

Das Atomkraftwerk Mühleberg der BKW

Autor(en): **Meichle, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 23: **SIA - 70. Generalversammlung, Bern: erstes Sonderheft**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-69464>

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.

Das Atomkraftwerk Mühleberg der BKW

DK 621.311.25:621.039

Von Dr. **A. Meichle**, Vizedirektor der Bernischen Kraftwerke AG, Bern, und **W. P. Auer**, dipl. Ing., Vizedirektor der AG Brown, Boveri & Cie, Baden ¹⁾

Einleitung

Eine ausserordentliche Generalversammlung der Bernischen Kraftwerke AG, Bern (BKW), beschloss am 11. März 1967, an der Aare bei Mühleberg, westlich des bestehenden Wasserkraftwerkes, ein Atomkraftwerk mit einer gesamten elektrischen Nettoleistung von 306200 kW und einer Energieproduktion von 2,1 Mld kWh pro Jahr zu erstellen. Mit dem Bau dieses grossen Kraftwerkes wurde am 1. April dieses Jahres begonnen; die ordentliche Betriebsaufnahme soll am 1. Oktober 1971 erfolgen.

Bei der Elektrizität betrug die Verbrauchszunahme in der Schweiz seit Jahren fast 6% im Jahr, was einer Verdoppelung des Verbrauchs in 12 bis 13 Jahren gleichkommt. Bei den BKW ist die gleiche Entwicklung festzustellen. Im Jahre 1966 betrug ihr Energieabsatz rund 3,27 Mld kWh und wurde gedeckt zu 19% aus eigenen Kraftwerken, zu 57% aus Partnerwerken und zu 24% aus Fremdstrom, das heisst Energie aus fremden schweizerischen und ausländischen Werken. Die letzten ausserkantonalen Speicherkraftwerke, an denen sich die BKW beteiligen konnten, stehen vor der Vollendung (Mattmark) oder sind in fortgeschrittenem Baustadium (Maggia-West, Electra-Massa, Engadiner Kraftwerke); das letzte eigene Flusskraftwerk, Bannwil, ist ebenfalls im Bau und das Kraftwerk Aarberg wurde vor einigen Wochen dem Betrieb übergeben. Auch wenn man diese neuen Bezugsquellen berücksichtigt und in Zukunft mit einer geringeren Zuwachsrate als 6% rechnet, stehen die BKW schon in wenigen Jahren vor der Tatsache, dass sie im Winter wie im Sommer Energie abgeben sollten, über die sie nicht verfügen.

Aus diesen Gründen sahen sie sich nach weiteren Möglichkeiten zur Erschliessung neuer Energiequellen um, indem sie sich mit dem hydraulischen Projekt im Oberland, mit der Idee eines ölthermischen Kraftwerkes im Seeland und mit dem Projekt für ein Kernkraftwerk an der Aare bei Mühleberg befassten. Wie allgemein bekannt ist, konnten die drei Möglichkeiten in der Reihenfolge obiger Aufzählung nicht verwirklicht werden. Die BKW mussten sich entschliessen, die Reihenfolge umzukehren und das Atomkraftwerk Mühleberg an die erste Stelle zu setzen. Die auf den Winter 1971/72 verfügbare und von der BKW auch benötigte Atomenergie wird in den nachfolgenden Sommerhalbjahren allerdings nur gering sein, da im Sommer das Energieangebot der Wasserkraftwerke wesentlich grosser, der Bedarf aber kleiner ist als im Winter. Doch sollen durch geeignete Massnahmen bereits vom ersten Betriebsjahr an ein ausreichender Ausnutzungsgrad und damit günstige Energiegestehungskosten erreicht werden.

Im Februar 1966 luden die BKW die auf Grund von Einzelausschreibungen für das nukleare Dampferzeugungssystem einerseits und für die Turbinenanlage andererseits ausgewählten Firmen General Electric Technical Services Company (GETSCO) und AG Brown, Boveri & Cie. ein, sich als solidarisch haftende Partner zu einem Lieferkonsortium zusammenzuschliessen und ein Pauschalpreisangebot auf ein schlüsselfertiges Kraftwerk auszuarbeiten.

GETSCO übernimmt die Erstellung des nuklearen Dampferzeugungssystems mit dem primären Druckabbausystem²⁾ und liefert den atomaren Brennstoff. Brown Boveri ist für die Dampfturbineninstallation, die elektrische Ausrüstung und die übrigen Anlagenteile der Zentrale einschliesslich Hoch- und Tiefbauten verantwortlich und besorgt auf Wunsch der BKW die Federführung für die Arbeitsgemeinschaft. Es gehören zum Aufgabenbereich von Brown Boveri nicht nur Entwurf, Bemessung, Koordination und Detailkonstruktion des Dampfturbinenteils und der elektrischen Anlagen, sondern auch Entwurf, Berechnung und Planung der nuklearen Hilfssysteme, der Sicherheitseinrichtungen ausserhalb des Reaktors einschliesslich des sekundären Druckabbausystems und der gesamten Hilfsinstallationen des Kraftwerks. An der Ausführung dieser Arbeiten ist die Kraftwerksabteilung von BBC Mannheim massgeblich beteiligt. Detailplanung und Ausführung der Hoch- und Tiefbauarbeiten werden der Firma Emch & Berger, Ingenieurbüro SIA, Bern, anvertraut.

Das Atomkraftwerk Mühleberg ist für eine Nettoleistung von 306200 kW an den Oberspannungsklemmen der Maschinentransformatoren vorgesehen. Die erzeugte Energie kann, normale Entwicklung des Absatzes und Ersatz der Fremdenergie durch Eigenproduktion vorausgesetzt, ab Inbetriebnahme weitgehend für die eigenen Bedürfnisse der BKW eingesetzt werden, besonders bei mittlerer und schlechter Wasserführung und in Verbindung mit Pumpspeicherung.

Die Kosten für die Erstellung des Kraftwerkes und für die Brennstofferausstattung sind auf 302,4 Mio Fr. veranschlagt. Der Energiegestehungspreis, einschliesslich Kapital-, Brennstoff- und Betriebskosten, beträgt bei 7000 jährlichen Vollastbetriebsstunden 2,2 Rp/kWh und steigt bei nur 4000 Stunden im Jahr auf 3,2 Rp/kWh.

Standortwahl

Die Wahl des geeignetsten Standortes für ein Atomkraftwerk setzt die Untersuchung und Abwägung zahlreicher Gesichtspunkte voraus. So musste danach getrachtet werden, in die Nähe einer bestehenden Transformierungs- und Verteilanlage (Unterstation) und möglichst

¹⁾ Nach einem Beitrag in «Brown Boveri Mitteilung» Bd. 54 (1967), H. 2/3, S. 51-68

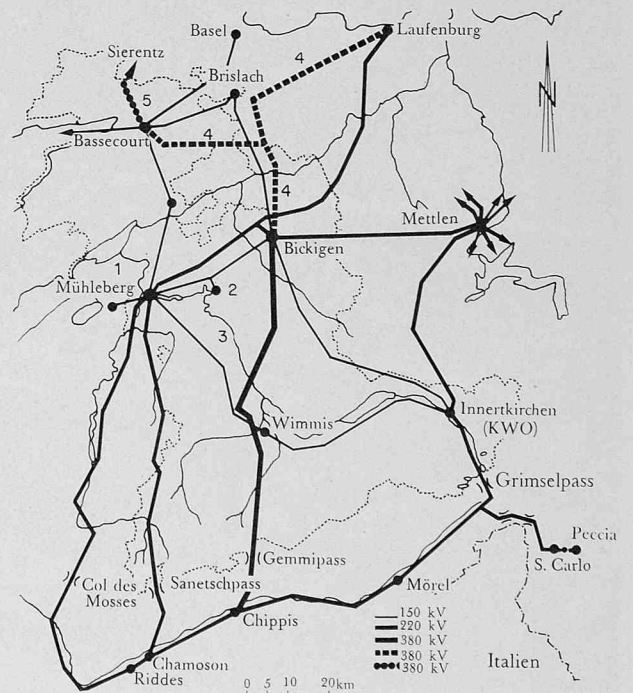
²⁾ Sicherheitsabschirmungen, siehe Bild 7, S. 400



Bild 1. Lageplan des Atomkraftwerks Mühleberg

Bild 2 (rechts). Lage des Atomkraftwerks beim Knotenpunkt Mühleberg des BKW-Hochspannungsnetzes

- 1 Wasserkraftwerk und Unterstation Mühleberg
- 2 Bern
- 3 Aare
- 4 380-kV-Leitungen im Bau
- 5 380-kV-Leitungen projektiert
- Unterstationen



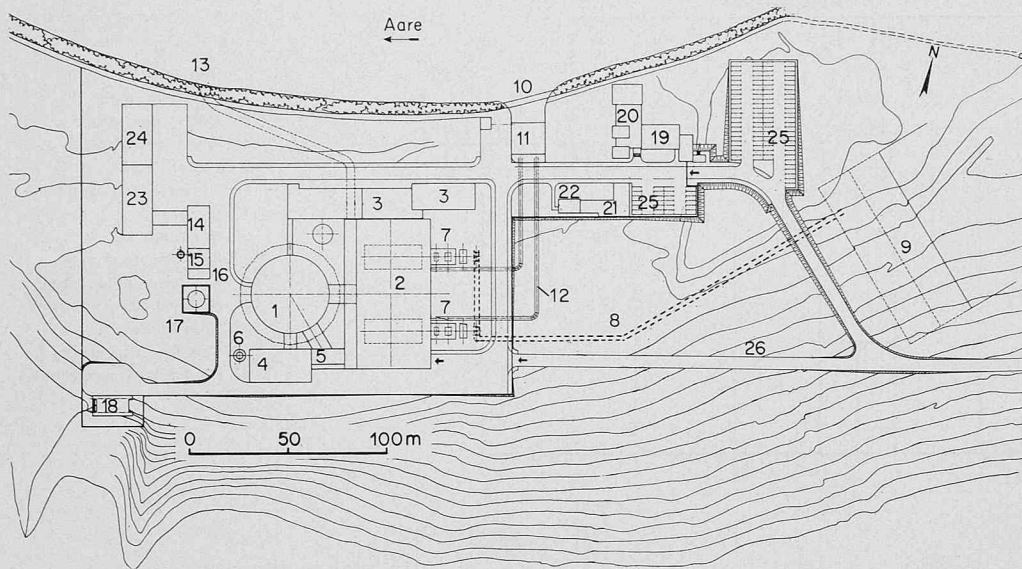


Bild 3. Gesamtgrundriss des Kraftwerks

- 1 Reaktorgebäude
- 2 Maschinenhaus
- 3 Betriebsgebäude mit Kommandoraum
- 4 Aufbereitungsgebäude
- 5 Dekontamination
- 6 Hochkamin
- 7 Transformatoren
- 8 220-kV-Kabel zur Schaltanlage
- 9 220-kV-Schaltanlage
- 10 Kühlwasserfassung
- 11 Kühlwasser-Pumpenhaus
- 12 Kühlwasser-Zuführungen
- 13 Kühlwasserabfluss
- 14 Wasseraufbereitung
- 15 Hilfskessel
- 16 Notstrom-Dieselanlage
- 17 Oeltank
- 18 Abfallager
- 19 Bürogebäude
- 20 Kantinengebäude
- 21 Garagen, Feuerwehr
- 22 Sanitätsräume
- 23 Werkstätten
- 24 Lager
- 25 Parkplätze
- 26 Strasse für Schwertransporte

nahe an das Wasser zu gehen. Ein Standort unweit eines vorhandenen Stützpunktes, d.h. in der Nähe eines grossen Verbraucherzentrums, vermeidet den Bau langer Höchstspannungsleitungen und trägt dazu bei, die Übertragungskosten und die Energieverluste niedrig zu halten; an das Wasser (See oder Fluss) muss man, weil das Kraftwerk grossen Mengen an Kühlwasser bedarf. Bei Sattdampfturbinen von Leichtwasseratomkraftwerken liegt der Kühlwasserbedarf höher als bei mit fossilem Brennstoff betriebenen Zentralen gleicher Leistung und kann am besten aus einem Fluss befriedigt werden. So werden für das Kernkraftwerk 11 m³/s Wasser aus der Aare benötigt. Der Grosse Rat des Kantons Bern bewilligte in seiner Sitzung vom 21. Jan. 1966 das Gesuch um Erteilung einer Gebrauchswasserkonzession. Ein Standort an der Aare drängt sich daher im Kanton Bern förmlich auf.

Bei der Festlegung des Standortes muss ferner auf das Vorhandensein guter Zufahrtsmöglichkeiten für den Transport schwerer und sperriger Teile und günstiger Boden- und Grundwasserverhältnisse geachtet werden.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wurde als Standort für das Kraftwerk ein Gelände am linken Aareufer, rd. 1,8 km unterhalb des bestehenden Wasserkraftwerkes Mühleberg der BKW und rd. 13 km westlich der Stadt Bern gewählt, Bild 1. Diese Lage ist besonders günstig in bezug auf den Abtransport der Energie, befindet sich doch in unmittelbarer Nähe ein grosser Knoten- und Energieaustauschpunkt der 220- und 150-kV-Netze der BKW (Bild 2). Das Gelände kann durch Ausbau der bestehenden Zufahrtstrasse leicht erschlossen werden. Es liegt in einem verhältnismässig dünn besiedelten Gebiet. Die Möglichkeiten zur Kühlwasserfassung und die Bodenverhältnisse sind günstig; Hochwassergefahr besteht nicht, ausser bei einem Bruch der Dämme benachbarter Wasserkraftanlagen.

Zur Wahl der Anlage

Die BKW haben sich, wie die Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK), deren Atomkraftwerk seit Mitte 1965 im Bau ist, für einen Leichtwasserreaktor amerikanischer Herkunft entschlossen. Währenddem die NOK in ihr Atomkraftwerk Beznau einen Westinghouse-Druckwasserreaktor einbauen, haben die BKW den Siedewasserreaktor, Bauart General Electric, gewählt. Diese Variante des Leichtwassertyps erweist sich in der Entwicklungsstufe 1967 für die Bedürfnisse der BKW als die wirtschaftlichere. Sie zeichnet sich durch eine einfache Anlagenkonzeption aus, wobei neben der Wirtschaftlichkeit auch die gute Regulierbarkeit als zusätzliche Argumente zu werten sind. Alle andern Reaktorsysteme (z.B. Schwerwasserreaktor, Hochtemperaturreaktor, schneller Brüter) haben das eigentliche Entwicklungsstadium noch nicht überschritten. Die Stromgestehungskosten des projektierten Atomkraftwerkes Mühleberg bewegen sich auch bei einem bescheidenen Ausnutzungsgrad in Grenzen, die im Vergleich zu ölbefeuerten thermischen Kraftwerken bei gleichen Betriebsstundenzahlen günstig liegen.

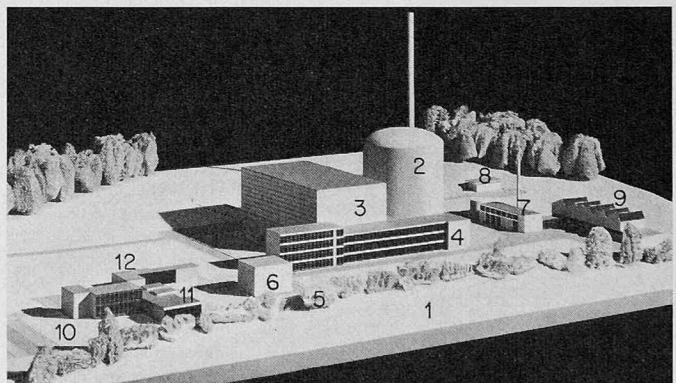
Folgende Bedingungen wurden von den BKW an das zu erstellende Atomkraftwerk gestellt:

- Idealeistung rd. 300 MW.

- Hohe Wirtschaftlichkeit bei Vollast und im Teillastbetrieb; das Kraftwerk hat den täglichen Lastschwankungen zu folgen.
- Betrieblich erprobter Reaktor und bewährte Turbinen- und Generatorkonstruktion.
- Höchstmögliche Zuverlässigkeit der gesamten Anlage im Betrieb.
- Grösste Verfügbarkeit. Zu diesem Zweck sind die lebenswichtigen Anlagenteile in mehrfacher Ausführung vorzusehen. Insbesondere ist die Zentrale mit zwei identischen, voneinander unabhängigen Turbogruppen auszurüsten. Die Beseitigung der gasförmigen, flüssigen und festen radioaktiven Abfälle hat ohne Beeinträchtigung des Betriebes und insbesondere ohne Lastreduktionen zu erfolgen.
- Lange Lebensdauer. Anlagenteile, welche infolge Grösse und Einbauweise oder infolge Aktivierung nicht ausgewechselt werden können, sind für eine Lebensdauer von mindestens 35 Jahren vorzusehen.
- Aufgelockerte Bauweise, genügend gross bemessene Abstellflächen und gute Zugänglichkeit aller Maschinen und Apparate zur Erleichterung von Betriebsrevisionen und Unterhalt.
- Sehr hohe Sicherheit der Anlage: Doppeltes Druckabbausystem und vorsichtige Bemessung der übrigen Sicherheitseinrichtungen und -massnahmen.
- Absoluter Schutz des Grundwassers gegen radioaktive Verseuchung. Nur minimale und unschädliche, genau kontrollierte Abgabe von Radioaktivität an das Kühlwasser und in die Atmosphäre.

Bild 4. Modellansicht des Atomkraftwerkes Mühleberg

- 1 Aare
- 2 Reaktorgebäude
- 3 Maschinenhaus
- 4 Betriebsgebäude mit Kontrollraum
- 5 Kühlwasserfassung
- 6 Kühlwasser-Pumpenhaus
- 7 Gebäude für Wasseraufbereitungsanlage, Hilfskessel und Notstrom-Aggregat
- 8 Abfallager
- 9 Werkstätten und Lager
- 10 Bürogebäude
- 11 Kantinengebäude
- 12 Gebäude für Sanitätsräume, Feuerwehr und Garage



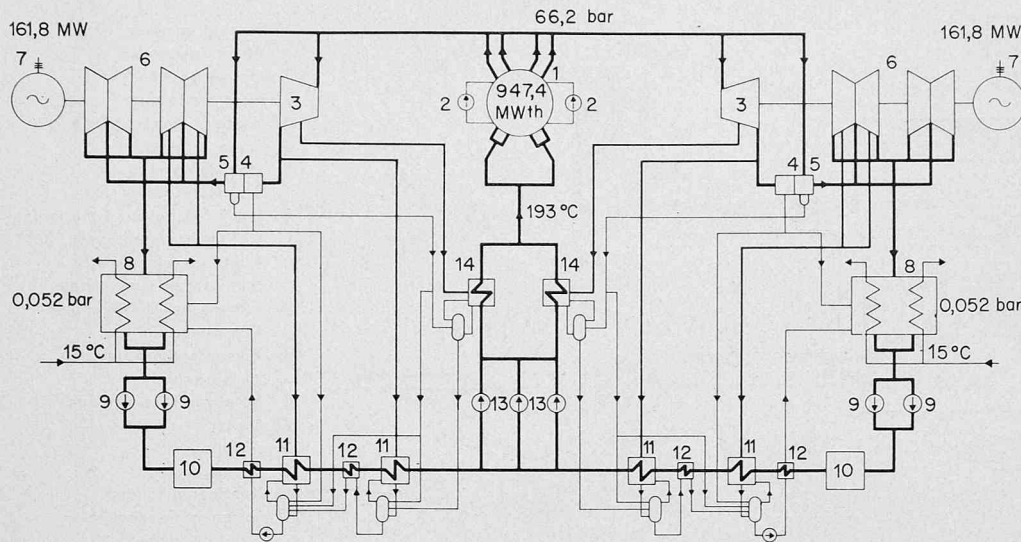


Bild 5. Thermisches Schema (vereinfacht)

- 1 Reaktor
- 2 Umwälzpumpe
- 3 Hochdruckturbine
- 4 Wasserabscheider
- 5 Ueberhitzer
- 6 Niederdruckturbine
- 7 Generator
- 8 Kondensator
- 9 Kondensatpumpe
- 10 Kondensatentsalzung
- 11 Niederdruck-Vorwärmer
- 12 Unterkühler
- 13 Speisewasserpumpe
- 14 Hochdruck-Vorwärmer

— Die Anlage ist so vorzusehen, dass auch im Falle eines schlagartigen Teilbruches des Damms des Wasserkraftwerkes Mühleberg oder des nahegelegenen Saanedammes kein nuklearer Unfall vorkommen kann. Dagegen werden in diesem für höchst unwahrscheinlich gehaltenen Fall Ausserbetriebsetzung der Anlage und gewisse Beschädigungen in Kauf genommen.

Disposition der Anlage

Das gewählte Gelände, eine halbmondförmige Ebene zwischen Aare und Talhang, steht voll zur Verfügung. Eine spätere Erweiterung des Kraftwerkes ist nicht geplant. Aus diesen Gründen konnte eine übersichtliche und grosszügige Disposition verwirklicht werden. Es wurde danach getrachtet, folgende Bedingungen zu erfüllen, vgl. Bild 3 und 4:

- Zusammenfassung aller nuklearen Anlageteile, welche nur durch autorisierte und entsprechend ausgerüstete Personen betreten werden dürfen (Kontrollbereich). Zugang durch das Betriebsgebäude, welches seinerseits in einen allgemein zugänglichen und in einen zum Kontrollbereich gehörenden Teil aufgliedert und am Zugang zum Kontrollbereich mit den notwendigen Garderoben, Wasch- und Kontrollanlagen ausgerüstet ist.

- Getrennte Aufstellung der nicht nuklearen Hilfsbetriebe.
- Getrennte Unterbringung der nicht zum eigentlichen Kraftwerkbetrieb gehörenden Dienstbetriebe.
- Kurze Personalwege zwischen Eingang zum Areal, Kantine und Arbeitsplätzen.
- Kreuzungsfreier Weg für den Transport der radioaktiven Abfälle zum Lager sowie für den Transport des Brennstoffes und von schweren Stücken.
- Energiefluss Reaktor-Maschinenhaus-Transformatoren-Unterstation direkt und auf kürzestem Wege.
- Getrennte und kurze Verbindungen für Personal, Rohrleitungen, Kabel, Brennstoff und Material zwischen Reaktorgebäude und den übrigen zentralen Kraftwerkgebäuden.

Aufbau und Funktion der Anlage

Die wichtigsten technischen Daten des Reaktors und der Turbogeneratorenanlage sind in Tab. 1 (S. 405) zusammengestellt. Die Siedewasseranlage arbeitet im direkten Kreislauf: Der im Reaktor erzeugte Sattdampf strömt zu den beiden Turbogruppen und wird in den Kondensatoren zu Wasser niedergeschlagen, welches von den Kondensatpumpen durch Reinigungsanlagen und Niederdruckvorwärmer zu den Speisepumpen gefördert und von diesen durch eine letzte Hochdruckvorwärmerstufe wiederum dem Reaktor zugeführt wird, siehe Bild 5.

Primäranlage, Reaktor

Der General-Electric-Siedewasserreaktor, Bild 6, zeichnet sich durch eine hohe Leistungsdichte im Kern aus. Er wird mit Leichtwasser moderiert und gekühlt und besitzt einen direkten Kühlkreislauf. Der in einem druckfesten Stahlbehälter eingebaute Kern des Reaktors besteht aus 11 172 Brennstoffstäben, in denen sich der Brennstoff in Form von leicht angereicherter Uranradioxyd-Pillen befindet. Diese Stäbe werden zu Elementen (Bündel) geordnet, in eine Haltevorrichtung eingebaut und vom Wasser als Kühlmittel und Moderator umströmt. Die Brennstoffumhüllung besteht aus Zircaloy-2.

In unmittelbarem Zusammenhang mit dem Reaktor und zum Lieferumfang der General Electric gehörend, sind ferner zu erwähnen: Die normale Kern-Instrumentierung, das Reaktor-Primärreinigungssystem, das Reaktor-Abschaltkühlssystem, die Aufbereitungsanlage

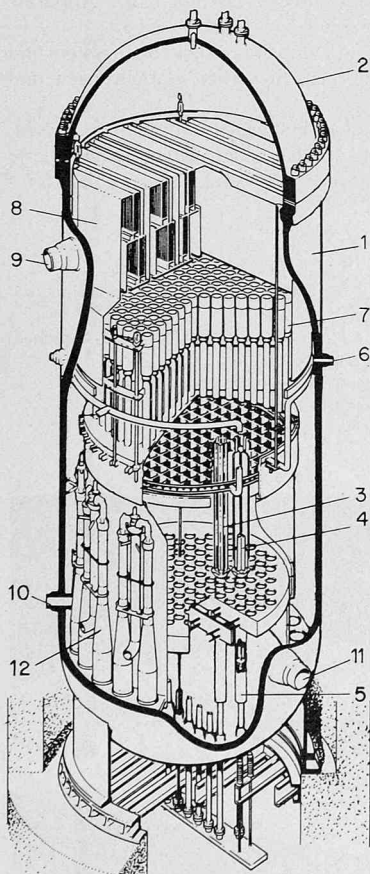


Bild 6 (links). Ansicht des Reaktor-Druckgefässes mit Einbauten

- 1 Reaktor-Druckgefäss
- 2 Deckel des Reaktor-Druckgefässes
- 3 Brennelement-Bündel
- 4 Regelstab
- 5 Regelstabführung
- 6 Speisewassereintritt und -verteilung
- 7 Dampfabscheider
- 8 Dampftrockner
- 9 Dampfaustritt
- 10 Umwälzwasser-Eintritt
- 11 Umwälzwasser-Austritt
- 12 Strahlpumpenaggregat

Bild 7. Sicherheitsabschirmungen

- 1 Reaktor-Druckgefäss
- 2 Innere Druckschale (Drywell, Stahl)
- 3 Innerer Druckabbauring (Torus)
- 4 Aeusserer Druckabbauring
- 5 Ringraumventilation
- 6 Äussere Druckschale (Reaktorumschliessungsgebäude, Beton)
- 7 Zuluft
- 8 Abluft
- 9 Normaldruckzone
- 10 Unterdruckzone
- 11 Hochkamin
- 12 Messkopf für Radioaktivität

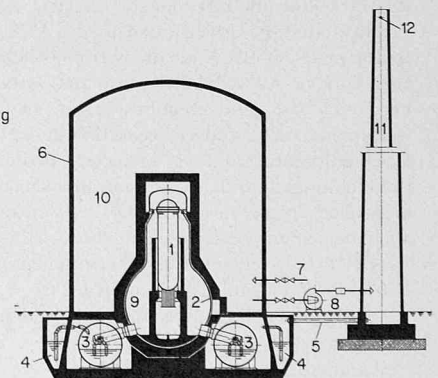
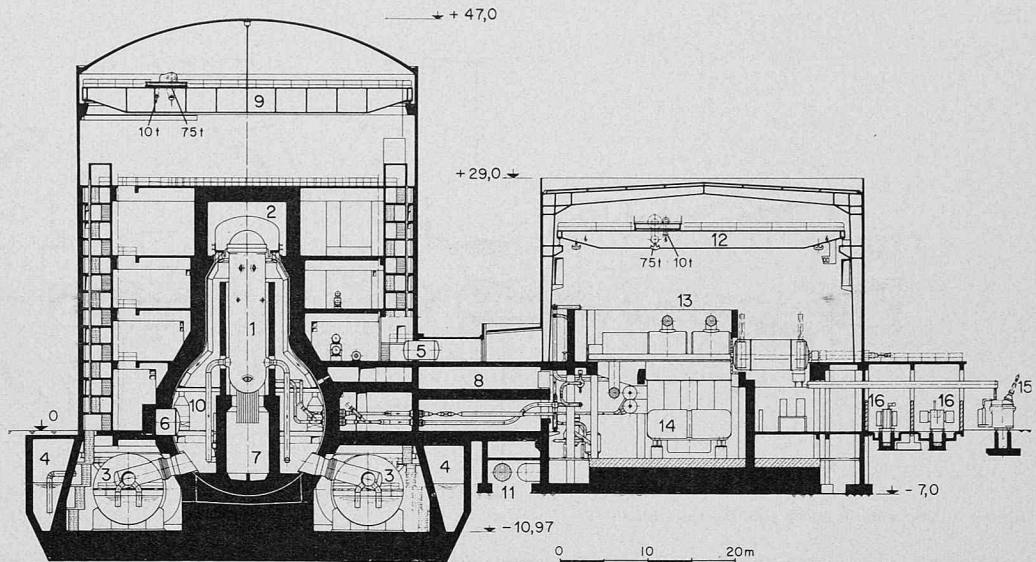


Bild 8. Schnitt durch Reaktor-
gebäude und Turbinenhaus

- 1 Reaktor-Druckgefäß
- 2 Innere Druckschale (Drywell)
- 3 Innerer Druckabbauring (Torus)
- 4 Äusserer Druckabbauring
- 5 Personal-Betriebsschleuse
- 6 Innere Materialschleuse
- 7 Regelstab-Antriebe
- 8 Rohr- und Kraftkabelbrücke
- 9 Rundlaufkran
- 10 Umluftanlage für Drywell-Kühlung
- 11 Kühlwasser-Rücklauf
- 12 Maschinenhauskran
- 13 Turbogruppe
- 14 Kondensator
- 15 Haupttransformator
- 16 Erreger- und Eigenbedarfs-
transformatoren



für flüssige, radioaktive Abfälle und die Kernsprüh- und Vergiftungssysteme.

Um grösstmögliche Sicherheit gegen den Austritt von Spaltprodukten und von radioaktiv verseuchter Materie sowohl im Normalbetrieb als auch im unwahrscheinlichen Falle eines Reaktorunfalles zu gewährleisten, wird eine Abschirmanlage (Containment) mit zweifachem Druckabbausystem vorgesehen, Bild 7.

Die erste Abschirmung besteht aus einer Stahldruckschale 2 um den Reaktor und die Umwälzkreisläufe (Drywell) und einem mit dieser verbundenen wassergefüllten, ringförmigen Druckausgleichskammer 3, dem inneren Druckabbauring (Torus). Das ganze System ist für einen Druck von 4,25 bar bemessen und isoliert den Reaktor vollständig von der Umgebung. Im unwahrscheinlichen Falle eines Druckanstieges in den Umwälzkreisläufen, z.B. bei einer Dampfleckage oder bei Ansprechen der Reaktorsicherheitsventile, würde die Wasser/Dampfmischung in den teilweise mit Wasser gefüllten Torus gepresst und dort kondensiert, was ein schnelles Absinken des Druckes im Drywell zur Folge hätte. Als zusätzliche Sicherheit besteht eine Entlastungsverbindung vom Torus in den äusseren, ebenfalls wassergefüllten Druckabbauring 4. Im Havariefalle führen Kühleinrichtungen die

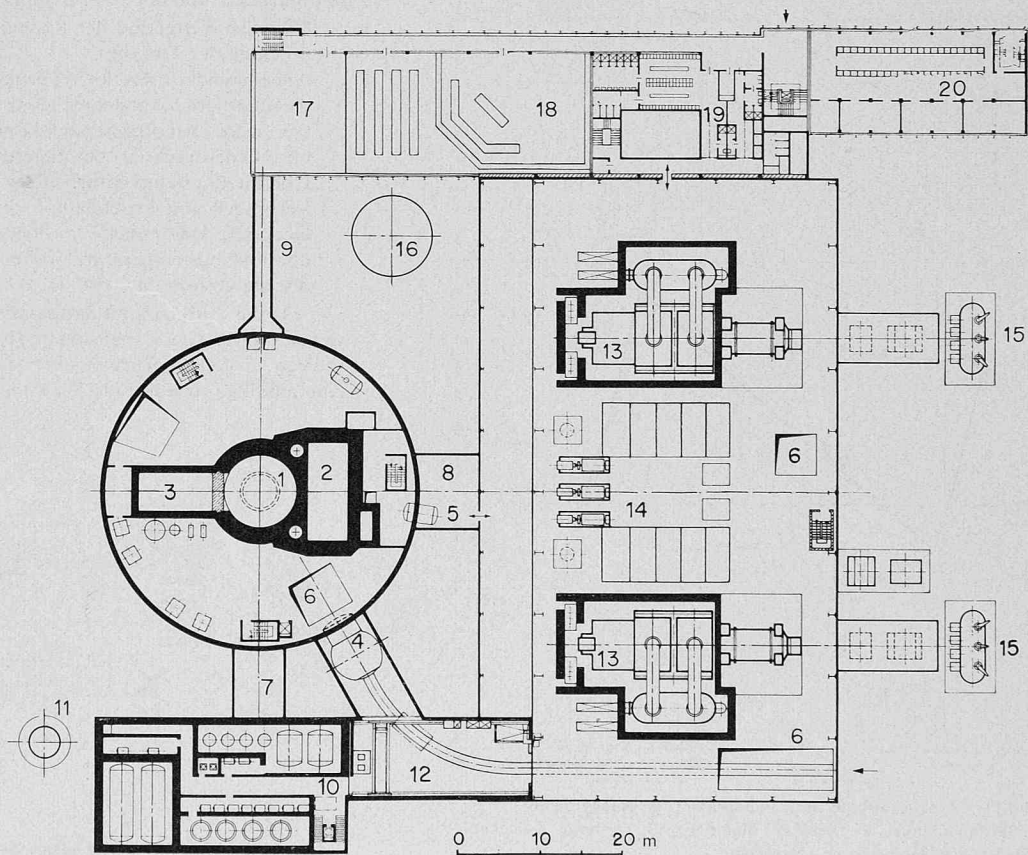
Wärme aus dem Reaktorkern und dem Drywell ab; die Ventile in den das Drywell durchdringenden Rohrleitungen sind geschlossen, so dass alle radioaktiv verseuchte Materie in der ersten Absperrung zurückgehalten wird.

Die zweite Abschirmung wird durch das Reaktorgebäude 6 gebildet, welches als Druckbehälter aus armiertem Beton ausgeführt ist. Es wird im Normalbetrieb unter Unterdruck gehalten, und die Zuluft wird durch Filter von Schwebeteilchen gereinigt. Im Havariefall hält das Gebäude Energien und radioaktive Verunreinigungen, welche ausserhalb der ersten Abschirmung auftreten, zurück. Das Reaktorgebäude verfügt über eine Notabluftanlage, welche bei einem radioaktiven Unfall die verseuchte Luft über Absolut- und Aktivkohlenfilter zum Hochkamin 11 ableitet. In den Dampf- und Speisewasserleitungen sind beidseitig der Drywellschale Ventile angeordnet, so dass, wenn nötig, die Turbogruppen vollständig vom Reaktor isoliert werden können. In den Drywell abblasende Sicherheitsventile schützen den Reaktor vor Überdruck.

Neben dem mittig angeordneten Reaktor und Drywell sind im Reaktorgebäude die Installations der verschiedenen Kühl- und Reinigungssysteme, ein Lager für neue Brennstoffelemente, ein Lager-

Bild 9. Gesamtgrundriss der
Hauptgebäude

- 1 Reaktor-Druckgefäß
- 2 Brennelement-Lagerbecken
- 3 Lagerbecken für Reaktor-einbauten
- 4 Material-Schleuse
- 5 Personal-Betriebsschleuse
- 6 Transport-Oeffnung
- 7 Brücke für Rohre und Ventilationskanäle
- 8 Rohr- und Kraftkabelbrücke
- 9 Steuerkabelbrücke
- 10 Anlagen zur Behandlung aktiver Medien
- 11 Hochkamin
- 12 Dekontamination
- 13 Turbogruppe
- 14 Speisepumpen
- 15 Haupt-Transformator
- 16 Kaltkondensatspeicher
- 17 Computer-Anlage
- 18 Kommandoraum
- 19 Wasch-, Umkleide- und Kontrollbereich
- 20 Schaltanlagen



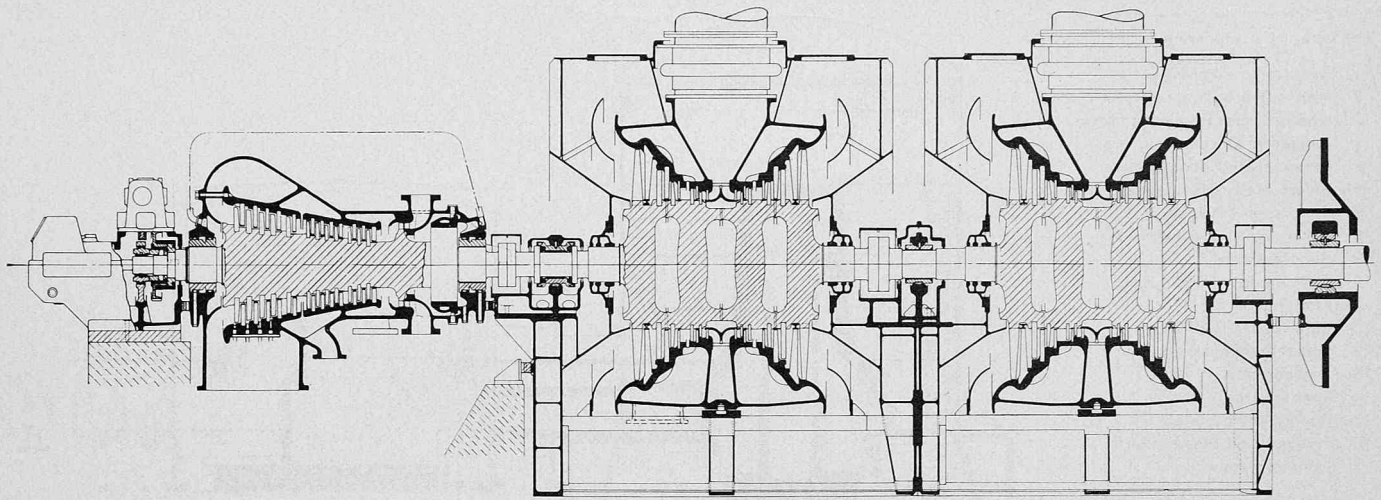


Bild 10. Längsschnitt durch eine Dampfturbine

becken für den bestrahlten Brennstoff und die Transporteinrichtungen für neue und bestrahlte Brennelemente sowie weitere Hilfseinrichtungen des Primärsystems untergebracht, Bilder 8 und 9.

Drywell und Lagerbecken für bestrahlten Brennstoff und übrige Anlagenteile, von denen eine Strahlung ausgeht, erhalten eine biologische Abschirmung aus Stahlbeton. Mit Ausnahme dieser abgeschirmten Räume und des Torus ist das Reaktorgebäude während des Betriebes zugänglich, wobei der Zutritt von Personen und Material durch entsprechende in den Druckkörpern eingebaute Schleusen erfolgt.

Sekundäranlage; Turbogeneratoren, Kondensatoren, Vorwärmer

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit wird das Kraftwerk mit zwei Turbinengruppen zu je 161,8 MW brutto ausgerüstet. Diese Massnahme, die Mehrkosten mit sich bringt, wird für die Periode des Übergangs von der bisher völlig auf Wasserkraft beruhenden Produktion auf die thermische Erzeugung mit Rücksicht auf die Sicherstellung der Stromversorgung als notwendig erachtet.

Die Turbinen sind einwellige Zweizylindermaschinen und bestehen aus einem einflutigen Hochdruck- und einem zweiteiligen, vierflutigen Niederdruckteil, Bild 10.

Der im Reaktor erzeugte Satttdampf gelangt mit einem Druck von 66,2 bar zu den vier kombinierten Abschluss- und Regelventilen, expandiert durch die Hochdruck-Reaktionsschaufelung auf einen Druck von rd. 4,7 bar und wird zum seitlich aufgestellten kombinierten Wasserabscheider/Überhitzer geleitet. Im Abscheider wird der grösste Teil der Feuchtigkeit ausgeschieden. Der getrocknete Dampf strömt in den Überhitzerteil, wo er mittels Frischdampf auf rd. 240 °C überhitzt wird. Hierzu benötigt man etwa 9% des vom Reaktor erzeugten Frischdampfes. Das ausgeschiedene Wasser und das Überhitzerkondensat werden in den Vorwärmkreislauf eingeführt, wodurch deren Restwärme ausgenützt wird und die Vorwärm-Entnahmedampfmengen entsprechend verringert werden. Der überhitzte Dampf entspannt sich in den Niederdruckturbinen und tritt dann in den quer zur Turbinenachse aufgestellten Kondensator.

Der Wasserabscheider und die Zwischenüberhitzung verringern die Dampfnaße in den Niederdruckstufen, vgl. Bild 11, und damit die Verluste und Schaufelerosionen auf mit normalen Zwischenüberhitzungsturbinen erreichbare Werte. Diese Gewinne rechtfertigen den Aufwand, so dass die Entwertung des zum Aufheizen verwendeten Frischdampfes mehr als aufgewogen wird.

Folgende Gesichtspunkte wurden bei der Bestimmung des Überströmdruckes und der Überhitzungstemperatur zugrunde gelegt:

- Günstige Verteilung der Stufenzahl im Hochdruck- und Niederdruckteil der Turbine.
- Abnehmender Preis des Wasserabscheiders/Überhitzers mit zunehmendem Druck (abnehmendem Volumen).
- Geringere Dampfnaße und damit kleinere Verluste und Erosionen im Niederdruckteil bei tieferem Überströmdruck bei gleicher Überhitzungstemperatur.
- Verbrauch von Frischdampf für die Zwischenüberhitzung.
- Geringere Dampfnaße im Niederdruckteil bei höherer Zwischenüberhitzungstemperatur, wobei die Frischdampf Temperatur die oberste Grenze darstellt.

Da die Turbinen mit Satttdampf betrieben werden und die Feuchtigkeit während der Expansion im Hochdruckteil beträchtlich zunimmt, müssen in diesem Turbinenteil Massnahmen getroffen werden, um eine allfällige schädigende Wirkung des Wassers zu verhindern. Ein-

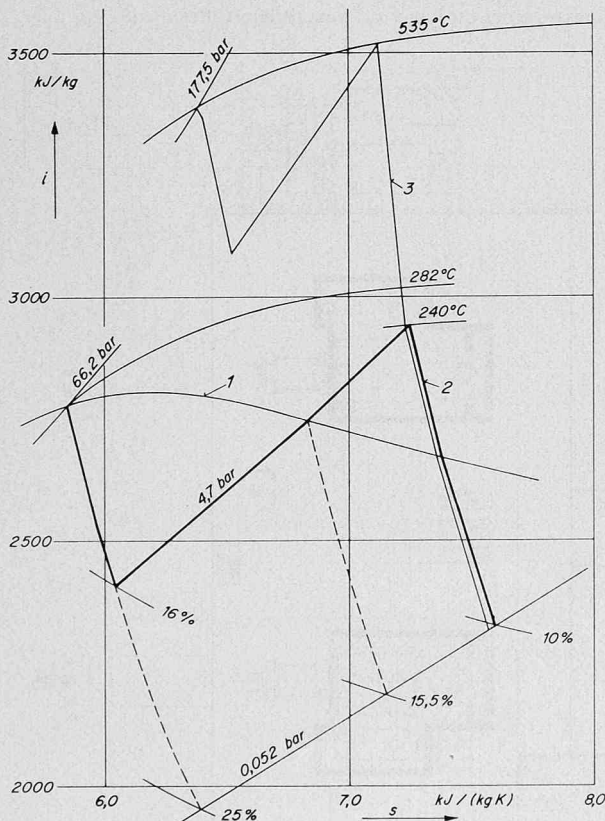


Bild 11. Prozessverlauf im *i, s*-Diagramm für Wasserdampf
1 Sättigungslinie, 2 Turbinen Mühlberg, 3 normale Zwischenüberhitzungsturbinen, zum Vergleich

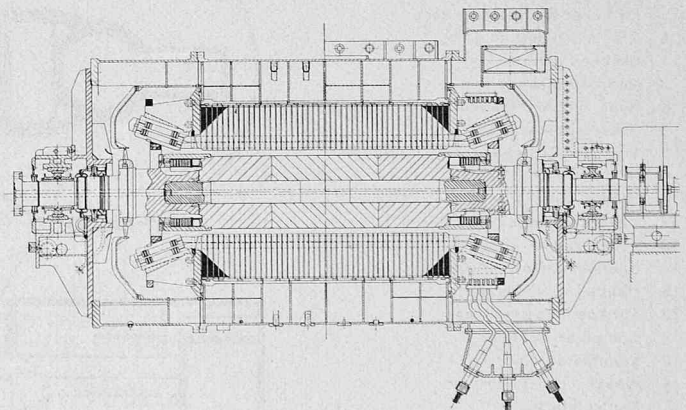


Bild 12. Längsschnitt durch einen Generator

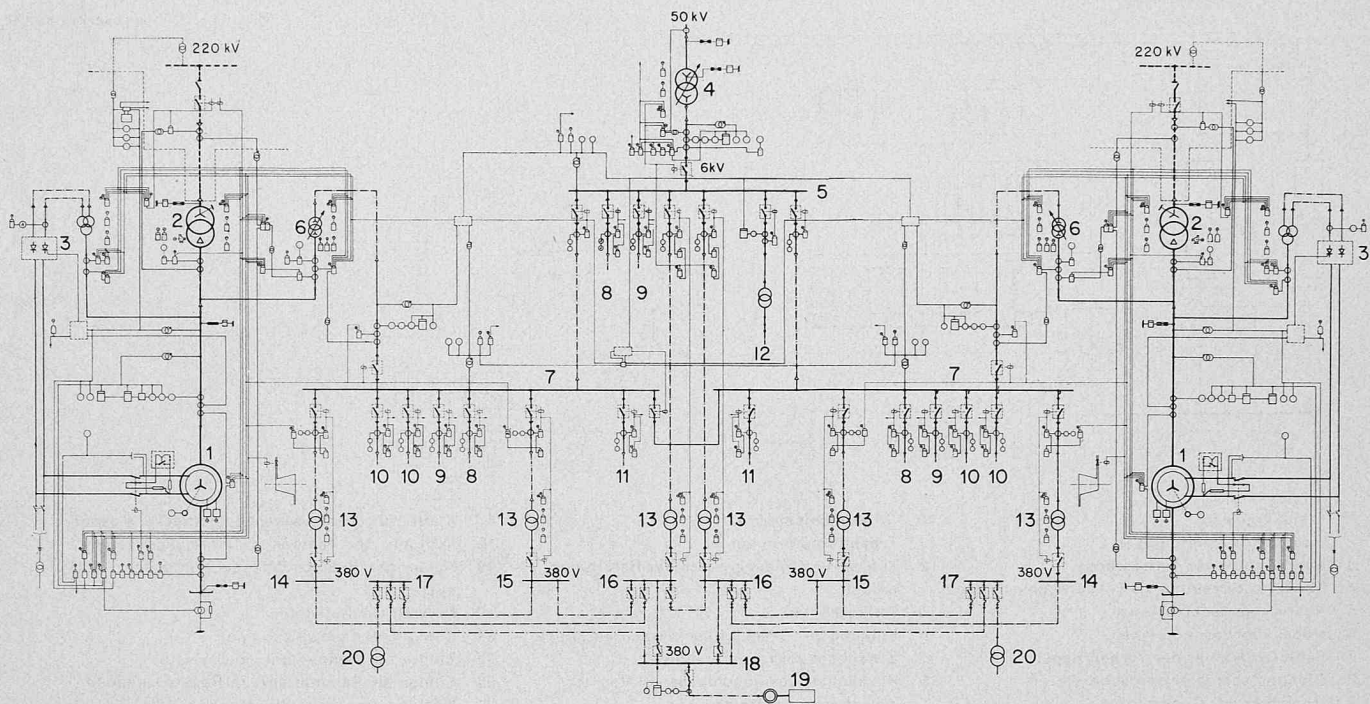


Bild 13. Einpoliges Schema der Schaltanlage

- | | | |
|---|---|--|
| 1 Turbogenerator 190 MVA, 15,5 kV | 8 Kühlwasserpumpe | 15 Hilfsbetriebs-Stromschiene Reaktoranlage |
| 2 Haupttransformator 181 MVA, 15,5/248 kV | 9 Speisewasserpumpe | 16 Allgemeinversorgung |
| 3 Erreger-Gleichrichtergruppen | 10 Kondensatpumpe | 17 Not-Hilfsbetriebs-Stromschiene |
| 4 Anfahrtransformator 15 MVA, 50/6 kV | 11 Reaktor-Rezirkulationspumpe | 18 Stromschiene der Notstromgruppe |
| 5 Allgemein-Stromschiene | 12 Grundwasser-Pumpstation | 19 Notstrom-Dieselgruppe |
| 6 Maschinenhilfstransformator 10 MVA, 15,5/6 kV | 13 Hilfsbetriebstransformator 800 kVA, 6/0,4 kV | 20 Transformator der Notstromspeisung von Mühleberg, 1000 kVA, 16/0,4 kV |
| 7 6-kV-Blockschiene der Turbinenhilfsbetriebe | 14 Hilfsbetriebs-Stromschiene Turbinengruppe | |

mal wird bei der Wahl der Konstruktionsmaterialien besonders auf deren Erosionsbeständigkeit geachtet; zum anderen sind die Hochdruck- und Niederdruckturbinen, zusätzlich zu den Vorwärm-Anzapfungen, welche wirksame Wasserabscheider darstellen, in den letzten Stufen mit Entwässerungseinrichtungen ausgestattet. Alle Schaufeln bestehen aus dem normalen, bewährten 12%igen Cr-Schaukelstahl. Im Bereiche hoher Feuchtigkeit werden sie gehärtet. Die Stopfbüchsen, bei denen bewegliche, gezahnte Segmente und in die Welle eingestemte radiale Streifen die Dichtungselemente bilden, verhindern durch Kombination mit Sperrdampf- und Absaugesystemen den Austritt von radioaktivem Dampf in den Maschinenraum.

Jede Turbine treibt einen H₂-gekühlten Generator von 190 MVA Nennleistung normaler, Brown, Boveri-Bauart an. Das Kühlgas durchströmt die als Hohlleiter ausgebildeten Rotorwicklungen und gelangt dann durch die Schlitze der Statorpakete zu den vier vertikal im Generatorgehäuse eingebauten Kühlern, Bild 12. Die Generatoren werden durch transistorisierte Gleichrichtergruppen (Thyristoren), welche im Normalbetrieb direkt von den Generatorschienen gespeist werden, erregt, Bild 13. Dieses bereits in zahlreichen Anlagen erprobte statische Erregungssystem weist praktisch unbegrenzte Leistungsreserven sowie grosse Empfindlichkeit und hohe Regelgenauigkeit auf.

Die Kondensatoren sind in Zweifluss-Bauart ausgeführt. Diese erlaubt, bei in einer Kondensatorhälfte auftretenden Undichtheiten, diese Hälfte zu isolieren und die Turbine im Teillastbetrieb weiterlaufen zu lassen. Jeder Kondensator ist mit zwei dreistufigen Dampfstrahl-Luftsaugern zu je 100% Leistung ausgerüstet. Das Kondensat wird aus dem Unterteil des Kondensators durch die Kondensatpumpe abgesaugt und durch die Kondensatreinigungsanlage in das Vorwärmersystem gefördert. Eine zweite Pumpe gleicher Förderleistung bleibt in Reserve, Pos. 9 in Bild 5.

Die Kondensatreinigungsanlage verwendet ein kombiniertes Filtrations- und Ionenaustausch-(Entsalzungs-) Verfahren und entfernt mechanische und gelöste Verunreinigungen aus dem Kondensatstrom. Es sind drei 50%ige Filter vorgesehen, von denen jeweils zwei in Betrieb stehen, während der dritte, nach Sättigung mit Verunreinigungen und anschliessendem Ersatz der Filterschicht für die Ablösung des nächsten gesättigten Filters in Reserve bereitsteht. Nach Durchströmen der beiden Vorwärmer gelangt das Kondensat zu den motorgetriebenen, drehzahlregulierten Speisepumpen 13, Bild 5. Es werden

drei Pumpen, bemessen je für die Förderung von 57% der Vollast-Reaktor-speisewassermenge aufgestellt. Je eine davon fördert das Kondensat aus einer Maschineneinheit, während die dritte von den beiden Speisewassersystemen isoliert ist und in Reserve steht. Bei Ausfall einer Pumpe öffnen sich die Ventile auf der Saug- und Druckseite der Reservepumpe, welche diese mit dem betreffenden System verbinden, worauf die Pumpe automatisch angefahren wird. Nach Durchfliessen der Hochdruckvorwärmer 14, Bild 5, werden die Speisewasserströme der beiden Turbogruppen vereinigt und gelangen zum Reaktor.

Das Kondensat der Vorwärmeranlage ist so geschaltet, dass dessen Restwärme in der jeweils nächst unteren Vorwärmerstufe ausgenutzt wird. Alles Kondensat fliesst in den Kondensator 8, Bild 5, zurück, um vor Einspeisung in das Vorwärmersystem entgast und im Kondensatfilter gereinigt zu werden.

Bypass-System

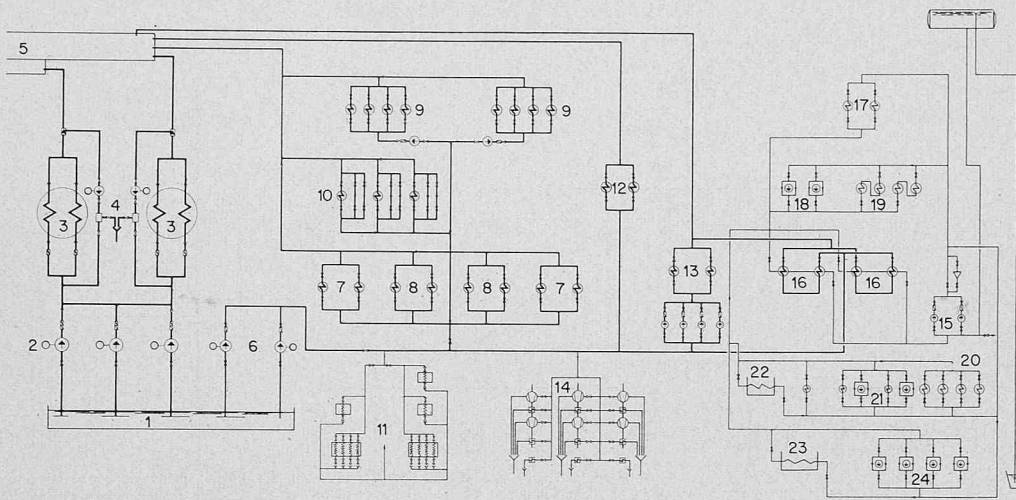
Jede Turbinengruppe ist mit einem Bypass-System versehen, welches für 110% des Turbinendampfdurchsatzes bemessen ist und etwaigen Überschussdampf, zum Beispiel beim Anfahren und Abstellen, direkt in den Kondensator ableitet. Turbinen und Bypassanlagen sind somit in der Lage, den vom Reaktor erzeugten Dampf aufzunehmen, solange Kühlwasser verfügbar ist. Die Bypass-Ventile sind von gleicher Ausführung wie die Einlassventile der Turbine. Sie drosseln den Frischdampf auf einen Zwischendruck und leiten ihn über je zwei Dampfkühler, in denen Kondensat eingespritzt und Sättigung erzielt wird, in den Kondensator.

Regelung

Die Reaktorleistung wird auf zwei Arten geregelt:

1. von Hand durch Verstellen der Regelstäbe,
2. automatisch durch Änderung der Drehzahl der Umwälzpumpen und damit der Rezirkulationswassermenge, wobei die Reaktivität des Reaktors und dadurch die Dampfproduktion sich ändern. Bei konstanter Regelstabstellung wird so eine Leistungsänderung im Bereich von +0 bis -25% der eingestellten Leistung möglich.

Die Turbogruppen haben normale Regelsysteme mit hydraulischer Steuerung der Ventile und Schmieröl als Steuer- und Kraftmedium. Diese Regelsysteme halten den Reaktordruck mittels Vordruckreglern durch Verstellen der Turbineneinlass- bzw. der Bypass-Ventile konstant. Jede Turbine hat einen eigenen Druckregler mit



- | | | |
|--|---|--|
| 1 Einlaufbauwerk | 10 Speisepumpenkühler | 17 Kühler für Brennelement-Lagerbeckenwasser |
| 2 Hauptkühlwasserpumpen | 11 Transformatorenkühler | 18 Kühlung der Pumpen im Reinigungssystem |
| 3 Kondensator der Turbogruppe | 12 Kühler für Kälteaggregate der Belüftungsanlage | 19 Kühler des Reaktor-Wasser-Reinigungssystems |
| 4 Kondensatorreinigungs- («Taprogge»-)Anlage | 13 Abfahrkühler | 20 Drywell-Umlaufkühler |
| 5 Kühlwasserrücklaufkanal | 14 Kühlung der Druckluftkompressorenanlage | 21 Kühlung der Umwälzpumpen |
| 6 Nebenkühlwasserpumpen | 15 Zwischenkühlwasserpumpen | 22 Kühler für Sammeltank im Drywell |
| 7 Schmierölkühler der Turbogruppen | 16 Rückkühler des geschlossenen Reaktor-zwischenkühlsystems | 23 Kühler für Sammeltank im Reaktorgebäude |
| 8 Dichtungsölkühler der Generatoren | | 24 Kühlung der Abschalt pumps |
| 9 H ₂ -Kühler der Generatoren | | |

individueller Sollwertverstellung. So kann die Anlageleistung beliebig auf die zwei Gruppen verteilt werden.

Zum Einstellen der Kraftwerkleistung ist eine elektrische Regelung vorgesehen. Der Regler vergleicht die gesamte elektrische Leistung der Generatoren mit dem Leistungssollwert und mit der Abweichung der Frequenz von ihrem Nennwert, und steuert automatisch die Umwälzwassermenge und damit die Reaktorleistung. Übersteigt die Laständerung den Bereich der Rezirkulationsregelung, so müssen die Regelstäbe vom Maschinisten verstellt werden.

Für die Steuerung der Speisewasserströme sind Dreikomponenten-Regelungen vorgesehen. Für jede Turbogruppe werden Frischdampf- und Speisewassermenge gemessen und in einen Verhältnisregler eingegeben. Diese Regler stellen die Speisewasserströme durch Regelung der Pumpendrehzahl proportional zu den Dampfdurchsätzen ein. Zusätzlich wird der Wasserstand im Reaktor überwacht. Bei einer Abweichung desselben vom Sollwert berichtigt der Reaktorstandregler die Dampf/Wasserhältnisse der beiden Turbogruppen im gleichen Sinne.

Im Kern des Reaktors sind kleine neutronenempfindliche Ionisationskammern verteilt, welche während des Betriebes eine direkte und kontinuierliche Anzeige der örtlichen Grösse von Fluss und Leistung geben. Diese Messwerte werden in einem GE/PAC 4050 Digital Computer ausgewertet, und daraus lässt sich die Leistungsverteilung

im Kern berechnen. Die vom Computer, der selbst keine Steuerfunktionen ausübt, gelieferten Angaben gestatten es dem Bedienungspersonal, die Leistungsverteilung im Reaktor besser zu regeln, was einen genauer gesteuerten Abbrand des Brennstoffes und damit eine Reduktion der Brennstoffkreislaufkosten ermöglicht. Dies erleichtert auch den Betrieb des Reaktors innerhalb der gesetzten Grenzen.

Neben der Auswertung der Leistungsverteilung wird der Computer zur Berechnung der Strömungsverhältnisse im Kern, des Abbrandes, der Wärmebilanzen von Reaktor, Sekundärteil und Gesamtanlage, des Betriebsverhaltens von Kondensations- und Speisewasser-Vorwärmanlagen und weiterer interessierender Betriebsgrössen verwendet.

Zum vollautomatischen Anfahren, Hochfahren und Belasten der Turbinen, einschliesslich ihrer Kondensations- und Vorwärmanlagen, werden beide Gruppen mit je einer Brown Boveri-Turbinenautomatik (Turbomat) ausgerüstet³⁾. Dieses Gerät besteht aus einer elektronischen Folgesteuerung und einem Regler für Hochfahren, Belasten und Laständerungen der Anlage, wobei diese Vorgänge in Funktion des Temperaturzustandes der Turbine gesteuert werden. Nach Errei-

³⁾ Siehe Anfahrautomatik für Dampfturbinen, «Brown, Boveri Mitteilungen» Bd. 52 (1965), H. 1/2, S. 52 und 53, und D. Eger: Inbetriebnahme einer Dampfturbinenautomatik in Kanada, «Brown Boveri Mitteilungen» Bd. 54 (1967) H. 1, S. 3-8.

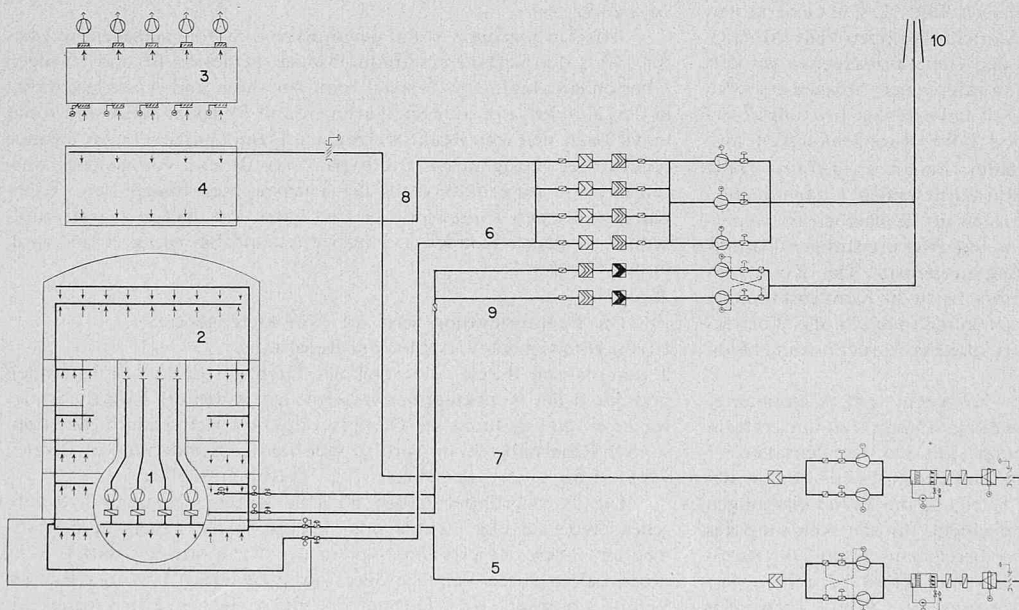


Bild 15. Schema der Be- und Entlüftungsanlage

- | |
|---|
| 1 Drywell mit Umlaufkühlanlage |
| 2 Reaktorgebäude |
| 3 Maschinenhaus mit Dachventilatoren |
| 4 Aufbereitungsgebäude |
| 5 Zuluft zum Reaktorgebäude |
| 6 Abluftsystem mit Filtern vom Reaktorgebäude |
| 7 Zuluftsystem zum Aufbereitungsgebäude |
| 8 Abluftsystem mit Filtern vom Aufbereitungsgebäude |
| 9 Notabluftsystem vom Reaktorgebäude, mit Filtern |
| 10 Hochkamin |

chen der vorgewählten Leistung übernimmt der Turbomat die Überwachung der Turbinenanlage im Normalbetrieb und ergreift beim Auftreten allfälliger Störungen selbständig die notwendigen Massnahmen, um die Turbogruppe wieder in einen sicheren Zustand zu bringen, oder sie in schweren Fällen abzustellen.

Kühlwasserversorgung und Kühlsysteme

Die Anlage verfügt im wesentlichen über drei Kühlsysteme (Bild 14):

Hauptkühlwassersystem. Im Pumpenhaus an der Aare (siehe auch Bilder 3 und 4) sind drei vertikale Hauptkühlwasserpumpen 2, Bild 14, mit Rechen und Korbbandsiebmaschinen zur Feinreinigung aufgestellt. Je eine Pumpe versorgt einen Kondensator 3 mit Kühlwasser aus dem Fluss. Die dritte, die ebenfalls für volle Leistung bemessen ist, steht in Reserve und kann wahlweise auf den einen oder anderen Kondensator geschaltet werden. Der Sammelkanal hinter den Siebbandsmaschinen lässt sich durch Dammbalken so aufteilen, dass jeweils ein Kühlwasserschacht zum Zwecke der Wartung entleert werden kann. Das erwärmte Kühlwasser fliesst durch den Rücklaufkanal in die Aare zurück.

Hilfskühlwassersystem. Zwei zwischen den Hauptkühlwasserpumpen 2 angeordnete vertikale Hilfskühlwasserpumpen 6 liefern Flusswasser für alle übrigen Kühlzwecke der Anlage. Eine Pumpe fördert die gesamte benötigte Menge, die zweite steht in Reserve.

Zwischenkühlwassersystem. Um sicherzustellen, dass das in die Aare zurückgeleitete Kühlwasser nicht radioaktiv verunreinigt werden kann, werden alle Kühler des Reaktorsystems, bei welchen im Havariefalle eine Verseuchung auftreten könnte, mittels eines geschlossenen Systems gekühlt. Zwischenkühler führen die Wärme an das Kühlwasser des Hilfskühlsystems ab.

Nukleare Hilfssysteme

Abgassystem. Das durch die Luftsauger aus den Kondensatoren geförderte Gas/Dampfgemisch wird durch eine katalytische Rekombinationsanlage, in welcher der freie Sauerstoff und der freie Wasserstoff zur Vermeidung von Knallgasexplosionen im Abgassystem in Wasser zurückgewandelt (rekombiniert) werden, geführt und dann zur Abklingstrecke geleitet. Diese ist so bemessen, dass das Gas zum Durchströmen derselben mindestens 30 Minuten benötigt, wobei die vorhandene kurzlebige Aktivität abklingt. Über zwei hintereinander geschaltete Absolutfilter gelangt das Abgas schliesslich zum Hochkamin, wo es mit der Abluft aus dem Reaktorgebäude gut durchmischt und an die Atmosphäre abgegeben wird.

Aufbereitungsanlage für flüssige, radioaktive Abfälle. Die flüssigen radioaktiven Abfälle werden in hochwirksamen Ionentauschern (Powdexfilter) gereinigt, wobei man die Flüssigkeiten im Kühlkreislauf mehrfach filtriert, bis eine so tiefe Aktivität erreicht wird, dass sie gefahrlos in den Fluss geleitet werden können. Zur weiteren Verdünnung werden sie dem zurückfliessenden Kühlwasser beigemischt.

Kühl- und Reinigungskreislauf für das Wasser des Brennelementbeckens. Dieses System dient zur Abfuhr der Zerfallswärme der im Lagerbecken befindlichen bestrahlten Brennelemente an den Zwischenkühlkreislauf und zur laufenden Reinigung des Beckenwassers.

Be- und Entlüftungsanlagen. Diese dienen zur Kühlung des Drywells durch interne Umwälzung, zur Belüftung und Kühlung des Reaktorgebäudes und zur Be- und Entlüftung des Abwasseraufbereitungsgebäudes und des Maschinenhauses, Bild 15. Sie sorgen durch Reinigung der Abluft mittels Einfach- und Absolutfilter dafür, dass keine radioaktiv verseuchte Luft in den Kamin gelangt.

Die bereits früher erwähnte Notabluftanlage leitet bei einem radioaktiven Unfall die Luft aus dem Reaktorgebäude über besondere Filter zum Kamin ab.

Allgemeine Hilfsbetriebe

Vollentsatzungsanlage. Das Zusatzwasser für den Dampfkreislauf sowie das Trink-, Sanitär- und Feuerwehrwasser werden dem von einem Grundwasserbrunnen gespeisten Hochbehälter entnommen.

Das Zusatzwasser wird in der aus zwei Strassen bestehenden Vollentsatzungsanlage aufbereitet, in welcher es nacheinander Kationenaustauschfilter, CO₂-Riesler, Anionenaustauschfilter und Mischbettfilter durchfliesst. Die Anlage ist für eine Leistung von 2 × 25 m³/h bemessen.

Hilfsskesselanlage. Zwei ölgefeuerte Hilfsskessel zu je 7,5 t/h dienen zur Versorgung der Reaktorhilfskreisläufe, zur Lieferung von Sperrdampf für die Turbinenstopfbüchsen beim Anfahren und ausserdem für die Gebäudeheizung.

Diesel-Notstromgruppe. Zur Speisung der lebenswichtigsten Hilfsbetriebe bei Netzausfall und Zusammenbruch der Eigenversorgung

Tabelle 1. Technische Daten des Atomkraftwerkes Mühleberg

| | |
|--|-------------------------|
| Gesamtanlage | |
| Elektrische Nutzleistung, bezogen auf Transformatoren-Hochspannungsseite | 306,2 MW |
| Gesamtwirkungsgrad, bezogen auf Nettoleistung bei Vollast | 32,2% |
| Brennstoffbedarf pro Jahr bei 7000 Vollaststunden: | |
| im ersten Kern | rd. 14,0 t |
| im zweiten Kern | rd. 10,5 t |
| Kühlwasserbedarf maximal | 11,7 m ³ /s |
| Thermische Leistung des Reaktors | 947,4 MW |
| Kernreaktor | |
| Anzahl Reaktoren | 1 |
| Abmessungen des Reaktorgefässes: | |
| Aussendurchmesser | 4,21 m |
| Höhe | 17 m |
| Wandstärke | 10,2 cm |
| Gewicht mit Deckel, leer | 224 t |
| Betriebsdruck | 71,7 bar |
| Anzahl Umwälzpumpen (vertikale Zentrifugalpumpen) | 2 |
| Antriebsleistung je | 1050 kW |
| Fördermenge je | 4130 m ³ /h |
| Anzahl Regelstäbe | 57 |
| Gewicht einer Brennstoffladung | rd. 44,4 t |
| Brennstoff | |
| Brennstoffart | UO ₂ -Pillen |
| Anreicherung im ersten Kern, U ₂₃₅ | 2,26% |
| Anreicherung im zweiten Kern, U ₂₃₅ | 2,71% |
| Brennstoffstabumhüllung | Zircaloy-2 |
| Anzahl Brennstoffstäbe pro Bündel | 49 |
| Anzahl Bündel | 228 |
| Anzahl Brennstoffstäbe, gesamt | 11 172 |
| Turbinen-Generatorgruppen | |
| Anzahl | 2 |
| Drehzahl | 3000 U/min |
| Turbinen: | |
| Maximale Dauerleistung an Klemmen, brutto | 161,8 MW |
| Frischdampfdruck | 66,2 bar |
| Frischdampfefeuchte | 0,2% |
| Dampfdruck am Austritt der ND-Zylinder | 0,052 bar |
| Kühlwassertemperatur | 15 °C |
| Endtemperatur des Speisewassers nach der Vorwärmung | 193 °C |
| Frischdampfmenge | 243,4 kg/s |
| Turbogeneratoren: | |
| Dauerleistung max. | 190 MVA |
| cos φ | 0,85 |
| Frequenz | 50 Hz |
| Spannung | 15,5 kV |
| Speisepumpen: | |
| Anzahl | 3 |
| Fördermenge je | 1170 t/h |
| Förderdruck | 88,7 bar |
| Speisewassertemperatur | 142 °C |
| Antriebsleistung je | 3300 kW |
| Haupt-Kühlwasserpumpen: | |
| Anzahl | 3 |
| Fördermenge je | 19000 m ³ /h |
| Förderhöhe | 7,6 m WS |
| Antriebsleistung je | 540 kW |
| Transformatoren | |
| Anzahl Transformatorgruppen | 2 |
| Transformatorleistung | 181 MVA |
| Übersetzungsverhältnis im Leerlauf | 15,5/248 kV |

der Zentrale wird eine Notstromgruppe mit einer Leistung von 1500 kVA aufgestellt, welche bei einem Stromausfall in rd. 10 s einsatzbereit ist.

Elektrische Anlagen

Energieabgabe. Die von jedem Generator erzeugte Energie wird in Blockschtaltung über den entsprechenden Haupttransformator und über eine Kabelverbindung in die neue Unterstation Mühleberg-West angespeist. Die Transformatoren sind für Freiluftaufstellung und Wasserkühlung vorgesehen.

Eigenbedarfsversorgung. Die Eigenbedarfschaltanlage ist für maximale Sicherheit der Energieversorgung bemessen, siehe Bild 13.

Die 6-kV-Hilfsbetriebe jeder Turbogruppe sind an eine normalerweise über den zugehörigen 10-MVA-Maschinenhilfstransformatoren angespeiste Blockschiene angeschlossen. Während des An- und Abfahrens werden diese Schienen über den 15-MVA-Anfahrtrans-

formator und die Allgemeinschiene mit Energie versorgt. An letztere sind die Reservekühl- und die Reserve-Speisewasserpumpen direkt angeschlossen.

Je eine der Reaktor-Umwälzpumpen ist über eine Drehzahlregeleinrichtung an jede der beiden Blockschiene der 6-kV-Turbinen-Hilfsbetriebe angeschlossen. Dabei können durch Schliessen des Kuppelschalters wenn nötig beide Pumpenmotoren von der gleichen Turbinen-Hilfsversorgung gespeist werden.

Eine ähnliche Aufteilung mit verschiedenen Anspeisungsmöglichkeiten über 800-kVA-Transformatoren besteht für die 380-V-Versorgung, wobei die Hilfsbetriebe je nach Objekt und entsprechend ihrer Wichtigkeit gruppiert und an getrennte Sammelschiene angeschlossen sind. Insbesondere werden alle lebenswichtigen Hilfsbetriebe, welche auch bei einem allgemeinen Stromausfall weiterhin in Betrieb bleiben müssen, zusammengefasst und über getrennte Not-Hilfsbetriebschiene versorgt.

Notstromversorgung. Die beiden, wenn nötig kuppelbaren Not-Hilfsbetriebschiene werden mittels je einer unabhängigen 16-kV-Verbindung über je einen 1000-kVA-Transformator aus dem Wasserkraftwerk Mühleberg gespeist. Dadurch ist eine vom Hochspannungsnetz unabhängige, sehr zuverlässige Notstromversorgung sichergestellt. Sollte jedoch auch diese ausfallen, so geht automatisch die Notstrom-Dieselgruppe in Betrieb und übernimmt die Versorgung der lebenswichtigen Betriebe.

Kontrollraum. Hier sind alle wichtigen Steuerungen, Messanzeiger und Meldungen zusammengefasst, welche zur Fernbedienung der gesamten Anlage erforderlich sind, vgl. Bild 9.

Alle Steuer- und Signalorgane sowie die Anzeigeeinstrumente sind in einem Pult eingebaut. Durch Verwendung der Kleinapparatetechnik und einer Schwachstromsteuerung von 48 V können sie auf kleinstem Raum angeordnet werden. Die Steuerelemente sind steckbar. Die hinter dem Pult halbkreisförmig angeordnete Tafel enthält im wesentlichen alle Schreiber.

Im Kontrollraum werden hauptsächlich die folgenden Kraftwerkbetriebe überwacht und ferngesteuert:

1. Reaktor und Reaktorhilfsbetriebe,
2. Turbogeneratorgruppen und Transformatoren,
3. Speisewasser-, Kondensations- und Vorwärmanlagen,
4. Eigenbedarfsversorgung und Diesel- und Hilfskesselanlagen.

Der Computer ist in einem Nebenraum des Kommandoraumes untergebracht, während sich das zugehörige Steuerpult im Kommandoraum selbst befindet.

Erstellungsprogramm, Bauorganisation

Mit Rücksicht auf die Neuartigkeit und den grossen Umfang des Bauvorhabens trachteten die BKW danach, eine möglichst einfache

und übersichtliche Bauorganisation zu erhalten sowie eine Gesamtverantwortung und eine Gesamtgarantie der Ausführenden zu schaffen. Diese führte zur Vergebung des Projektes als schlüsselfertige Anlage an einen Generalunternehmer zu einem festen Preis, gestützt auf einen Werkvertrag nach Art. 363 u. ff. OR, unter Berücksichtigung der Teuerung nach Gleitpreisformel. Der Generalunternehmer besteht aus dem solidarisch haftenden Konsortium der Firmen Brown, Boveri & Cie. AG, Baden (BBC), und General Electric Technical Services Co. Inc., New York, wobei BBC die Federführung innehat. Die erste Brennstoffausstattung, bestehend aus fertigen Brennstoffelementen aus angereichertem Uran-dioxyd im Gewicht von rd. 50 Tonnen, wird durch die General Electric ebenfalls zu einem festen Preis geliefert. Die erste Brennstoffladung reicht für einen Betrieb von rd. vier Jahren. Soweit möglich, sollen bernische und andere schweizerische Firmen berücksichtigt werden, Voraussetzung ist aber Konkurrenzfähigkeit hinsichtlich Qualität und Preis. Es liegt im System der schlüsselfertigen Übergabe an den Besteller des Werkes, dass das ausführende Konsortium die Vergabungen vornimmt; der Besteller hat nur ein Mitspracherecht.

Das Kraftwerk, welches den BKW nach durchgeführten Inbetriebsetzungsarbeiten und Probetrieb am 1. Oktober 1971 zu übergeben ist, stellt eine komplexe Anlage dar. Bei seiner Erstellung sind die Arbeiten einer grossen Zahl von Lieferanten und Unternehmern, sehr viele Anlagenteile und Systeme und viele ineinander übergreifende Operationen zu koordinieren und zu steuern.

Die Aufgabe kann wirkungsvoll nur mit einer fortgeschrittenen Terminplanungs- und Überwachungsmethode gelöst werden. Als solche gelangt die Netzplantechnik zur Anwendung. Die auszuführenden Arbeiten teilen sich in über 600 Einzelaufgaben auf, welche durch einen Computer und mit Hilfe von Haupt- und Detailnetzplänen überwacht und gesteuert werden.

Der Kostenvoranschlag für die Erstellung des Kraftwerkes, inbegriffen die Kosten für die erste Brennstoffladung, erreicht die Summe von Fr. 302400000.—. Dieser grosse Aufwand veranlasste die BKW, ein Programm über ihre gesamten, im Zeitraum der Erstellung des Atomkraftwerkes zu erwartenden Investitionen aufzustellen und sich über deren Finanzierung Rechenschaft zu geben. Neben der Eigenfinanzierung wird der Finanzbedarf in erster Linie durch Obligationen anleihen zu decken sein. Es ist aber auch eine Aktienkapitalerhöhung in Aussicht genommen, über die die Generalversammlung voraussichtlich nächstes Jahr zu beschliessen haben wird.

Die BKW haben mit dem Bau des Atomkraftwerkes Mühleberg einen bedeutsamen Schritt für die Sicherstellung der zukünftigen Elektrizitätsversorgung unternommen. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag für die gesunde Weiterentwicklung der bernischen Wirtschaft und zum Wohl der Bevölkerung.

Die Entwicklung der Energiewirtschaft der Schweizerischen Bundesbahnen von den Anfängen bis zur Gegenwart

DK 620.9:656.2

Von **Alfred Degen**, dipl. Elektr.-Ing., Zollikofen ¹⁾

1. Die Wasserrechtskonzessionen

Die Direktion der auf den 1. Mai 1909 verstaatlichten Gotthardbahn hat bereits in den Jahren 1907 und 1909 von den beiden Kantonen Tessin und Uri Wasserrechtskonzessionen erworben, die dann später in den Besitz der SBB übergingen. Sie hatte dabei die Absicht, in einem späteren Zeitpunkt die Gotthardlinie mit ihren schwierigen Betriebsverhältnissen zu elektrifizieren. Dieser Schritt war für die damaligen Verhältnisse gewagt, denn es war noch keineswegs sicher, ob eine befriedigende Lösung für die Elektrifizierung in nächster Zeit gefunden werden könne.

Auch die SBB haben sich zu Beginn dieses Jahrhunderts um den

¹⁾ Als vor zwanzig Jahren das hundertjährige Bestehen der Schweizerischen Eisenbahnen gefeiert wurde, gab die Schweizerische Bauzeitung zwei Sonderhefte (65. Jahrgang, Nr. 25 und 26 vom 21. und 28. Juni 1947) heraus, in denen über die Anfänge, die seitherigen Entwicklungen und den damals erreichten Stand berichtet wurde. Das Heft 26 war den Problemen der elektrischen Traktion gewidmet. Darin findet sich auch eine Übersicht über die Anlagen für die Versorgung mit elektrischer Energie (von P. Tresch, dipl. Ing., Chef der Sektion für Kraftwerkbetrieb der SBB in Bern). In Fortsetzung und teilweiser Ergänzung dazu nimmt der vorliegende Aufsatz von Kollege A. Degen Stellung zu einigen energie-wirtschaftlichen Grundfragen. Die Redaktion.

Erwerb von Wasserrechtskonzessionen bemüht. So sicherte sich der Kreis I in Lausanne Wasserrechte im Oberwallis sowie die Generaldirektion in Bern solche in der Gegend zwischen St. Maurice und Martigny in den Walliser Gemeinden Finhaut, Trient, Salvan, Vernayaz, Martigny-Combe und Martigny-Ville (früher Gemeinde La Bâtiatz). Von der Maschinenfabrik Oerlikon wurde das Bauprojekt für das Etzelwerk erworben; doch dauerte es 20 Jahre, bis die Konzession im Jahre 1929 endlich erteilt wurde. Auch im Kanton Aargau wurde die Nutzbarmachung einer Strecke der Aare in die Wege geleitet; auf Grund dieser Konzession ist später zusammen mit den Nordostschweizerischen Kraftwerken in Baden die Gemeinschaftsanlage Rapperswil-Auenstein gebaut worden.

2. Grundsätzliches zur Beschaffung von Traktionsenergie

Der Erwerb von Wasserrechtskonzessionen und der Bau sowie der Betrieb eigener Kraftwerke entsprachen dem Grundsatz, der schon in einem Bericht aus dem Jahre 1913 für die Beschaffung von Traktionsenergie aufgestellt worden war. Damals kam die Generaldirektion auf Grund ausführlicher Untersuchungen zum Schluss, dass es für die Bundesbahnen geboten erscheine, die Kraftwerke für die Erzeugung der benötigten Traktionsenergie selbst zu bauen und auch selbst zu betreiben. Denn nur auf diese Weise sei es möglich, den Energiebedarf des elektrifizierten Bahnnetzes mit Sicherheit zu decken. Bei