kV-Schaltanlage |
| 3 Kondensationsturbogruppe 7,5 MW | 11 Künftige Erweiterung der Turbinenhalle für weitere Turbogruppen | 18 415-V-Schaltanlage |
| 4 Hauptkondensator | 12 Künftige Erweiterung der Turbinenhalle für weitere Turbokompressorgruppen | 19 Transformatoren 22/11 kV und 22/6,6 kV |
| 5 Hilfskondensator | 13 Turbokompressoren | 20 Transformatoren 6,6 kV/415 V |
| 6 Kondensatsammelbehälter | 14 Luftfilter zum Druckluftsystem | 21 Werkstatt |
| 7 Kesselspeisepumpen | 15 Druckluftbehälter | 22 Werkzeugraum |
| 8 Zentrale Warte | | 23 Klimaanlage |
| | | 24 Schwerölvorwärmer |

ven Ansprüche an Kesselspeisewasser und Kesselwasser sind durch die Frischdampfdaten bestimmt. Diese Daten sind unter Berücksichtigung der Grösse des Kraftwerks und der Tatsache, dass es sich um eine Industrieanlage handelt, relativ hoch. Da der Prozess in der Tonerdefabrik kontinuierlich grosse Dampfmassenströme konsumiert, deren Kondensat nicht ins Kraftwerk zurückgeführt wird, ist die Leistungsfähigkeit der Aufbereitungsanlage für Kesselspeisewasser im Vergleich zur Kesselgrösse unverhältnismässig gross.

Die im Projektstadium periodisch durchgeführten Messungen zeigten, dass dem lokalen Grundwassersystem reichlich und gutes Wasser entnommen werden kann. Da aber doch gewisse Streuungen festgestellt wurden und nicht bekannt ist, wie weit die Rohwasserqualität bei dauernder Entnahme sich künftig ändern wird, wurde beim Entwurf der Wasseraufbereitung einer möglichen Erhöhung fremder Bestandteile Rechnung getragen.

Die Permutit Company of Australia Pty. Ltd. lieferte die automatisierte Ionenaustauschanlage. Sie besteht aus zwei unabhängigen Strassen, von denen jede, unter Berücksichtigung der Regenerationen, eine durchschnittliche Kapazität von 100 t/h an aufbereitetem Wasser hat. Die Automatik steuert und überwacht die Produktion von aufbereitetem Wasser ent-

sprechend der Füllung der Vorrattanks, die Waschung der Filter und die Regeneration der Mischbetteinheiten.

Zwei mit Epoxy gegen vollentsalztes Wasser geschützte Stahl tanks von je 1000 m³ Arbeitskapazität dienen der Vorratshaltung aufbereiteten Wassers. Eine Kondensatfilteranlage zur Reinigung der im Kraftwerk wiederverwendeten Kondensate ist vorläufig nicht vorgesehen.

3.3.7 Turbokompressorgruppen

Brown Boveri-Sulzer Turbomaschinen AG, Zürich, lieferte die vier Gruppen, wobei die Kompressoren im Werke Escher Wyss in Zürich, die Elektromotoren im Werk Birr der BBC fabriziert wurden. Maag-Zahnräder AG, Zürich, lieferte dazu die einstufigen Getriebe. Die Daten der Gruppen sind:

Radialkompressor:

Förderstrom	14 200 Nm ³ /h
Druck	7,9 bar
Drehzahl	11 000 U/min
Stufenzahl	6
Anzahl Zwischenkühler	2

Elektromotor:

Leistung	1850 kW
Drehzahl	1490 U/min



Bild 8. Auslad von Turbinenteilen aus dem Hercules-Flugzeug in Gove

3.3.8 Mess- und Regeleinrichtungen, Datenerfassung

Die Lieferung der Ausrüstung der kombinierten thermisch-elektrischen Warte, der Fernbedienungen, gewisser Regeleinrichtungen (insbesondere der Dampferzeuger) und Instrumentierungen oblag der Firma Siemens Industries Ltd., Melbourne (Australien).

Aus den in Abschnitt 1.7 erwähnten Gründen wurde für das Diesel- und das Dampfkraftwerk eine kombinierte thermisch-elektrische Warte vorgesehen, in der die Leitstände zusätzlicher Systeme (Energieverteilung, Wasser, Brennstoff) integriert wurde. Zudem plante man den Kontrollraum platz- und anordnungsmässig für eine auf 2 Mio t Al_2O_3/a erweiterte Tonerdefabrik. Die konventionelle Ausrüstung der Warte als Informationszentrum der später zu erweiternden Energieversorgung ergäbe eine räumlich zu grosse Streuung der Information. Ihre Verdichtung wurde durch Anwendung der Siemens-Miniaturrastertechnik erreicht. Zudem erlaubt diese Lösung, bei der geplanten Erweiterung das ursprüngliche Konzept, sofern später nötig, neuen Gegebenheiten anzupassen.

Die angebotene Information wird durch die gewählte Technik umfangmässig nicht beeinflusst, sie wird nur zweckmässiger präsentiert. Um aber bei grossem, ständigem Informationsfluss kritische Informationsverluste zu vermeiden, wurde eine Datenerfassung vorgesehen. Diese zusätzliche Installation eines zwar nicht direkt eingreifenden «Gehirns und Gedächtnisses» soll die Betriebsführung erleichtern und die Zahl der Schadenfälle besonders beim Zusammentreffen mehrerer Fehler, die nicht rechtzeitig erkannt und beseitigt worden sind, verringern. Der eingebaute Siemens Data Logger (Typ 301) genügt für die heute installierte Ausrüstung, verarbeitet er doch in Perioden von 6 bis 60 Sekunden ungefähr 500 Analogwerte. Ungefähr 500 Alarmpunkte sind kontinuierlich überwacht, und die Protokollierung liefert auch die korrekte Folge der Ereignisse. Zusätzlich sind dringende Informationen und Alarmanzeigen unabhängig vom Data Logger in herkömmlicher Technik eingerichtet. Ferner können gewisse Einheiten im Notfall lokal gefahren und überwacht werden.

3.4 Anordnung

Die Anordnung der wichtigsten Einheiten geht aus dem stark vereinfachten Bild 7 hervor. Sie ist vor allem durch folgende Umstände gekennzeichnet:

- relativ grosse Einheitenzahl infolge Bereitstellung echter Reserve, bedingt durch praktisch nicht unterbrechbaren Inselbetrieb,
- Aufstellung der Turbokompressoren in der Turbinenhalle,

- Reservation von Platz für spätere Erweiterung des eigentlichen Dampfkraftwerks und der Druckluftherzeugungsanlagen,
- kleine Kondensationsanlage mit entsprechend geringer «Keller»-Höhe,
- relativ grosser Platzbedarf für Prozessrohrleitungen und zahlreiche Sammelschienen,
- Zusammenfassung der bei Normalbetrieb bedienten Leitstände in einer einzigen kombinierten Warte, die nach später erfolgendem Vollausbau in Maschinenhalle-Längsrichtung zentral angeordnet sein wird,
- klimatisierte Indoor-Aufstellung der elektrischen Schaltanlagen,
- Outdoor-Aufstellung der Dampferzeuger mit geschützten Bedienungs- und Wartungsständen,
- Bereitstellung wichtiger kraftwerkeigener Dienstleistungsbetriebe, wie Wasserlabor, Werkstätten für besondere Erfordernisse, obschon die Dienstleistungen für den ganzen Gove-Komplex grundsätzlich zentral organisiert sind,
- Luftkonditionierung von Warte, Büros und Sozialräumen,
- natürliche Ventilation der Turbinenhalle durch geeignete Luftführung und Dämmung der Einstrahlung.

4. Schlussbetrachtungen

4.1 Zur Bemessung von thermischen Industriekraftwerken

Im vorliegenden Aufsatz ist auf einige Gesichtspunkte kurz hingewiesen worden, die für ein Industriekraftwerk, im Gegensatz zu einem ausschliesslich stromerzeugenden thermischen Kraftwerk, von Bedeutung sind. Ergänzend sei ein weiterer Punkt erwähnt.

Die Hauptkomponenten thermischer Industriekraftwerke sind sehr genau berechenbar und oft «massgeschneidert». Leistungs- und Energieverbrauchsgarantien von Dampferzeugern und thermischen Turbomaschinen sind heute mit engen Toleranzen behaftet. Die Vorausberechnung von Prozessanlagen und ihren Energieverbräuchen ist hingegen nicht stets mit vergleichbarer Genauigkeit durchführbar.

Diesen Gegebenheiten ist bei der Formulierung der Anforderungen an die Energieerzeugungsanlage von Anfang an und unter Berücksichtigung der Leistungseinbusse durch Alterung usw. Rechnung zu tragen. Insbesondere lassen sich nachträgliche Kapazitätserweiterungen oder Verbesserungen der eigentlichen Prozessanlagen oft durch Eliminierung einzelner Engpässe relativ leicht und billig durchführen. Da aber die Hersteller der Hauptkomponenten von Kraftwerken heute in der Lage sind, ihre Garantien einzuhalten, ohne von sich aus «gratis» grössere Reserven für Schluckfähigkeiten, Belastungen usw. einzubauen, wird das Kraftwerk kapazitätsmässig leicht zum begrenzenden Faktor der zu erweiternden Produktionsstätte, falls der Bauherr die Energieanlage von vornherein allzu knapp bemisst. Zudem hat die Optimierung der Produktionsanlagen unter Berücksichtigung des Kraftwerks zu erfolgen.

4.2 Terminprobleme

Bei der Projektierung eines Industriekomplexes mit einer eigenen grösseren Energieerzeugungsanlage ist das Kraftwerk oft auf dem kritischen Weg des Gesamtprojektprogramms. Dies war für das Projekt Gove von Anfang an der Fall.

Ferner ergaben sich infolge der prekären Liefertermine bei europäischen Rohmateriallieferanten wegen Konjunktur und Streiks verzögerte Ablieferungen, die durch besondere Transport- und Montagemassnahmen wettzumachen waren. Um nicht den Termin der Produktionsaufnahme der Tonerdefabrik zu gefährden, wurde z. B. im Oktober 1971 die erste Entnahme-Gegendruckturbine von Zürich nach Gove geflogen. (Der zugehörige Generator war vorher auf dem Seeweg transportiert worden.) Der Lufttransport von über 60 t erfolgte in

drei Flügen in einem gecharterten Hercules-Flugzeug, wobei mit einer Ladung von rd. 21 t sowohl das Flugzeug als auch die Landepiste in Gove ausgelastet waren. Pro Flug wurde jeweils eine Turbinengehäusehälfte bzw. der Turbinenrotor nebst weiteren Einzelteilen geladen (Bild 8).

4.3 Bisherige Betriebsergebnisse

Im Oktober 1971 nahm die Kondensationsturbogruppe von 7,5 MW den industriellen Betrieb auf, da das Dieselmotorkraftwerk für die Stromversorgung nicht mehr genügte. Die Gegendruckgruppen von je 35 MW dagegen waren damals planungsgemäss weder betriebsbereit, noch wurden sie für Prozessdampflieferungen benötigt. Dies war erst im Februar 1972 der Fall. Bis dahin, d.h. während fast eines halben

Jahres, hatte der erste Dampferzeuger extrem tiefe Last (20% und darunter) zu fahren. Dies geschah aus naheliegenden Gründen bei reduzierten Frischdampfdaten (etwa 60 bar, 430 °C), wodurch der Volumenstrom nicht so stark verringert war wie der Massenstrom. Der Betrieb war trotz erschwerten Bedingungen infolge gleichzeitiger Montage und Inbetriebsetzung weiterer Einheiten und gemeinsamer Systeme zuverlässig durchführbar.

Inzwischen nahmen auch die zwei weiteren Kessel, die Gegendruckturbogruppen und Turbokompressoren ihren industriellen Betrieb auf bzw. sind als Reserve verfügbar.

Adresse des Verfassers: J. Köchli, dipl. Ing. ETH Zürich, Prokurist, Alusuisse Engineering AG, Postfach 390, 8048 Zürich.

Umschau

Sonneneruption begünstigt Weltraumprojekt. Am 3. Mai hat sich auf der Sonne, wie schon im letzten August, eine riesige Eruption ereignet. Schlechtes Wetter hat die optische Beobachtung verunmöglicht, aber der Radiospektograph der ETH Zürich, der aus der Zusammenarbeit der Eidg. Sternwarte (Prof. Max Waldmeier) und des ETH-Mikrowellenlabors (Prof. Georg Epprecht) entstanden ist, hat das ungewöhnliche Ereignis in seinem ganzen Verlauf registriert. Während der von 9.30 bis 10.30 h dauernden Eruption wurde eine Energie emittiert, die viele Millionen mal grösser ist als die in der Schweiz in einem Jahr erzeugte elektrische Energie. Die mit der Eruption verbundene Röntgenstrahlung war so intensiv, dass der Kurzwellenempfang völlig zusammenbrach. Das vierwöchige Beobachtungsprogramm des bisher grössten Satelliten Skylab, der am 25. Mai von der NASA gestartet wurde, dient ganz der Erforschung der Sonne im optischen, ultravioletten und Röntgenbereich. Ein voller Erfolg kann das Unternehmen nur werden, wenn die Sonne aktiv mitmacht, was nicht selbstverständlich ist. Denn das kommende Aktivitätsminimum, in welchem sich unser Tagesgestirn für einige Jahre zur Ruhe setzen wird, liegt weit näher als das abgelaufene Maximum. Die Wissenschaftler erhoffen deshalb eine weiterhin rege Sonnentätigkeit und erwarten von der koordinierten Zusammenarbeit von Sonne, Skylab und erdgebundenen Beobachtungen neue Erkenntnisse über unser Tagesgestirn. Die Arbeiten im Weltraumobservatorium Skylab, das über sechs Teleskope verfügt, werden durch die Beobachtungen eines weltweiten Netzes von Bodenstationen ergänzt, an welchem auch die Eidg. Sternwarte als Welt-Daten-Zentrum beteiligt ist.

DK 523.74:629.19

Hochkorrosionsbeständige Werkstoffe im Chemie-Apparatebau. Hierüber berichtet Dipl.-Ing. Reiner Köcher, Düren, in «VDI-Z» 115 (1973), Nr. 8, S. 649–655. Solche Werkstoffe werden für Apparate zur Durchführung chemischer Prozesse mit stark aggressiven Reaktionskomponenten verwendet. Auch das Bemühen um Umweltschutz (Verfahren mit unkritischen Abfallstoffen) hat in einigem Umfang dazu geführt, hochkorrosionsbeständige Werkstoffe einzusetzen. Eine breite Anwendung finden Titan und Titan-Palladium-Legierungen. Infolge seiner Empfindlichkeit gegen Gase ist demgegenüber der Anwendungsbereich von Tantal eingeschränkt. Zunehmend an Bedeutung gewinnen im Apparatebau Sprengplattierungen sowie Zirkon und Molybdän. Da es sich meist um Schweisskonstruktionen handelt, sind gute Schweissbarkeit und Bearbeitbarkeit gefordert. DK 669.28/29

Neue Privatdozenten an der ETH Zürich. Der Präsident der ETH Zürich hat auf Antrag der Abteilung für Mathematik und Physik sowie der Abteilung für Elektrotechnik folgende Habilitationsgesuche genehmigt: Dr. Hans-Joachim Güntherodt (1939), Oberassistent am Laboratorium für Festkörperphysik, für das Lehrgebiet «Experimentelle Physik der kondensierten Materie»; Dr. Thomas M. Liebling (1942), dipl. El.-Ing. ETH, Oberassistent am Institut für Operations Research, für das Lehrgebiet «Operations Research»; Dr. Jakob Vogel (1935), Lehrbeauftragter an der ETHZ, für das Lehrgebiet «Computer-Aided Design, insbesondere Analyse und Synthese elektrischer Netzwerke und Systemsimulation».

Architekt Hans Marti zum 60. Geburtstag. Die Leser der Schweiz. Bauzeitung, die er von 1949 bis 1962 mit Liebe und Leidenschaft durch alle Fragen der Architektur und der Planung geführt hat, sollen wissen, dass Hans Marti am 11. Juli dieses Jahr seinen 60. Geburtstag begehen wird. Sein mit unerbittlicher Logik geführter Kampf um stadtgerechte Verkehrslösungen (u. a. charakterisiert durch den Ausruf «Machen Sie diesen Blödsinn nicht», 1961) brachte ihm die Stellung des Delegierten des Stadtrates für die Stadtplanung von Zürich, die er 1962 bis 1967 innehatte, um hierauf seine Arbeitskraft wieder ganz dem Planungs- und Architekturbüro Marti & Kast zu widmen. Leider hat sich die Hoffnung, Hans Marti möchte damit auch wieder häufiger als Autor in der SBZ erscheinen, nicht erfüllt. Auch aus der Politik hat er sich zurückgezogen; mit schmerzlicher Enttäuschung stellt er fest, dass seine Forderungen, die früher ungehört verhallten, erst heute, da es zu deren Erfüllung manchenorts zu spät ist, richtig verstanden und sogar von der breiten Masse vertreten werden. Es mag aber gerade diese Erfahrung sein, die ihn ermutigt, seiner Planerarbeit mit unverminderter Hingabe obzuliegen. Dass er seine öffentlich sichtbare Tätigkeit — jährlich Hunderte von Vorträgen und Referaten im In- und Ausland sowie ungezählte Aufsätze in Zeitungen — eingeschränkt hat, erfüllt seine Freunde mit Genugtuung. Sie sehen darin die beste Gewähr dafür, dass dem Land und den Gemeinden Martis Arbeitskraft als Planer und Experte erhalten werden kann, zu deren Wohl und zu seiner eigenen Befriedigung; ist doch der Dienst am Gemeinwohl das Lebensziel unseres Jubilars, das er aufs schönste verwirklicht hat und das weiter zu verfolgen wir ihm herzlich wünschen! DK 92 W. Jegher

Persönliches. Kürzlich ist Prof. Dr. Walter Traupel, Vorsteher des Instituts für thermische Turbomaschinen, die De-Laval-Medaille verliehen und durch den schwedischen Kronprinzen Carl Gustav überreicht worden. Die De-Laval-Medaille ist eine Auszeichnung der Schwedischen Akademie der Ingenieurwissenschaften. DK 92