Das Atomkraftwerk Mühleberg der BKW und sein gegenwärtiger Bauzustand

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **61 (1969)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921553

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

DAS ATOMKRAFTWERK MÜHLEBERG DER BKW UND SEIN GEGENWÄRTIGER BAUZUSTAND

DK 621.039

Dipl. Ing. A. Schreiber, Bernische Kraftwerke AG, Bern

ALLGEMEINES

Am 1. September 1966 erteilten die Bernischen Kraftwerke (BKW) einem Konsortium, bestehend aus den Firmen Brown, Boveri & Cie., Baden, und General Electric Technical Services Company, den Auftrag, ein Kernkraftwerk schlüsselfertig zu erstellen. Das Kraftwerk hat eine elektrische Nettoleistung von 306 MW und wird bei Mühleberg an der Aare gebaut. Mit dem Bau des Kraftwerkes ist am 1. April 1967 begonnen worden. Der Reaktor soll am 1. April 1971 erstmals kritisch werden, die volle Leistung soll das Kraftwerk am 1. Oktober 1971 erreichen.

STANDORT

Der Standort bei Mühleberg erfüllt zwei wichtige Bedingungen für die Errichtung eines Kernkraftwerkes: Durch die Aare ist die Kühlwasserversorgung sichergestellt, das in der Nähe befindliche Umspannwerk Mühleberg ist ein Netzknotenpunkt der BKW und eine günstige Einspeisemöglichkeit für das Kernkraftwerk. Zwei Kilometer aareaufwärts vom Standort des Atomkraftwerkes liegt das Wasserkraftwerk Mühleberg der BKW. Die Nähe des Wasserkraftwerkes vereinfacht die Notstromversorgung des Atomkraftwerkes und hat andere betriebliche Vorteile.

PRINZIPIELLE TECHNISCHE AUSLEGUNG

Die Leistung des Kraftwerkes von ca. 300 MW ist eine optimale Leistung. Einmal sinken natürlich die Stromerzeugungskosten mit steigender Kraftwerksleistung, zum anderen muss die Leistung eines neuen Kraftwerkes in einer Beziehung zur gesamten installierten Leistung des Netzes stehen. Das Kraftwerk wird mit einem Siedewasserreaktor von General Electric ausgerüstet. Der im Reaktor erzeugte Dampf strömt direkt zu den Turbinen. Um die Verfügbarkeit der Anlage zu erhöhen, sind die Teile des sogenannten konventionellen Teiles doppelt vorhanden. Der Reaktor speist seinen Dampf also in zwei parallele Turbosätze. Der Speisewasserstrang ist mit seinen Vorwärmern, Pumpen und anderen Einrichtungen ebenfalls doppelt vorhanden. Reserveaggregate sind entweder beiden Gruppen gemeinsam (Kühlwasserpumpen, Speisepumpen) oder in jedem System ist eine hundertprozentige Reserve vorhanden (Kondensatpumpen, Dampfstrahlvakuumpumpen).

Die Anordnung von zwei parallelen, aus einem Reaktor gespeisten Turbogruppen trägt also der Erfahrung Rechnung, dass die Verfügbarkeit des nuklearen Dampferzeugers weit grösser ist als die der konventionellen Komponenten der Anlage.

WÄRMESCHALTBILD

Der das Reaktordruckgefäss verlassende Frischdampf gelangt im direkten Kreislauf zu den beiden parallelen Turbogruppen (Bild 2). Nach Durchströmen des Hochdruckteiles der Turbine wird der Dampf in einem Wasserabscheider getrocknet und anschliessend im Ueberhitzer — einem mit Frischdampf gespeisten Wärmetauscher — auf 247 °C überhitzt. Durch diese Massnahme wird erreicht, dass die Dampffeuchte am Austritt des Niederdruckteiles der Turbine nur etwa 10 % beträgt, ein Wert, der auch bei modernen Hochdruckdampfturbinen nicht unterschritten wird. Der den Niederdruckteil der Turbine verlassende Dampf wird im Kondensator niedergeschlagen. Die Rohrbündel des Kondensators werden von Aarewasser durchströmt, das sich dabei

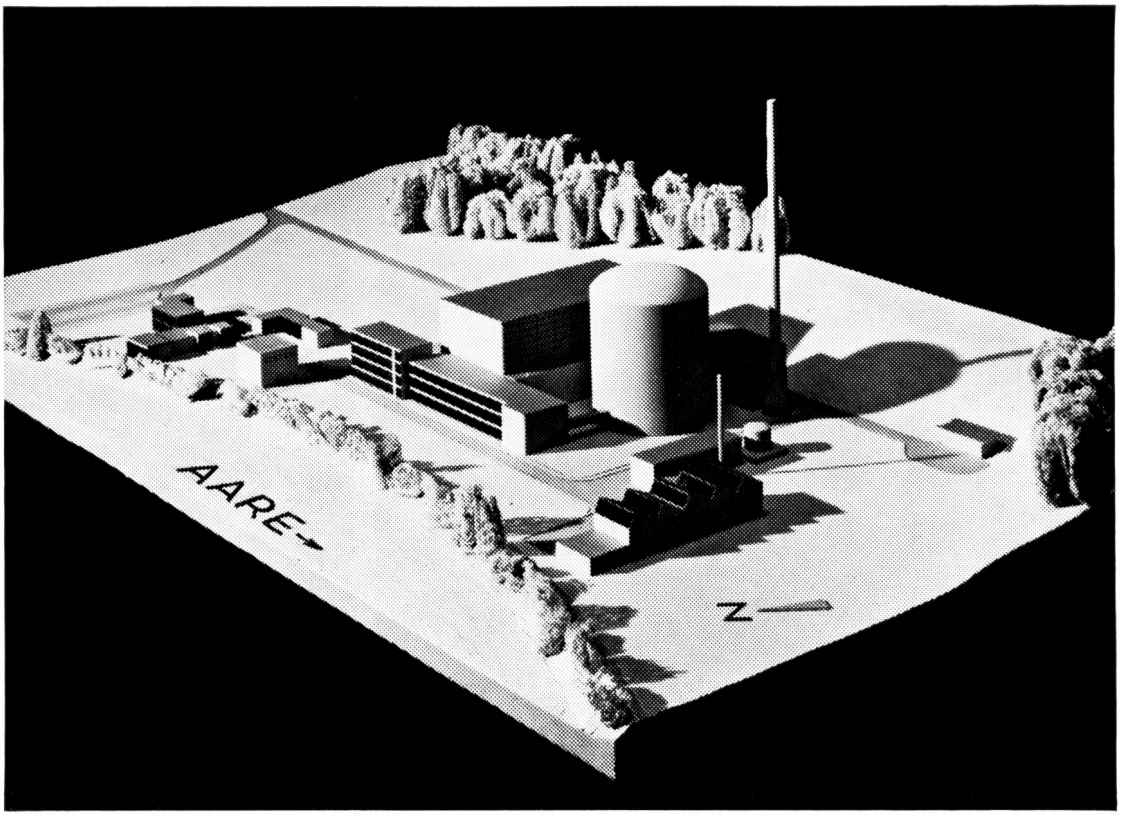


Bild 1
Modellaufnahme des Atomkraftwerkes Mühleberg

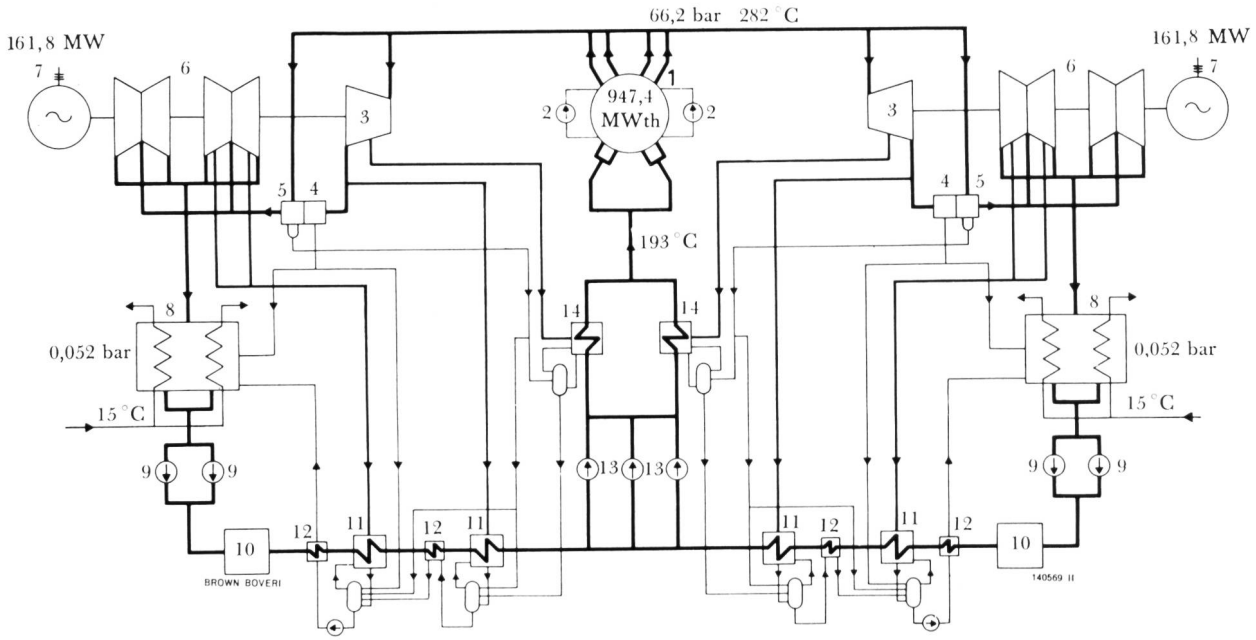
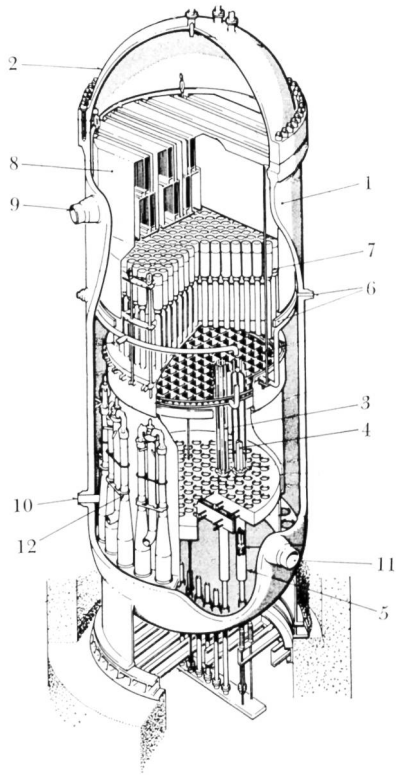


Bild 2 Vereinfachtes Wärmeschaltbild

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



Reaktor-Druckgefäss mit Einbauten

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

Bild 3 Reaktordruckgefäss mit Einbauten

um höchstens 15 °C erwärmt. Das Kondensat sammelt sich in einem unter dem Kondensator angeordneten Wasserraum, dem sogenannten Hotwell. Dieser Hotwell ist gleichzeitig ein Wasserspeicher für den Kreislauf. Vom Kondensator werden ständig eingedrungene Luft und nicht kondensierbare Gase durch Vakuumpumpen abgesaugt.

Das Kondensat wird von einer Kondensatpumpe (die zweite Pumpe ist Reserve) durch die Kondensatreinigungsanlage und durch die zweistufige Niederdruck-Vorwärmeranlage zu den Saugstutzen der Speisewasserpumpen gefördert. Die Speisepumpe — es ist eine gemeinsame Reservepumpe für beide Stränge vorhanden — fördert das Speisewasser durch den Hochdruckvorwärmer in das Reaktordruckgefäss zurück. Ihren Heizdampf erhalten die Vorwärmer aus den dem jeweiligen Temperaturniveau entsprechenden Anzapfungen der Turbine. Das in den Vorwärmern entstehende Kondensat wird über eine Pumpe in den Kondensator gefördert und damit dem Kreislauf wieder zugeführt.

Im folgenden sollen die einzelnen Komponenten des Wärmeschaltbildes kurz erläutert werden.

DER REAKTOR

Der Reaktorkessel hat einen Innendurchmesser von 4 m, die grösste Innenlänge beträgt 19 m. Der für einen Siedewasserreaktor übliche Betriebsdruck von 70 atü führt zu einer Wandstärke von 100 mm. Das tragende Material ist Feinkornstahl, als Korrosionsschutz erhalten die Innenflächen eine Plattierung aus rostfreiem Stahl. Der Kessel wird aus einzelnen geschmiedeten Ringen aufgebaut, die verschweisst werden. Bei Kesseln dieser Grösse sind lediglich Rundnähte nötig.

Zum Anschluss der verschiedenen Rohrleitungen und der Regelstabantriebe erhält der Reaktorkessel zahlreiche eingeschweisste Stutzen. Der Reaktorkessel wird über eine Flanschverbindung mit einem Deckel verschlossen.

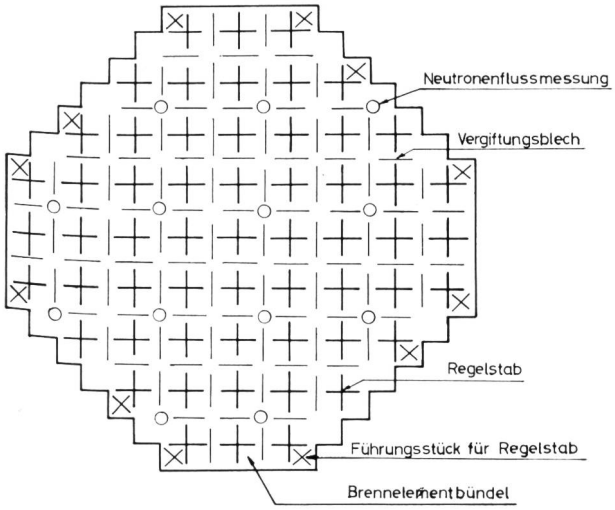


Bild 4 Querschnitt durch das AKM-Core

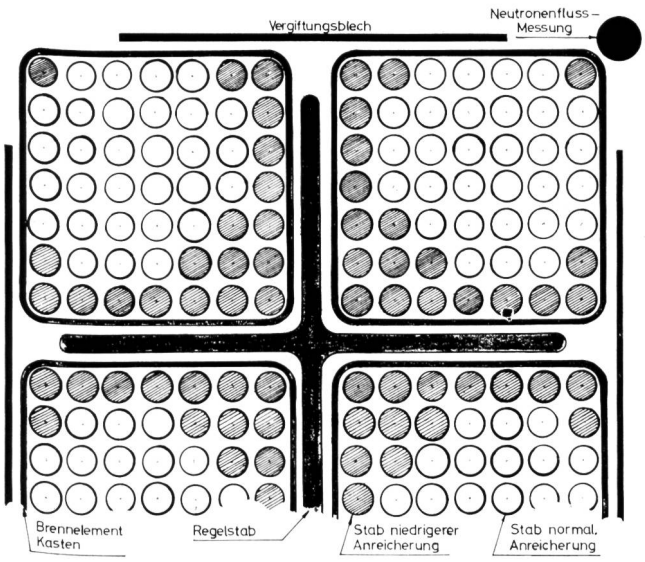


Bild 5 Anordnung der Brennelementbündel im Core

Im Reaktorkessel (Bild 3) befindet sich das aus 228 Brennelementbündeln bestehende Core. Die einzelnen Brennelementbündel werden durch die untere Kerntragplatte und die obere Führungsplatte fixiert. Jedes Brennelementbündel besteht aus 49 einzelnen Stäben; das sind mit Tabletten aus Urandioxyd gefüllte und durch angeschweisste Endstopfen dicht verschlossene Zircaloy-Rohre. Bild 4 zeigt einen Querschnitt durch das Core, Bild 5 zeigt vergrössert die Anordnung der Brennelementbündel im Core.

Jeweils zwischen einer Gruppe von vier Brennelementbündeln kann ein kreuzförmiger Regelstab eingefahren werden. Die Regelstäbe enthalten als Neutronenabsorptionsmaterial Borkarbid. Durch Ausfahren der Regelstäbe in einem bestimmten Muster wird im Core eine gewünschte und zulässige Leistungsverteilung eingestellt. Zum Abschalten des Reaktors werden sämtliche Regelstäbe vollständig in das Core eingefahren. Die Regelstäbe werden durch hydraulische Antriebe bewegt. Diese Antriebe sind an Rohrstutzen am Boden des Reaktorkessels angeflanscht. Das Core enthält ausserdem noch Spaltkammern zum Messen des Neutronenflusses, sowie Neutronenquellen zum erstmaligen Anfahren des Reaktors. Die in den Bildern 4 und 5 sichtbaren borhaltigen Vergiftungsblenden dienen dazu, die Leistungsverteilung durch zusätzliche Neutronenabsorptionen günstig zu beeinflussen. Sie werden aus dem Core entfernt, wenn ein gewisses Gleichgewicht im Abbrand erreicht ist und damit auch unzulässige Leistungsspitzen abgebaut sind.

WÄRMEÜBERTRAGUNG

Zwischen den Stäben der Brennelementbündel strömt von unten nach oben Wasser. Das Wasser erwärmt sich und verdampft teilweise. Die Wasserströmung durch das Core ist durch einen Zwangsumlauf sichergestellt.

Im Ringraum zwischen der Wand des Reaktorkessels und dem Coremantel befinden sich Wasserstrahlpumpen, die das Wasser durch den Ringspalt nach unten saugen und durch das Core wieder zurückführen. Das Triebwasser für die Strahlpumpen wird in zwei äusseren Schleifen durch Kreiselpumpen geliefert.

Der Wasserfluss durch das Core ist dadurch stets grösser als die dem Core entnommene Dampfmenge. Das verbessert die Wärmeübertragung von den Brennelementen zum Wasser. Der im Core entstehende Dampf wird von dem über dem Core befindlichen Dampfseparator vom Wasser getrennt. Der Nassdampf wird im Dampftrockner weiter von Wasser befreit und verlässt als Sattdampf mit einer nur geringen Restfeuchte das Reaktordruckgefäss.

REAKTORWASSERREINIGUNG

Verunreinigungen des Reaktorwassers (Korrosionsprodukte und eventuell durch kleine Leckstellen der Brennelementhüllrohre ausgetretene Spaltprodukte) würden sich durch die laufende Dampfentnahme im Reaktorwasser anreichern und könnten den Betrieb des Reaktors beeinträchtigen. Deshalb wird aus einer Umwälzschleife laufend ein Teilstrom Wasser entnommen, gereinigt, und dem Reaktor wieder zugeführt. Die Reinigung geschieht mit sogenannten Powdex-Filtern. Auf Filterelementen wird eine dünne Schicht von feinkörnigen Ionenaustauscherharzen von Wasser durchströmt. Durch die Feinkörnigkeit ist neben dem Ionenaustausch (dissoziierte Verunreinigungen werden durch H^+ bzw. OH^- -Ionen ersetzt) auch gleichzeitig eine Filterwirkung vorhanden, die ungelöste Verunreinigungen wie Eisenoxyde in den Filtern zurückhält. Wenn die Reinigungswirkung der Powdex-Harze erschöpft ist, wird das alte Filtermaterial entfernt und durch neues ersetzt. Da die Harze bei höherer Temperatur zerstört würden, wird das Wasser vor Eintritt in die Filter gekühlt und vor der Uebergabe in den Reaktor wieder vorgewärmt.

TURBOSÄTZE

Bei einer Sattdampfturbine ist es wichtig, die durch den höheren Wassergehalt bedingten höheren Verluste und die stärkere Erosion in Grenzen zu halten. Neben der Verwendung des Wasserabscheider-Zwischenüberhitzers ist eine sorgfältige Entwässerung besonders der letzten Stufen nötig. Ausserdem wird erosionsunempfindliches Material (13-prozentiger Chromstahl) verwendet.

KONDENSATOR, ABGASSYSTEM

Neben der Kondensation des Turbinendampfes hat der Kondensator in einem Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor die Aufgabe des Entgasers. In das System eingedrungene Luft, durch Radiolyse im Reaktor entstehendes Knallgas und eventuell aus lecken Brennelementen austretende gas-

förmige Spaltprodukte werden vom Dampfraum des Kondensators durch dreistufige Dampfstrahlpumpen abgesaugt. Die abgesaugten Gase durchströmen zunächst einen katalytischen Rekombinator. Dort wird das Knallgas rekombiniert. Anschliessend werden die Gase durch eine Verzögerungsrohrleitung geleitet, in der die durch Nuklide kleiner Halbwertszeit (Stickstoff 16) hervorgerufene Aktivität abklingen kann. Danach werden die Gase durch Absolutfilter geleitet und strömen, vermischt mit der Gebäudeabluft, in den Kamin. Es ist selbstverständlich, dass die Aktivität des Abgases und der Abluft ebenso überwacht werden, wie alle Wasserkreisläufe, in denen möglicherweise Aktivität auftreten kann. Sollte die Abgasaktivität unzulässig gross werden, muss das Kraftwerk abgeschaltet werden.

KONDENSATREINIGUNGSANLAGE

Die gesamte, von der Kondensatpumpe geförderte Wassermenge wird durch die Kondensatreinigungsanlage geleitet. Das Prinzip der Reinigung, Powdex-Filter, ist das gleiche wie für die Reaktorwasserreinigung. Die Kondensatreinigungsanlage hat noch die zusätzliche Aufgabe, das bei eventuellen Schäden an den Kondensatrohren in den Kreislauf eintretende Kühlwasser zu reinigen. Wegen der gefährlichen Spannungsrisskorrosion an Edelstählen darf unter keinen Umständen Chlor in den Kreislauf gelangen.

MESSUNG, STEUERUNG

Die Ueberwachung der Anlage geschieht zentral von einem Kommandoraum aus. Dort werden alle wichtigen Betriebsgrössen der Anlage angezeigt oder geschrieben. Wenn Betriebsgrössen in die Nähe eines gefährlichen Wertes kommen, erfolgt ausserdem eine akustische und optische Gefahrmeldung. Vom Kommandoraum aus lässt sich die Anlage, das An- und Abfahren eingeschlossen, fernsteuern.

REGELUNG

Wichtigste Regelkreise sind die Druckregelung des Reaktors, die Speisewassermengenregelung und die Regelung der Zwangsumlaufmenge im Reaktor.

Mit dem Reaktordruck ändert sich die Reaktivität des Cores und damit die Leistung. Da bei einem geänderten Reaktordruck sich aber auch das dynamische Verhalten des Cores ändert, muss der Reaktordruck konstant gehalten werden. Das geschieht mit den Turbinenregelventilen (Vordruckregelung). Sollte etwa bei einem Turbinenfehler die Regelung mit den Turbinenregelventilen nicht mehr ausreichend möglich sein, so wird die überschüssige Dampfmenge über Drosselventile direkt in den Kondensator abgeblasen. Dieser Vorgang dauert natürlich nur so lange, bis die Leistung des Reaktors dem Dampfverbrauch der noch in Betrieb befindlichen Turbine angepasst ist.

Die Speisewasserregelung hat die Aufgabe, die dem Reaktor zugeführte Speisewassermenge der erzeugten Dampfmenge anzupassen und ausserdem das Wasserniveau im Reaktorkessel konstant zu halten. Messgrössen für diese Regelung sind also Niveau im Druckgefäss, Dampfmenge und Speisewassermenge; Stellglieder sind Regelventile nach den Speisepumpen und die drehzahlveränderlichen Pumpenantriebsmotoren.

Wird die durch das Core umgewälzte Wassermenge vergrössert, so sinkt der Dampfblasengehalt im Wasser. Damit steigt die Reaktivität und somit die Reaktorleistung. Durch Aendern der Zwangsumlaufmenge ist eine Leistungsänderung des Reaktors von 75 bis 100 Prozent der jeweils durch die Regelstabstellung bedingten Leistung möglich.

Die veränderte Umwälzmenge wird durch Aendern der Drehzahl der Umwälzpumpen erreicht. Den Motoren der Umwälzpumpen wird eine Spannung variabler Freqenz zugeführt, die von einem Satz, bestehend aus Motor, hydraulischem Getriebe und Generator, erzeugt wird.

Grössere Leistungsänderungen werden von Hand durch Verstellen der Regelstäbe ausgeführt.

COMPUTER

Das Atomkraftwerk Mühleberg wird mit einem On-line-Computer ausgerüstet. Dieser Computer ist dauernd über Messwertumformer und Analog-Digital-Umsetzer mit vielen Messstellen der Anlage verbunden. Der Computer berechnet in periodischen Abständen die Leistungsverteilung im Core aufgrund der Regelstabstellungen und der von den Neutronenflussmesskammern gelieferten Daten. Ausserdem lie-

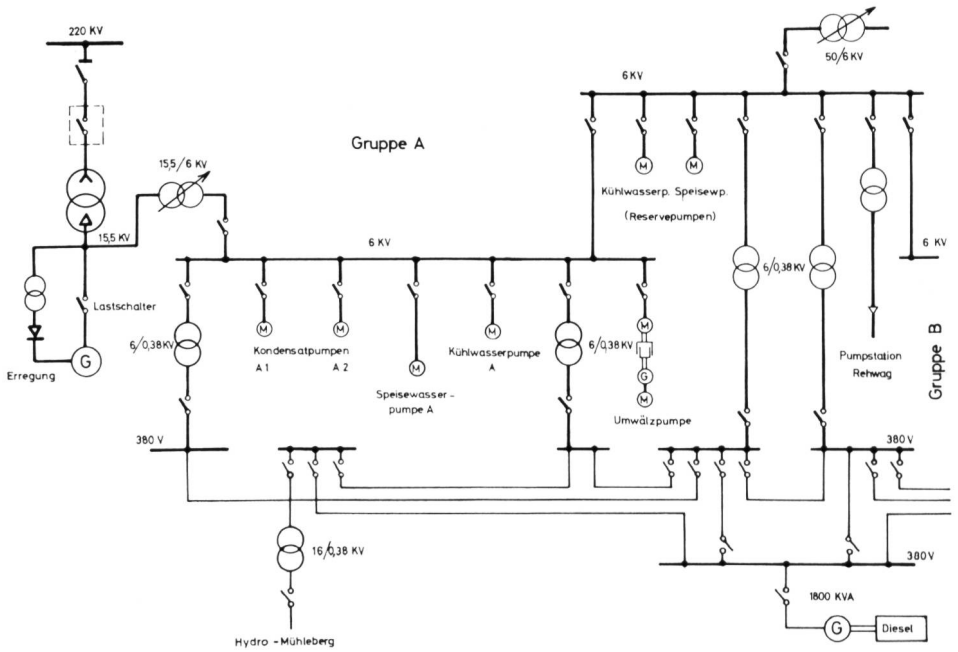


Bild 6
Elektrisches
Uebersichtsschaltbild

fert der Computer andere wichtige nukleare Daten und Betriebswerte des konventionellen Teiles der Anlage.

Vom Computer kommen auch Alarmmeldungen und bei Störungen werden nicht nur die Daten nach der Störung, sondern auch die gespeicherten Werte vor dem Fehler ausgedruckt.

Der Computer ist somit ein wertvolles Hilfsmittel für die Betriebsführung. Ausserdem erhöht er die Wirtschaftlichkeit der Anlage, da es durch die genauere Kenntnis der Leistungsverteilung im Core möglich ist, dichter an die zulässigen Grenzwerte zu gehen.

ELEKTRISCHE ANLAGEN

Die mit den Turbinen direkt gekuppelten wasserstoffgekühlten Generatoren sind über Lastschalter mit den 15/220 kV-Maschinentransformatoren verbunden (vgl. Bild 6).

Ueber einen 15/6 kV-Transformator wird die jedem Turbosatz zugeordnete Eigenbedarfsschiene gespeist, an der grössere Pumpenantriebe und die Transformatoren für die Speisung der 380 V-Schaltanlage hängen. Die Thyristorerregung der Generatoren wird von 15 kV über einen besonderen Transformator gespeist. Neben den blockgebundenen 6 kV-Schienen ist noch eine von der 50 kV-Schaltanlage Alt-Mühleberg über einen Transformator gespeiste 6 kV-Allgemeinschiene vorhanden. An dieser Schiene hängen Reservepumpen; die Anfahrschiene kann ausserdem mit jeder der beiden Blockschienen gekuppelt werden.

Zum Betrieb von Notsystemen bei Fehlen der 50 kV- und der 220 kV-Spannung ist neben zwei direkten 16 kV-Einspeisungen vom Wasserkraftwerk Mühleberg noch ein Dieselgenerator von 1800 kVA vorhanden.

Für die Speisung von Schutz-, Regelungs-, Mess- und Steuerkreisen sind neben verschiedenen Batterien noch aus den Batterien über Motor-Generatorsätze gespeiste unterbrechungslose sichere Schienen vorhanden.

KÜHLWASSERKREISLAUF

Das Kühlwasser für die beiden Turbinenkondensatoren wird der Aare von den Hauptkühlwasserpumpen über Feinrechen und Siebbandmaschinen entnommen.

Jede Turbogruppe hat einen eigenen Kühlwasserkreislauf. Es ist eine gemeinsame Reservepumpe vorhanden.

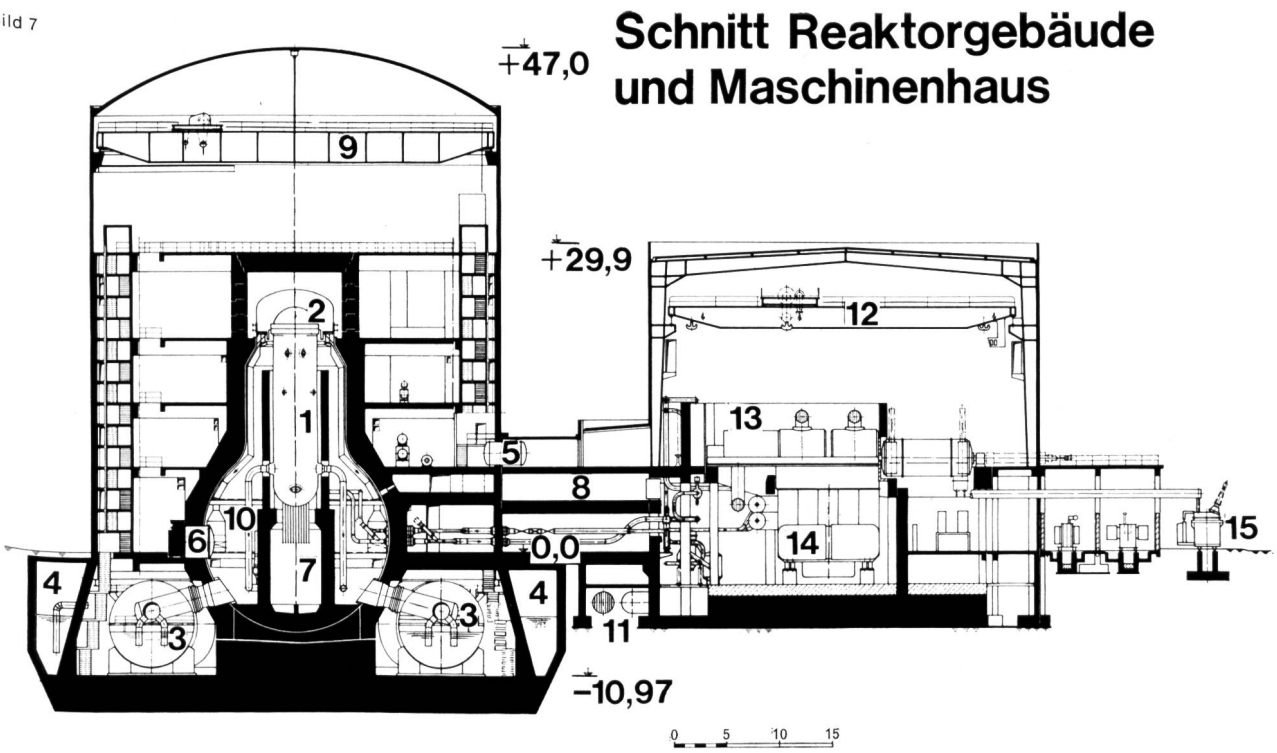
Bei der Rückgabe des Kühlwassers in die Aare wird durch quer in der Aare liegende Rohre mit vielen seitlichen Austrittsöffnungen für eine gute Durchmischung des erwärmten Kühlwassers mit dem Aarewasser gesorgt.

Bei grösster Kraftwerksleistung wird das Kühlwasser bis zu maximal 15 °C erwärmt. Die Erwärmung der Aare beträgt bei mittlerer Wasserführung 1,6 °C, bei Niedrigwasser 5 °C.

NEBENKÜHLWASSER

Zur Kühlung diverser Komponenten — Oelkühler der Transformatoren, Schmierölkühler der Turbinen und Pumpen, Luftkühler der Klimaanlagen, usw. — dient ein besonderer Nebenkühlwasserkreislauf. Dieser wird über die Nebenkühlwasserpumpen, die ebenfalls im Pumpenhaus installiert sind, gespeist.

Bild 7



1 Reaktordruckgefäss
2 Sicherheitsbehälter (Drywell)
3 Innerer Torus
4 Aeusserer Torus
5 Personenschleuse
6 Schleuse zum Drywell
7 Regelstabantriebe
8 Kabelkanal
9 Rundlaufkran
10 Umluftanlage im Drywell
11 Kühlwasserleitung
12 Maschinenhauskran
13 Turbosatz
14 Kondensator
15 Maschinentransformator

ZWISCHENKÜHLWASSER

Zur Kühlung von Komponenten im Reaktorgebäude, die möglicherweise radioaktives Wasser enthalten können, dient ein besonderer geschlossener Kühlkreislauf, das Zwischenkühlwassersystem. Dieses gibt die aufgenommene Wärme über einen Wärmetauscher an das Nebenkühlwasser ab.

SICHERHEIT

Erfahrungen der Hersteller des Kernkraftwerkes, sorgfältige Konstruktion und Materialauswahl, sowie eine genaue Bauüberwachung machen das Auftreten eines grossen Unfalles unwahrscheinlich. Die Anlage ist darüber hinaus mit Einrichtungen versehen, welche die Wahrscheinlichkeit, dass ein Unfall auftritt, verkleinert. Ausserdem wird das Ausmass eines eventuellen Unfalles begrenzt. Die Summe dieser Einrichtungen sind die sogenannten Sicherheitseinrichtungen.

SICHERHEITSBEHÄLTER

Das Reaktordruckgefäss und die beiden Umwälzpumpen mit den entsprechenden Rohrleitungen befinden sich in einem geschlossenen Behälter aus Stahl, dem sogenannten Drywell. Dieser ist über mehrere Leitungen mit dem inneren Druckabbauring, dem Torus, verbunden (Bild 7). Der Torus ist ständig etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt; die Verbindungsrohre zum Drywell enden unter der Wasseroberfläche.

Sollte bei einem Unfall, zum Beispiel bei einem Bruch einer Frischdampfleitung, Dampf in den Drywell austreten, so wird dieser durch das Toruswasser kondensiert. Druck und Temperatur im Drywell sind somit begrenzt. Die Umgebung ist auf jeden Fall vor dem austretenden Dampf und eventueller Radioaktivität geschützt.

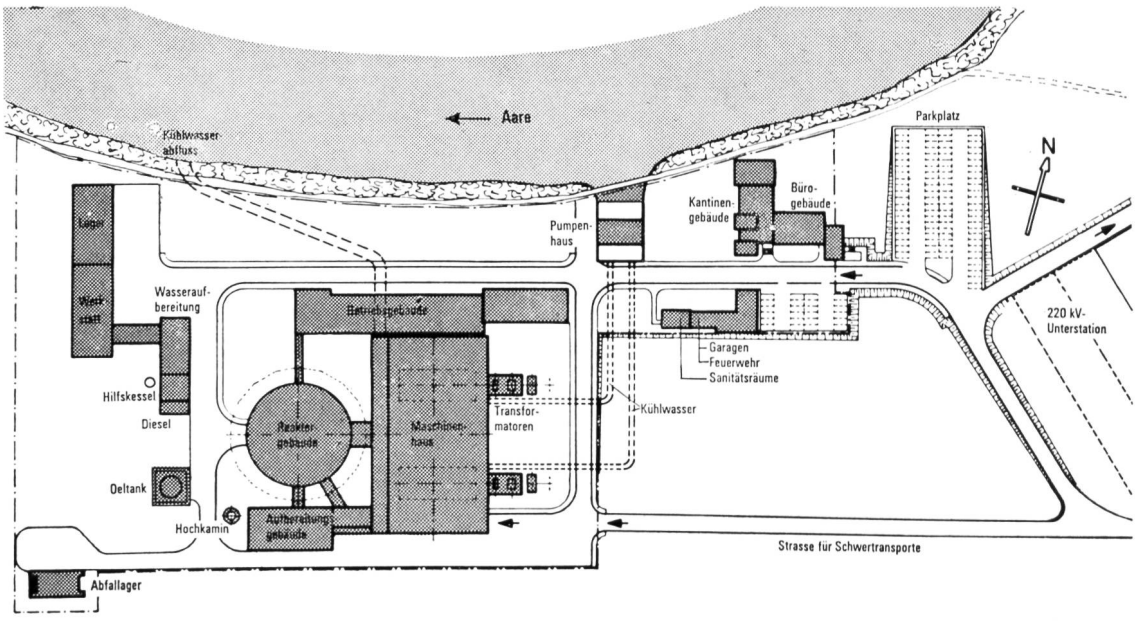
Dieser primäre Sicherheitsbehälter aus Stahl befindet sich in einem weiteren sekundären Sicherheitsbehälter, dem Reaktorgebäude aus Stahlbeton. Das Reaktorgebäude ist wiederum mit einem sekundären Druckabbauring aus Beton geschützt. Die den Sicherheitsbehälter durchdringenden Rohrleitungen und Lüftungskanäle sind über Durchführungen doppelt druckdicht mit dem Behälter verschweisst. Die Rohrleitungen und Lüftungskanäle sind auf beiden Seiten der Sicherheitsbehälterwand durch Ventile oder Klappen abschliessbar. Im Falle eines Unfalles werden diese Absperrorgane automatisch geschlossen. Die Frischdampfleitungen werden, wenn ein Rohrleitungsbruch erfolgen sollte, oder wenn in den Leitungen eine hohe Aktivität festgestellt wird, durch besonders schnell schliessende Ventile geschlossen. Selbstverständlich werden auch Kabel durch besondere druckfeste Durchführungen in das Innere des Sicherheitsbehälters geführt.

REAKTORSCHUTZ

Bevor sich bestimmte Betriebswerte unzulässigen Grenzen nähern, wird der Reaktor automatisch durch gleichzeitiges Einschiessen aller Regelstäbe abgeschaltet. Dieser Reaktorschnellschluss oder Scram wird unter anderem von folgenden Messgrössen ausgelöst: Hoher Druck im Reaktordruckgefäss, hoher Neutronenfluss, niedriger Wasserstand im Druckgefäss, hoher Druck im Sicherheitsbehälter usw. Jede dieser Grössen wird wenigstens viermal unabhängig gemessen. Dabei werden diese Auslösekontakte auf zwei unabhängige Auslösekreise verteilt. Ein Scram erfolgt nur, wenn in jedem der beiden Kreise ein Auslösebefehl ansteht. Fehler in der Messanordnung wirken sich dabei stets so aus, dass ein Auslösebefehl ansteht. Durch dieses sogenannte fail-safe-Prinzip ist die Sicherheit gewährleistet; durch die Verwendung von zwei unabhängigen Auslösekreisen ist sichergestellt, dass nicht bei jedem zufälligen Fehler der Schutzeinrichtungen ein Scram erfolgt. Die Anordnung garantiert also Sicherheit und Verfügbarkeit der Anlage.

KÜHLSYSTEME

Bei einem automatischen Schliessen der in den Frischdampfleitungen auf beiden Seiten der Durchdringung durch den Sicherheitsbehälter angeordneten Isolationsventile durch Bruch der Frischdampfleitung oder durch hohe Aktivität oder bei gleichzeitigem Verlust des Vakuums in bei-



0 50 100 m

Bild 8 Grundriss des Atomkraftwerkes

den Kondensatoren verliert der Reaktor seine Hauptwärmesenke. In diesen Fällen wird der Reaktor durch Scram selbstverständlich abgeschaltet. Der im Reaktorkessel gespeicherte und der durch die Nachzerfallswärme im Core weiter entstehende Dampf wird dann über Abblasventile in den Torus geleitet. Durch eine von einer Turbine getriebene Pumpe wird vom Torus oder einem anderen Speicherbehälter Wasser in das Druckgefäss gefördert, um den durch die Dampfabgabe bedingten Wasserverbrauch zu kompensieren. Die Turbine dieses sogenannten Kernisolationskühlsystems wird vom Dampf des Reaktors gespeist; der Kondensator dieser Turbine ist der Torus. Der Torus ist also mit seiner Wasserfüllung auch gleichzeitig die Notwärmesenke des Reaktors. Ausserdem stehen in dem beschriebenen Isolationsfall noch die Speisepumpen zum Nachspeisen des Druckgefässes zur Verfügung. Die Stromversorgung der Speisepumpen ist durch die drei unabhängigen Leitungen (zweimal 220 kV und einmal 50 kV) vom Netzknotenpunkt relativ sicher.

Darüber hinaus bestehen weitere Möglichkeiten der Notkühlung durch das Kernsprühsystem — die Kernsprühpumpen saugen Toruswasser an und verteilen dieses durch Sprühdüsen über das Core — und durch eine besondere Einspeisung aus einem Wasserhochbehälter.

Die Kernisolationskühlung und das Kernsprühsystem sind jeweils doppelt vorhanden. Das Kernisolationskühlsystem benötigt ausser der Kraftwerksbatterie keine Stromversorgung; das Kernsprühsystem wird im Notfall entweder von den 16 kV-Einspeisungen des Wasserkraftwerkes oder vom Notstromdiesel versorgt. Das Kühlwasser aus dem Hochbehälter ist ohne Hilfsenergie verfügbar. Damit ist in allen denkbaren Fällen (Dammbrüche des Wasserkraftwerkes Mühleberg oder der Kraftwerke an der Saane) eine wirksame Notkühlung des Cores sichergestellt.

RADIOAKTIVE ABFÄLLE

In den Brennelementen selbst entstehen hochaktive Spaltprodukte. Die abgebrannten Brennelementbündel werden in abgeschirmten Bleibehältern in eine Wiederaufbereitungsanlage transportiert. Dort werden die Hauptbestandteile des verbrauchten Brennelementes — abgereichertes Uran, Plutonium und Spaltprodukte — voneinander getrennt. Das Uran und das wertvolle Plutonium stehen für die Verwendung als neuer Kernbrennstoff zur Verfügung. Die hochaktiven Spaltprodukte werden unter Verantwortung des Betreibers der Wiederaufbereitungsanlage sicher gelagert.

Im Kernkraftwerk sind lediglich Abfälle kleiner oder mittlerer Aktivität zu verarbeiten und zu lagern.

Das in der Anlage anfallende Leckwasser aus den verschiedenen Kreisläufen wird gesammelt und über Powdex-Filter gereinigt. Das gereinigte Wasser wird entweder dem Hauptkreislauf wieder zugeführt oder unter ständiger Kontrolle der Aktivität in die Aare abgegeben.

Das verbrauchte Ionenaustauscherharz dieser Abwasserreinigungsanlage und die verbrauchten Harze der Kondensatreinigungs- und der Reaktorwasserreinigungsanlage werden durch Zentrifugieren getrocknet und in Fässer gefüllt. Diese Fässer können in einem besonderen abgeschirmten und von Grundwasser isolierten Abfallager auf dem Gelände des Kraftwerkes gelagert werden. Weitere aktive Abfälle sind die verbrauchten Filter der Abluftanlagen und verbrauchte Regelstäbe. Diese werden ebenfalls im Abfalllager gesammelt.

GENERELLE ANORDNUNG DER ANLAGETEILE

Der Lageplan der einzelnen Gebäude des Atomkraftwerkes Mühleberg wird aus Bild 8 deutlich. Im Reaktorgebäude befinden sich der Reaktor mit seinen Hilfssystemen wie Kernisolationskühlsystem, Kernsprühsystem, Reaktorwasserreinigungsanlage, usw.

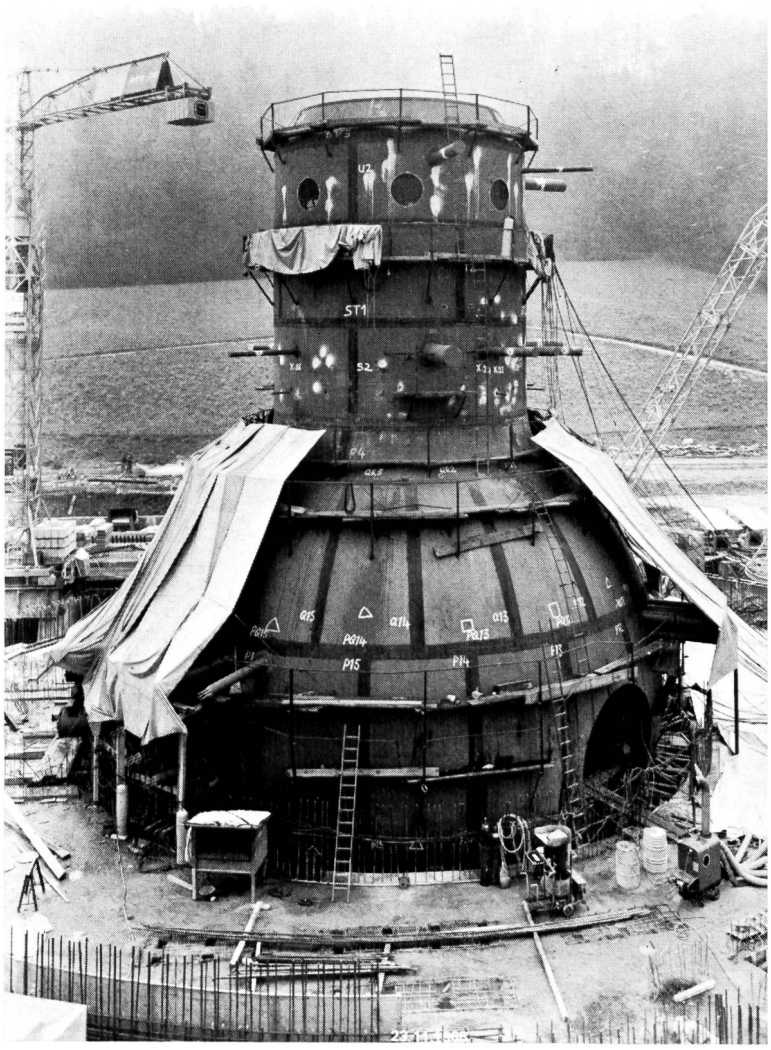
Im Maschinenhaus befinden sich neben den Turbosätzen die Speisewasservorwärmer, die Pumpen des Speisewasserstranges, die Kondensatreinigungsanlagen, die Umformer für die Reaktorumwälzpumpen und andere Einrichtungen.

Im Aufbereitungsgebäude befinden sich die Abwasserreinigungsanlagen, die Dekontaminationsanlage zum Reinigen eventuell verseuchter Anlagenkomponenten und die Zu- und Abluftanlagen.

Im Betriebsgebäude befinden sich der Kommandoraum mit seinen Hilfsanlagen, chemische Labors, Eigenbedarfsschaltanlagen und Büros. Die übrigen Hilfsgebäude sind in der Bildunterschrift erläutert.

Reaktorgebäude, Maschinenhaus, Aufbereitungsgebäude und Teile des Betriebsgebäudes gehören zur kontrollierten Zone. Diese Zone kann nur durch einen einzigen Eingang

Bild 9 Sicherheitsbehälter (Drywell), Bauzustand November 1968



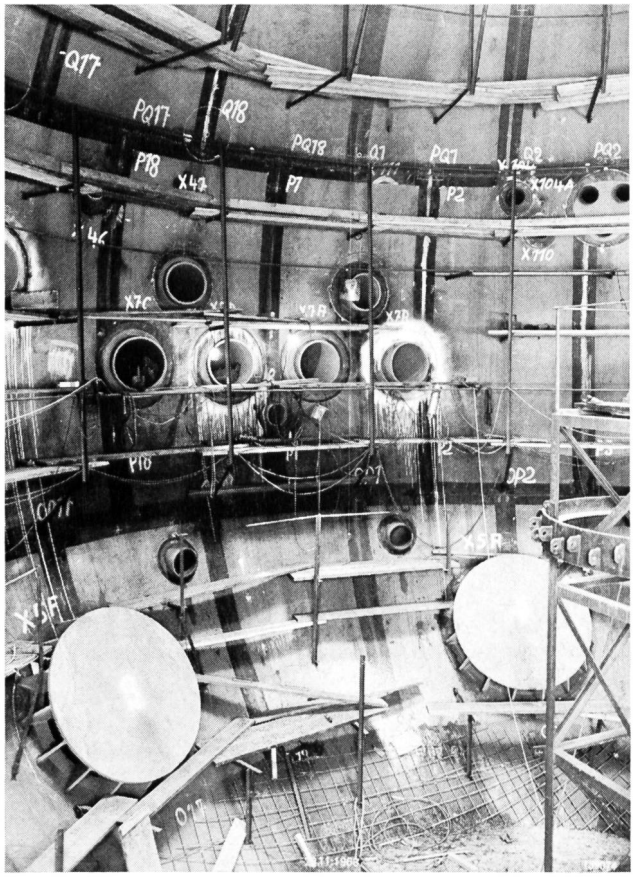


Bild 10 Drywell, Innenansicht

Bild 12 Baugrube für Kühlwasserrückgabe

betreten werden. Jede Person, die den kontrollierten Bereich betritt, muss Taschendosimeter zur Feststellung der empfangenen Strahlendosis mitführen.

GEGENWÄRTIGER BAUZUSTAND

Der aus einzelnen Blechen auf der Baustelle zusammengeschweisste Sicherheitsbehälter ist fertiggestellt. Die Druckprobe und der Leckratentest wurden Ende 1968 erfolgreich bestanden.

Bild 9 zeigt den Drywell kurz vor Fertigstellung. Der Deckel ist noch nicht installiert. Die Oeffnung rechts unten ist die durch einen Deckel verschliessbare Materialschleuse. Auf dem Bild sind mehrere Rohrleitungsdurchführungen deutlich erkennbar. Die bereits betonierte O m-Decke des Reaktorgebäudes verdeckt die Sicht auf den Torus. Gegenwärtig wird die Wand des Reaktorgebäudes und die Beton-

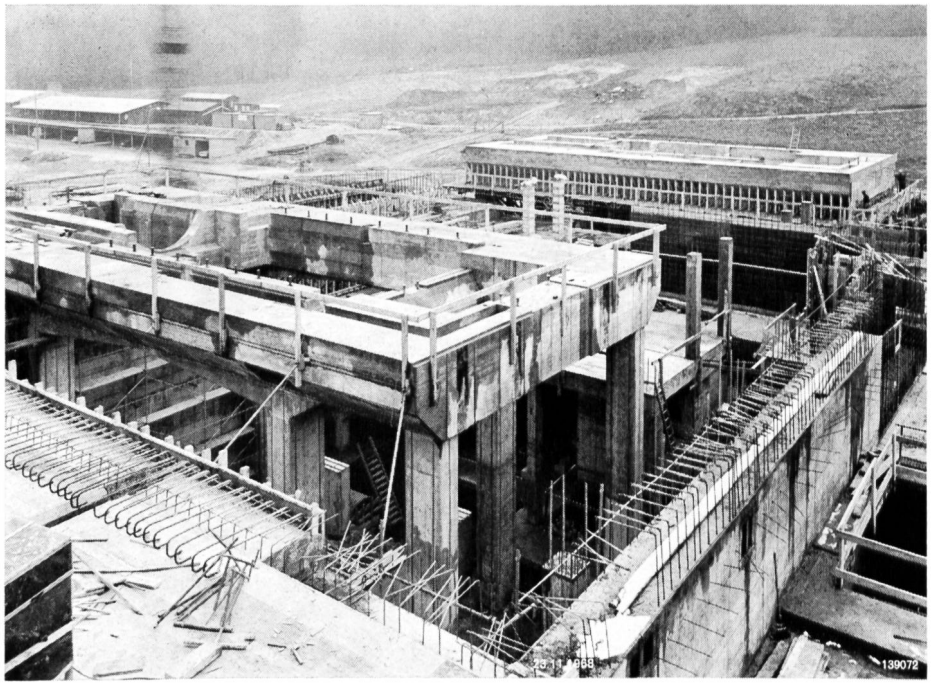


Bild 11
Maschinenhaus
mit Turbinenfundamenten

abschirmung, die den Drywell umschliesst, ausgeführt. Diese Abschirmung ist durch einen Luftspalt vom Drywell getrennt. Das ist notwendig, damit sich der Drywell im Falle eines durch Unfall bedingten Ueberdruckes frei dehnen kann.

Bild 10 zeigt das Innere des Drywells. In der oberen Hälfte sind nebeneinander die vier Durchführungen für die Frischdampfleitungen zu erkennen, darüber die beiden Durchführungen der Speisewasserleitungen. In der unteren Bildhälfte sind zwei durch runde Schutzplatten aus Stahl verdeckte Rohre zum Torus zu sehen. Es sind insgesamt sechs solcher Rohre vorhanden. Ganz unten ist die Armierung für den Beton innerhalb des Drywells erkennbar. In diesem Beton wird die Stützkonstruktion für das Reaktordruckgefäss abgestützt.

Bild 11 zeigt das Maschinenhaus mit den beiden Turbinenfundamenten.

Bild 12 zeigt die von der Aare abgespundete Baugrube für die Kühlwasserrückgabeleitungen. Bilder 9 bis 12 zeigen den Bauzustand von Ende 1968, Bild 13 ist vom August 1968. Es gibt einen guten Ueberblick über die gesamte Baustelle. Die einzelnen Gebäude sind anhand von Bild 8 unschwer zu identifizieren. In Bildmitte oben ist noch die doppelte Spundwand für die Baugrube des Kühlwasserpumpenhauses zu erkennen.

ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN TECHNISCHEN DATEN DES ATOMKRAFTWERKES MÜHLEBERG

Thermische Leistung	949 MW
Elektrische Leistung, brutto	326 MW
Elektrische Leistung, netto	306 MW
Nettowirkungsgrad	32,3 %
Brennstoff	UO_2-Pellets
Hüllmaterial	Zircaloy-2
Brennstabdurchmesser	14,27 mm
Aktive Länge	3,66 m
Zahl der Stäbe pro Brennelement	49
Zahl der Brennelemente	228
Zahl der Regelstäbe	57
Im Core enthaltenes Uran	44,4 t
Mittlere Anreicherung:	
— Erstcore	2,26 %
— Gleichgewicht	2,71 %
Mittlerer thermischer Neutronenfluss	$4{,}2 \cdot 10^{13}$ n/cm² sec.
Mittlerer Entladungsabbrand	
— Erstcore	20 000 MWd/t
— Gleichgewicht	27 000 MWd/t
Durchschnittliche spezifische Leistung	21,7 kW/kgU
Frischdampf am Reaktoraustritt	
Druck	71,7 kg/cm² abs.
Temperatur	286 °C
Menge	1760 t/h
Speisewassertemperatur bei Reaktoreintritt	193 °C
Umwälzmenge im Core	12 200 t/h
Dampffeuchte vor Turbineneintritt	0,2 %
Kondensatordruck bei 11 °C	
Kühlwassereintrittstemperatur	0,043 kg/cm² abs.
Kühlwassermenge	38 000 m³/h

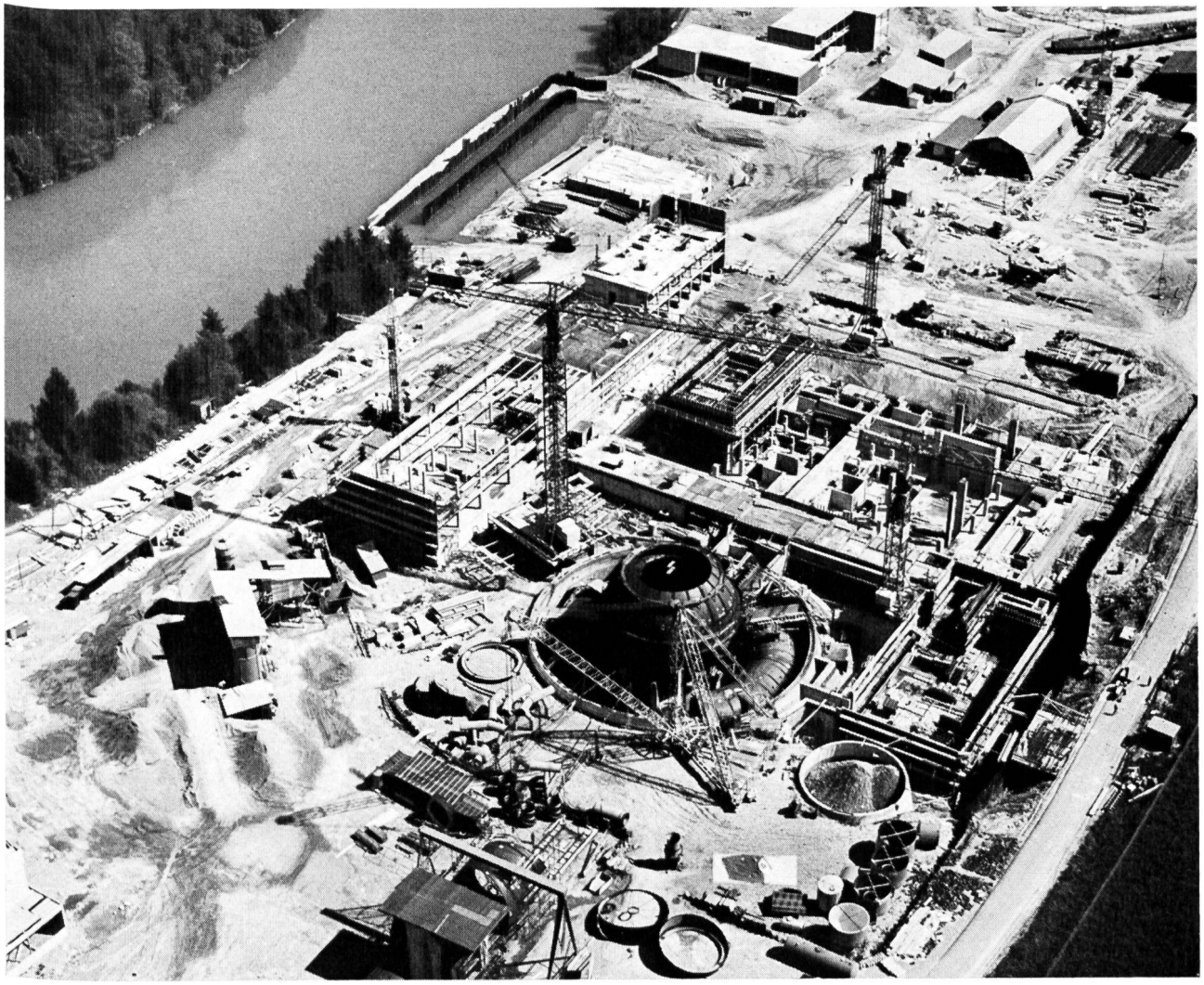



Bild 13 Luftaufnahme der gesamten Baustelle