Das Versuchsatomkraftwerk Lucens : Projektbeschreibung

Autor(en): **Krafft, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **53 (1962)**

Heft 13

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916951

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

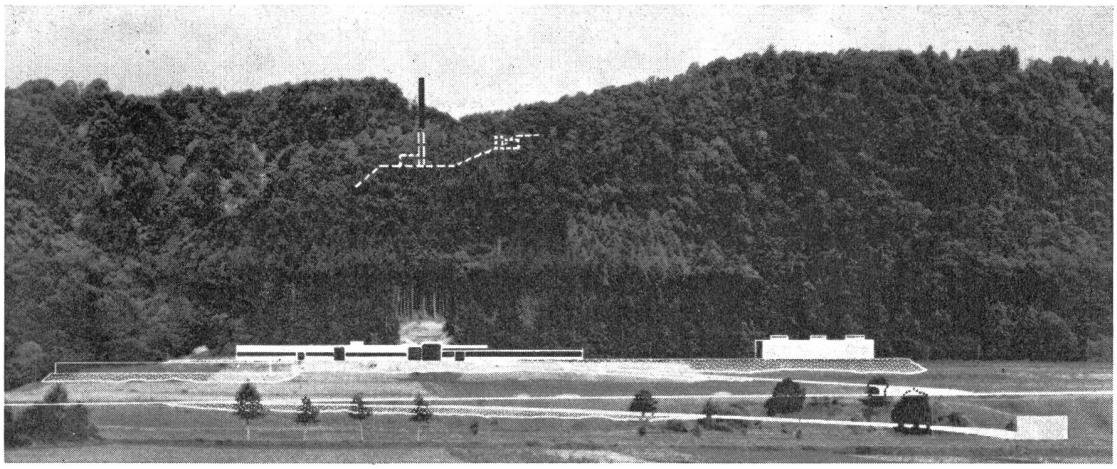
Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Das Versuchsatomkraftwerk Lucens

Projektbeschreibung

Verfasst im Namen der Arbeitsgemeinschaft Lucens
von *P. Krafft*, Zürich

621.311.25 : 621.039.577.001.4(494.452.8)



1. Einleitung

Die Atomenergie ist eine Energiequelle, die früher oder später die heute genutzten Energiequellen Kohle, Erdöl, Naturgas und Wasserkräfte ergänzen wird, um die steigende Energienachfrage der Menschheit zu decken. Die Schweiz verfügt zwar über Wasserkräfte, doch sind diese bald ausgenützt, und die fossilen Brennstoffe müssen aus dem Ausland eingeführt werden. Auf der andern Seite hat sich die Schweiz in der Welt einen guten Ruf in der Fabrikation von Anlagen zur Nutzbarmachung von Energie erworben. Es ist deshalb sowohl vom Standpunkt der Energieversorgung, als auch vom Standpunkt der industriellen Entwicklung aus naheliegend, dass sich die Schweiz in das Gebiet der Atomenergie einzuarbeiten bemüht.

Der Bau des Versuchsatomkraftwerkes Lucens stellt neben dem Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung in Würenlingen den ersten Schritt auf diesem Wege dar. Bauherrin des Werkes ist die *Nationale Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik (NGA)*, welche im Jahre 1961 durch folgende an der Entwicklung der Atomtechnik interessierten schweizerischen Gesellschaften gegründet wurde:

Energie Nucléaire S. A., welche die westschweizerischen Interessenten zusammenfasst,
Suisatom AG, welche sich aus den grösseren Elektrizitätsunternehmungen zusammensetzt,
Therm-Atom AG, welche Interessenten der Industrie der ganzen Schweiz zusammenfasst.

Der NGA können im übrigen alle schweizerischen Firmen beitreten, welche die Entwicklung der Atomtechnik unterstützen wollen.

Die NGA bezweckt die Förderung des Baues und der Erprobung von Leistungsreaktoren und Versuchsatomkraftwerken schweizerischer Konstruktion; ihre gegenwärtige Hauptaufgabe ist der Bau des Versuchsatomkraftwerkes Lucens. Sie wird dabei vom Bund unterstützt, der an den Gesamtaufwand der NGA einen Beitrag von 50 % bis zu höchstens 50 Millionen Franken gewährt.

Die NGA hat die *Arbeitsgemeinschaft Lucens (AGL)* mit der Projektierung, der Bauleitung und der Erprobung des Werkes beauftragt. Die AGL besteht aus folgenden Mitgliedern:

D. Bonnard & A. Gardel, ingénieurs-conseil, Lausanne,
Elektro-Watt, Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG, Zürich (mit ihrer Tochtergesellschaft Atomelektra AG),
Société Générale pour l'Industrie, Genf,
Therm-Atom AG, Zürich.

Die Geschäftsleitung der AGL liegt bei der Elektro-Watt.

Die Therm-Atom wird neben ihrer Tätigkeit im Rahmen der AGL den grössten Teil der maschinellen Ausrüstung des Werkes liefern.

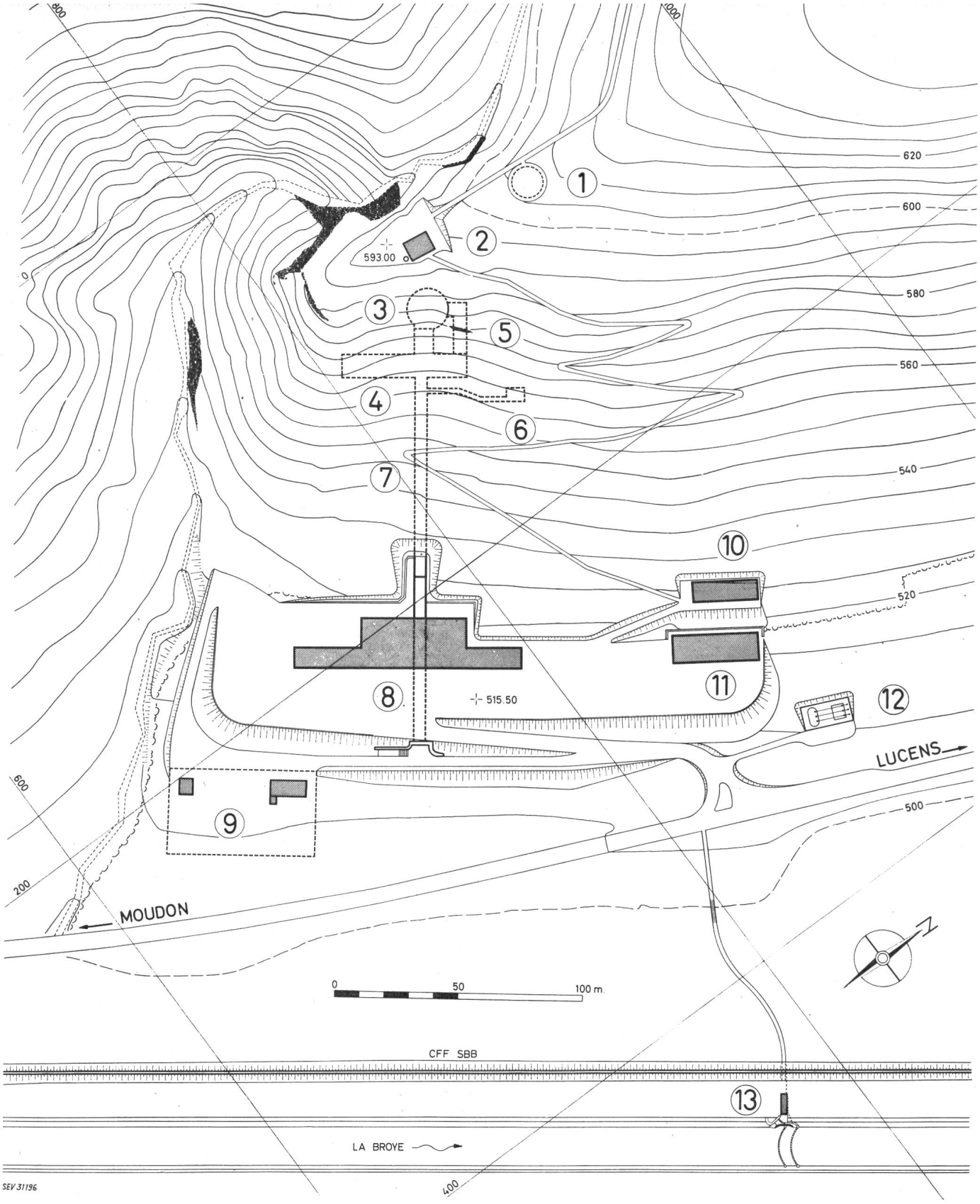


Fig. 2
Situationsplan

1 Wasserreservoir; *2* Kamingebäude mit Hochkamin; *3* Reaktorkaverne; *4* Maschinenkaverne; *5* Stablagerkaverne; *6* Versuchskaverne; *7* Zugangsstollen; *8* Betriebsgebäude; *9* Abfallaufbereitungsanlage; *10* Wasserzubereitung; *11* Kühlturm; *12* Freiluftschaltanlage; *13* Pumpstation

2. Konzeption des Werkes

Das Versuchsatomkraftwerk Lucens wird die Möglichkeit bieten, Erfahrungen mit einem schwerwassermoderierten Reaktor, insbesondere in Bezug auf den Brennstoff und die Verwendung des Reaktors in einem Atomkraftwerk, sowie im Betrieb einer solchen Anlage zu sammeln. Die dabei erzeugte elektrische Energie wird mithelfen, die Kosten dieser Versuche zu tragen. Von dieser Anlage kann jedoch kein wirtschaftlicher Betrieb erwartet werden. Vielmehr sollen die in Lucens gewonnenen Erfahrungen den Bau grosser Atom-

kraftwerke ermöglichen, deren primäres Ziel die Energieerzeugung sein wird.

Wegweisend für die Konzeption der Anlage von Lucens war deshalb die Notwendigkeit, bei möglichst geringen Kosten alle Erfahrungen sammeln zu können, welche eine Extrapolation auf eine Grossanlage ermöglichen.

Die thermische Leistung des Reaktors wurde auf 30 MW festgelegt, was einer elektrischen Bruttoleistung von 8,5 MW entspricht. Nach Abzug des Werkbedarfes beträgt die an das Netz abgegebene Leistung 6...7 MW.

Das Versuchskraftwerk Lucens weist im Vergleich mit ausländischen Anlagen einige neue Ideen auf.

An erster Stelle ist die Kavernenbauweise zu erwähnen, welche den besonderen schweizerischen Verhältnissen entspricht und sicherheitstechnische und ästhetische Vorzüge bietet. Ein damit verbundenes neues Problem entsteht daraus, dass die Ventilationsanlage besonders grosse Wärmemengen abzuführen hat. Weiter erfordert die Ausnützung des Felsens als Containment, d. h. als Schranke gegen die Freigabe radioaktiver Spaltprodukte bei einem schweren Reaktorunfall, eine Reihe neuer Untersuchungen und Versuche.

Der Reaktor selbst enthält eine Anzahl erwähnenswerter Merkmale. Er ist schwerwassermoderiert und gasgekühlt. Jedes Spaltstoffelement ist in ein Druckrohr eingebaut, welches dem Druck des primären Kühlmittels ausgesetzt ist. Die Druckrohre können zusammen mit den Spaltstoffelementen ausgebaut werden. Dieses System ermöglicht in der gleichen Anlage die Erprobung verschiedener Brennstoffarten, Elementumhüllungen und sogar Kühlmittel. Als Kühlmittel für den Reaktor von Lucens ist zunächst Kohlendioxyd vorgesehen. Die erste Brennstoffladung besteht aus Stäben aus metallischem, leicht angereichertem Uran, die in Hülsen aus einer Magnesiumlegierung eingeschlossen sind. Solche Kombinationen werden bereits in zahlreichen französischen und englischen Reaktoren verwendet.

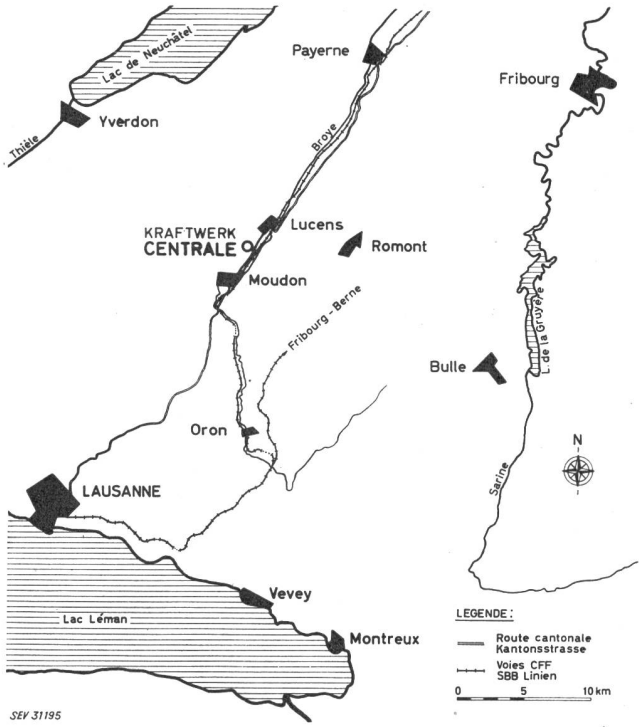


Fig. 1
Lage des Versuchsatomkraftwerkes

Die Möglichkeit einer späteren Umstellung auf Dampfkühlung besteht, doch erfordert sie verschiedene Änderungen an der Anlage. Eine solche Umstellung scheint aussichtsreich, hängt jedoch noch von der Lösung gewisser technologischer Probleme ab.

Die hervorragenden Eigenschaften des schweren Wassers als Moderator und die Verwendung von Kon-

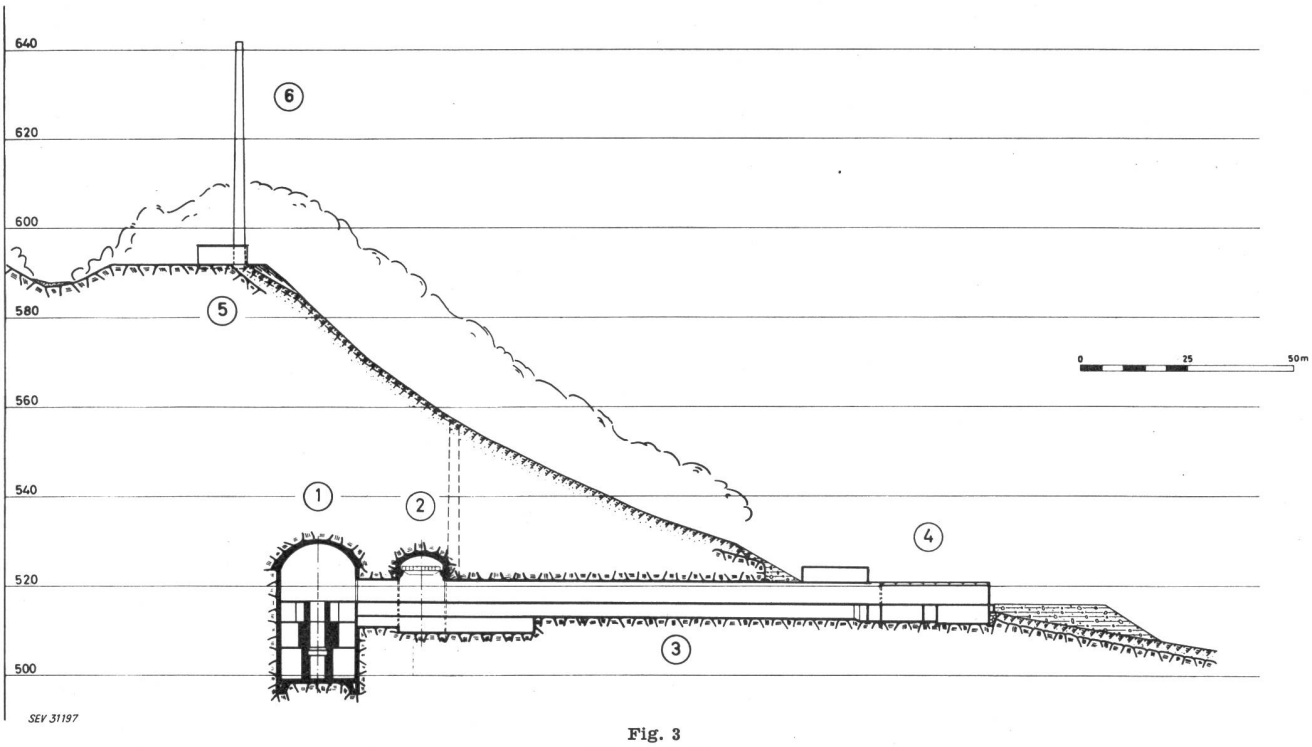
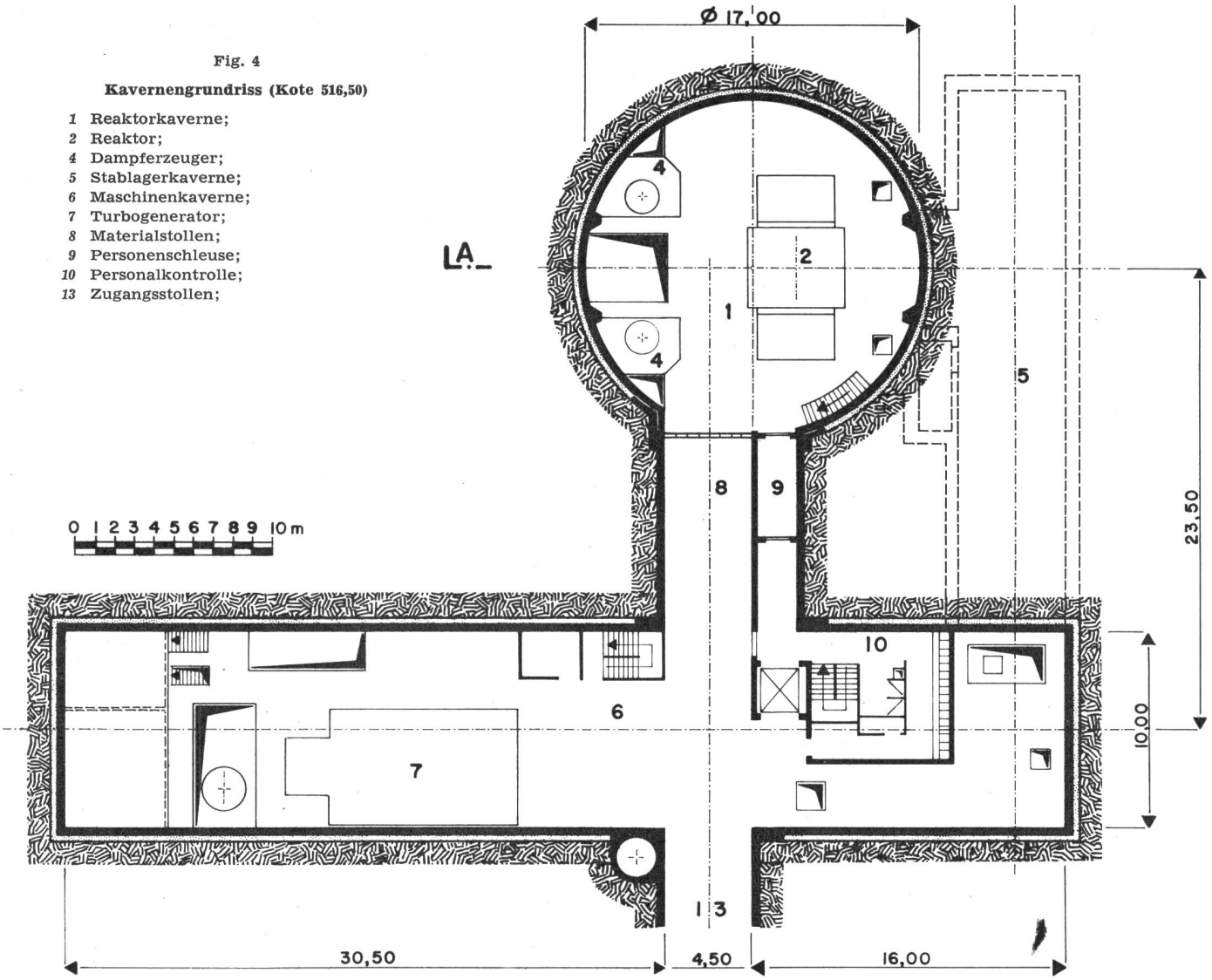


Fig. 3
Längsschnitt
1 Reaktorkaverne; *2* Maschinenkaverne; *3* Zugangsstollen; *4* Betriebsgebäude; *5* Kamingebäude; *6* Hochkamin

Fig. 4

Kavernengrundriss (Kote 516,50)

1 Reaktorkaverne;
2 Reaktor;
4 Dampferzeuger;
5 Stablagerkaverne;
6 Maschinenkaverne;
7 Turbogenerator;
8 Materialstollen;
9 Personenschleuse;
10 Personalkontrolle;
13 Zugangsstollen;



SEV 31198

struktionsmaterialien von geringer Neutronenabsorption im Reaktorkern (Zirkon, Aluminium usw.) geben diesem Reaktortyp einen guten Neutronenhaushalt. Für Grosskraftwerke mit dem in Lucens verwendeten Reaktortyp ist daher die Verwendung von Natururan möglich, womit eventuell auf die Rückgewinnung des im verbrauchten Spaltstoff noch vorhandenen spaltbaren Materials verzichtet werden kann. Diese Möglichkeit erscheint besonders vielversprechend in Anbetracht der auf dem Gebiet der Brennstoffzyklen heute herrschenden Ungewissheiten in politischer und finanzieller Hinsicht (Möglichkeit der Beschaffung und Preis des angereicherten Urans, Wert des Plutoniums, Kosten der Rückgewinnung des spaltbaren Materials).

Die Leistungsdaten des Reaktors erscheinen bescheiden. Will man einen Vergleich mit andern ähnlichen Anlagen oder Projekten anstellen, so muss berücksichtigt werden, dass es sich für die schweizerische Industrie um die erste Anlage dieser Art handelt. Es war daher angebracht, das Ziel nicht allzu hoch zu stecken, um die zu überwindenden Schwierigkeiten nicht unnötig zu vergrössern. Trotz dieser Vorbehalte nimmt der Reaktor von Lucens innerhalb der mit natürlichem Uran und Magnesium-Umhüllungen arbeitenden Reaktoren, die mit Kohlendioxyd gekühlt werden, einen guten Platz ein. Dank dem hohen Druck des Kühlmittels ist es nämlich möglich, eine gute spezifische Leistung zu erreichen. Zudem geben die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten zu berechtigten Hoffnungen Anlass. Während nämlich der metallische Spaltstoff die Temperatur begrenzt, dürfte es die Verwendung von Uranoxyd erlauben, bis auf etwa 520 °C zu gehen, was zu einer Dampfqualität führt, wie sie in den modernen thermischen Kraftwerken üblich, ja sogar, wie sie für Hochtemperatur-Reaktoren vorgesehen ist, und dies, ohne dass neue Techniken angewendet werden müssten. Gleichzeitig könnte die spezifische Leistung ungefähr verdoppelt werden, wobei allerdings eine gewisse Anreicherung in Kauf genommen werden müsste. Schliesslich ist zu sagen, dass, falls die technologischen Probleme gelöst werden können, die Verwendung von Wasserdampf als Wärmeträger eine wesentliche Vereinfachung und Verbilligung der Anlage erlauben würde. Die bisherigen Schät-

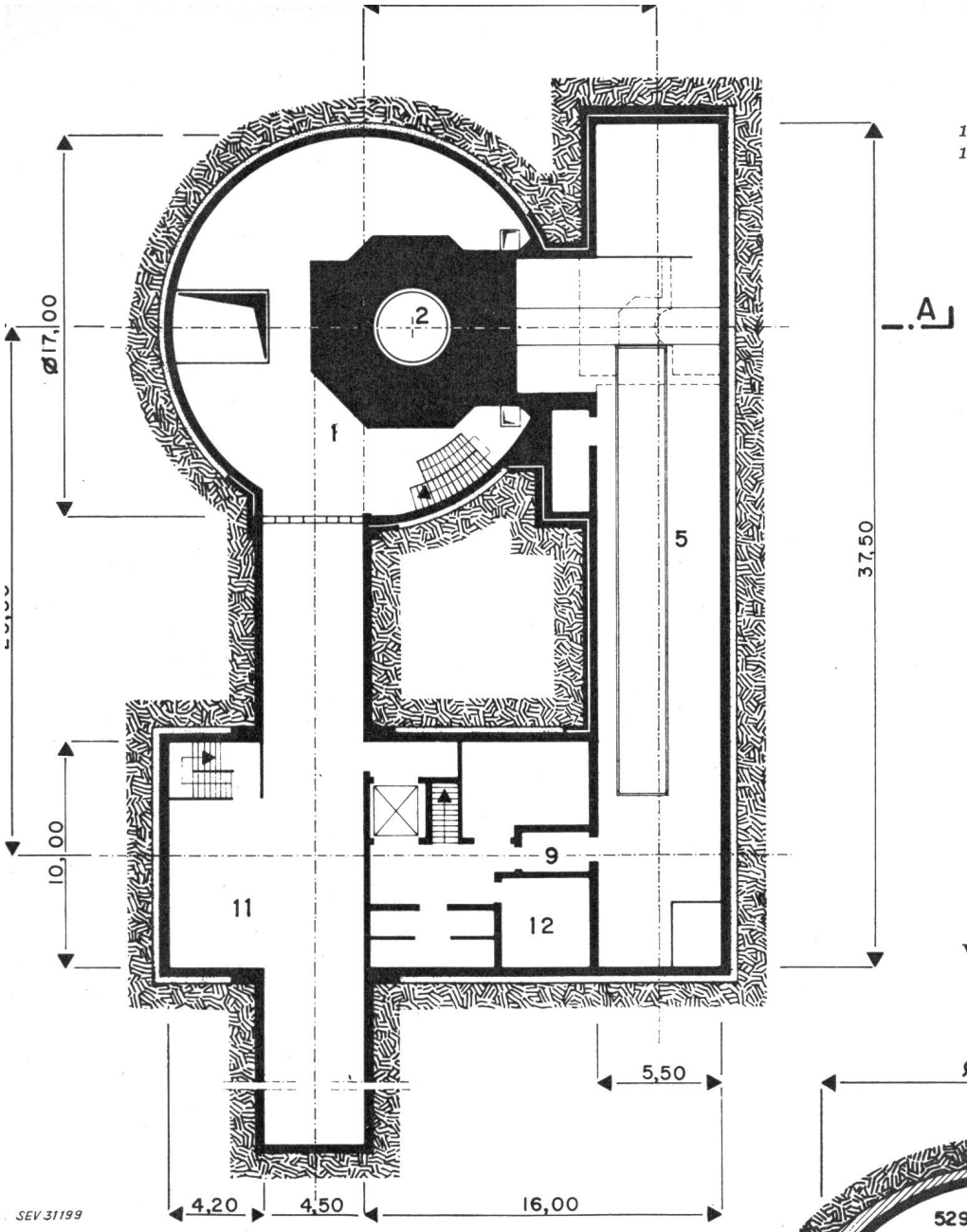
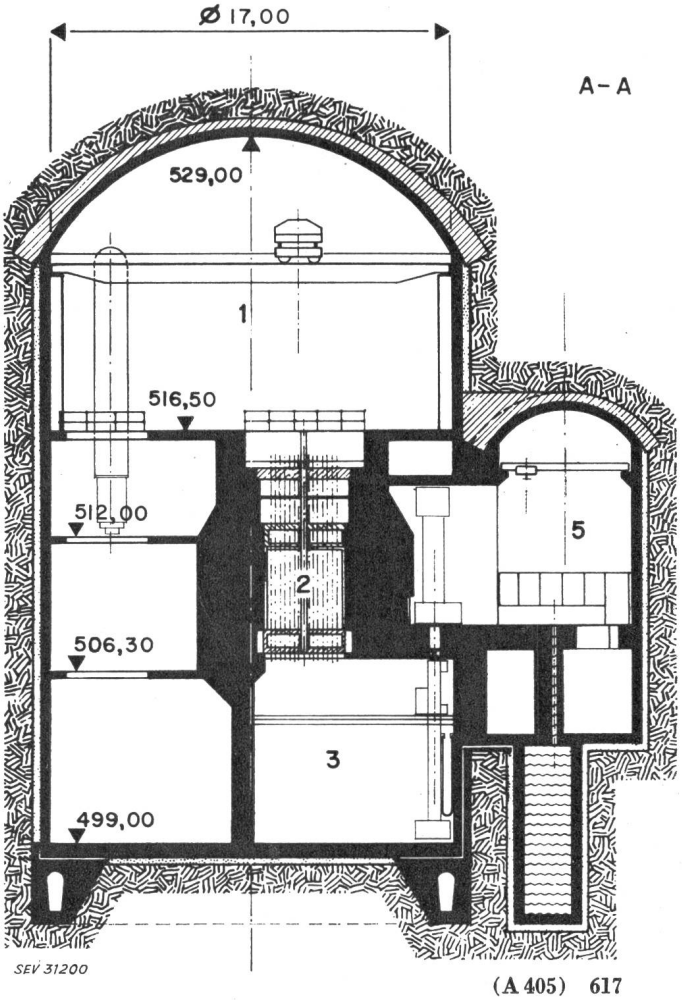


Fig. 5
Kavernengrundriss (Kote 508,30)
11 Räume für elektrische Apparate;
12 Lüftungsanlage für Stablagerkaverne;
Weitere Erklärungen siehe Fig. 4

Fig. 6
Vertikalschnitt durch die Reaktorkaverne
3 Wechselmaschinenraum;
Weitere Erklärungen siehe Fig. 4



zungen zeigen, dass der Preis pro installiertes Kilowatt einer aus Lucens entwickelten Grossanlage durchaus mit demjenigen der meisten bis heute in Erprobung stehenden Anlagetypen vergleichbar ist.

3. Disposition der Anlage

3.1 *Standort*

Das Versuchskraftwerk Lucens liegt rund 2 km von der Ortschaft Lucens entfernt auf dem linken Ufer der Broye. Die Entfernung von Lausanne beträgt ca. 25 km, von Bern ca. 60 km. Eine Eisenbahnlinie und die Kantonsstrasse Lausanne—Bern führen dem Fluss entlang und unmittelbar beim Kraftwerk vorbei (Fig. 1).

Dieser Standort trägt den geographischen, topographischen, hydrologischen, geologischen und meteorologischen Anforderungen bestmöglich Rechnung.

Das Werkgelände umfasst einen 200 m breiten, relativ flachen Landstreifen und einen bewaldeten Hügel, der sich rund 100 m über den Talboden erhebt. Dieser Hügel, in dem der unterirdische Teil der Anlagen untergebracht ist, besteht aus annähernd horizontal geschichtetem Sandstein.

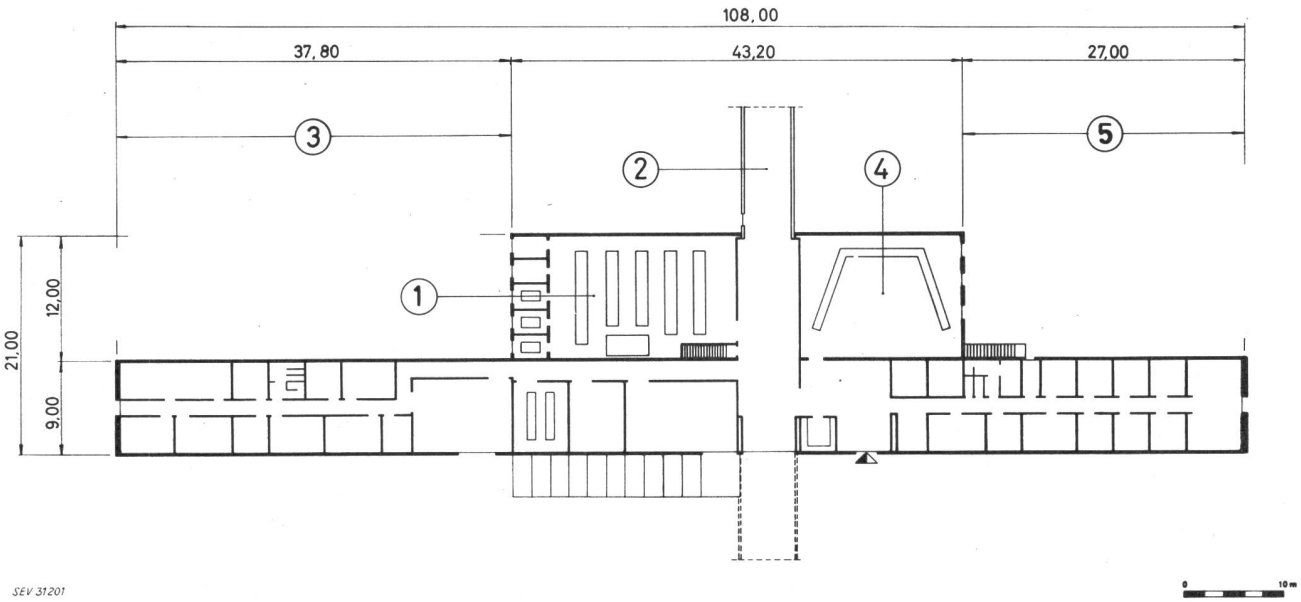


Fig. 7
Plan des Betriebsgebäudes
1 Starkstromanlage; *2* Zugangsstollen; *3* Laboratorium und Werkstätte; *4* Kommandoraum; *5* Bürotrakt

3.2 *Disposition der Anlage* (Fig. 2 und 3)

Der Reaktor, der thermische Teil des Kraftwerkes und ein Teil der Hilfseinrichtungen sind aus technischen Gründen und aus Sicherheitserwägungen in drei Kavernen untergebracht. Alle übrigen Anlageteile liegen ausserhalb des Berges. Das beim Ausbruch der unterirdischen Bauten anfallende Material wird zur Aufschüttung einer Terrasse verwendet, auf der das Betriebsgebäude, die Anlage zur Behandlung radioaktiver Abfälle, der Kühlturm und die Freiluftschaltanlage angeordnet sind.

Das im Kraftwerk benötigte Wasser wird der Broye entnommen. Dazu dienen eine Wasserfassung und ein Pumpenhaus.

Auf dem Hügel befinden sich ein Kamingebäude und ein 50 m hohes Kamin, durch welches die Abluft der Ventilationsanlage weggeführt wird, sowie ein Wasserreservoir von 500 m³ Inhalt.

Alle diese Bauten stehen mit der Kantonsstrasse oder der im Norden vorbeiführenden Zweitklaßstrasse Lucens—Bussy in Verbindung.

3.3 *Unterirdische Anlagen* (Fig. 4...6)

Die unterirdischen Räumlichkeiten sind in drei getrennte Kavernen unterteilt, die Reaktorkaverne, die Maschinenkaverne und die Stablagerkaverne. Diese Disposition sorgt vom betrieblichen und vom sicherheitstechnischen Standpunkt aus für eine klare Aufteilung der unterirdischen Bauten in einen nuklearen und einen konventionellen Teil.

Vom Betriebsgebäude aus erfolgt der Zugang zur Maschinenkaverne durch den oberen Teil eines zweistöckigen Zugangsstollens. Im unteren Teil dieses Stollens sind die zur Verbindung der inneren mit den äusseren Anlagen nötigen Leitungen und Kabel verlegt.

In der Reaktorkaverne untergebracht sind der Reaktor mit dem Primärkreislauf, die beiden Dampferzeuger, die Reaktorhilfskreisläufe und die Vorrichtungen für den Spaltstoffelementwechsel. Ein Stollen mit einer Personalschleuse verbindet die Reaktorkaverne mit der Maschinenkaverne.

Die Maschinenkaverne enthält im südwestlichen Flügel einerseits die thermischen Anlagen, nämlich Turbogenerator, Pumpen, Vorwärmer, und anderseits einen Teil der Ventilationsanlage. In den Räumen des Mitteltrakts befinden sich elektrische Apparate, im nordöstlichen Flügel eine Personalkontrolle, ein Raum für die Dekontamination von Material und Einrichtungen für die Stablager-Wasserreinigung. Der Zugang zum Stablager erfolgt vom untersten Stockwerk dieser Nebenräume aus. Für den Transport der Brennelemente ist eine spezielle Öffnung zwischen Reaktorkaverne und Stablagerkaverne vorgesehen. Schliesslich verbindet ein Abluftschacht die Maschinenkaverne mit dem auf dem Berg gelegenen Kamingebäude.

3.4 *Oberirdische Bauten*

Das Betriebsgebäude (Fig. 7) liegt auf der Aufschüttungsterrasse vor dem Eingang des Zugangsstol-

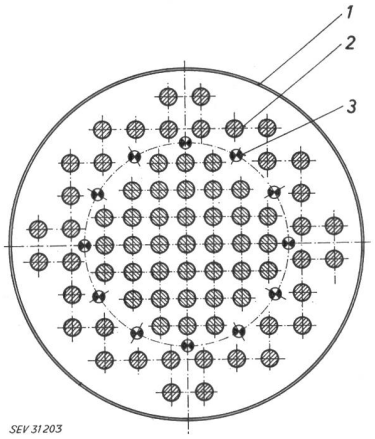
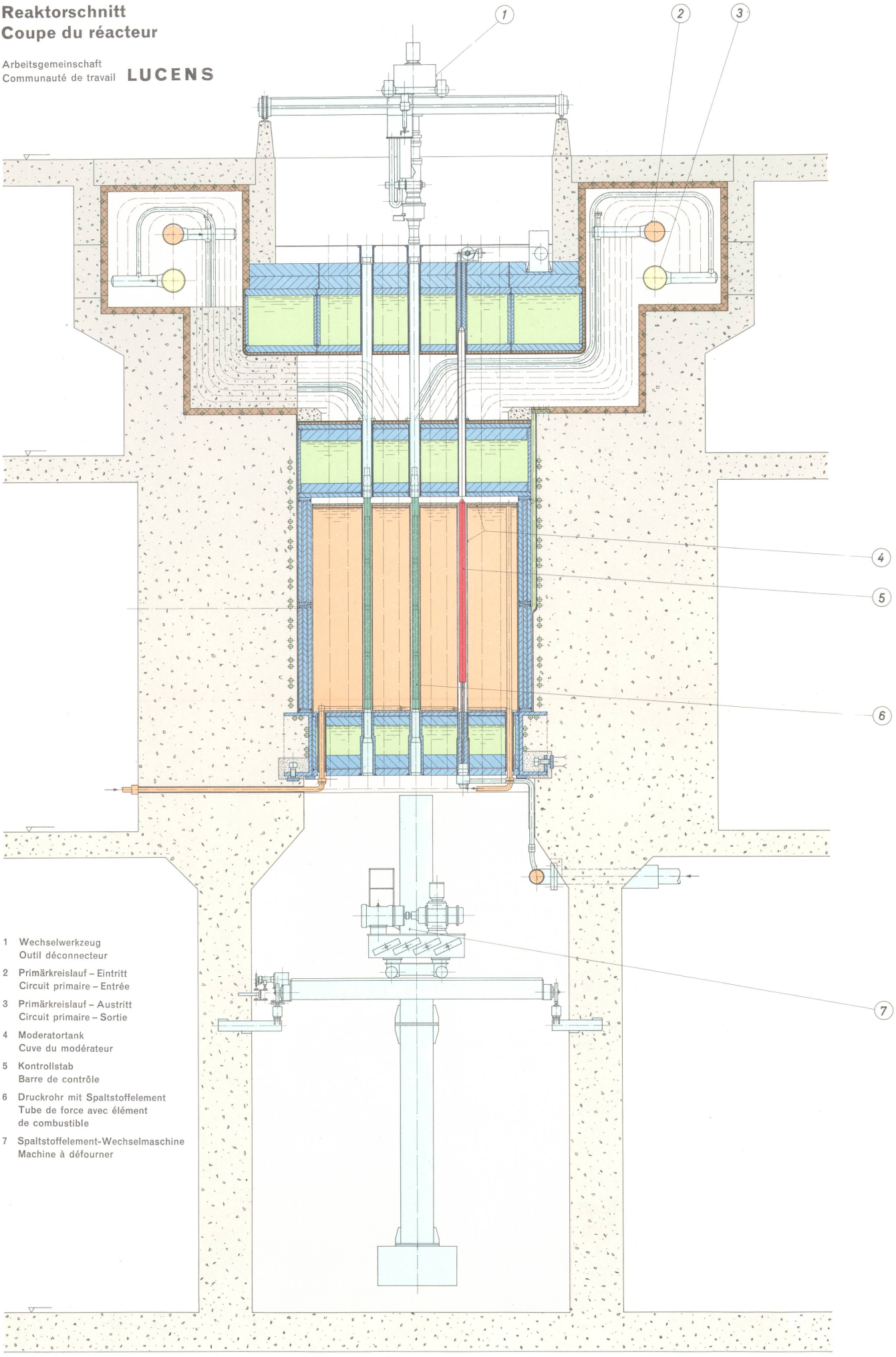


Fig. 9
Gitterschema
1 Moderatortank; *2* Spaltstoffelement; *3* Kontrollstab

Reaktorschnitt
Coupe du réacteur

Arbeitsgemeinschaft
Communauté de travail **LUCENS**



1 Wechselwerkzeug
Outil déconnecteur

2 Primärkreislauf – Eintritt
Circuit primaire – Entrée

3 Primärkreislauf – Austritt
Circuit primaire – Sortie

4 Moderatortank
Cuve du modérateur

5 Kontrollstab
Barre de contrôle

6 Druckrohr mit Spaltstoffelement
Tube de force avec élément de combustible

7 Spaltstoffelement-Wechselmaschine
Machine à défourner

Fig. 8

4.2 *Druckrohre und Spaltstoffelemente* (Fig. 10)

Eines der kennzeichnendsten Merkmale des Reaktors Lucens sind seine demontierbaren Druckrohre. Sie bilden, zusammen mit dem Spaltstoffelement, das sie enthalten, eine Einheit, die gemeinsam ausgewechselt werden kann. Auf diese Weise wird eine grosse Anpassungsfähigkeit des Reaktors erzielt, da es dadurch möglich ist, Elemente verschiedener Bauart, wenn nötig sogar gleichzeitig, einsetzen zu können.

Die Druckrohre nehmen den Druck des Kühlmittels — ca. 60 kg/cm² — auf. Sie werden vom «kalten» CO_2 durchspült, das bei einer Nenntemperatur von 220 °C in das Element eintritt. Das einzige Material, das unter diesen Bedingungen eine genügende mechanische Festigkeit besitzt, korrosionsbeständig ist und eine kleine Neutronenabsorption aufweist, ist Zircaloy-2 (eine Zirkon-Legierung). Die Druckrohre sind unten geschlossen, so dass das Kühlmittel der Aussenwand entlang nach unten und im Innern der darin befindlichen eigentlichen Spaltstoffelemente nach oben strömt. Beim Übergang auf den Anschlusskopf strömt das Kühlmittel durch zwei konzentrische Kanäle. Auf diese Weise wird nur die äussere Dichtung durch den gesamten Druck beansprucht. Ein federndes System sorgt für einen gleichmässigen und gleichbleibenden Auflagedruck und sichert die Dichtheit dieser Verbindung. Die innere Dichtung wird nur durch die kleine Druckdifferenz zwischen Ein- und Austritt beansprucht. Die Anforderungen, die an diese Dichtung gestellt werden, sind daher nicht sehr streng. Sie besteht aus zwei Führungen mit geringem Spiel und einem dazwischen liegenden ringförmigen Raum, der gleichzeitig als Labyrinth und als Wärmeisolation dient.

Das eigentliche Spaltstoffelement besteht aus einem Graphitträger, der in das Druckrohr eingeführt und an dessen Boden mit Hilfe eines Bajonettverschlusses befestigt wird. Dieser Graphitträger weist sieben Bohrungen auf, in denen sich je ein Uranstab (Spaltstoffstab) befindet. Somit dient der Graphitträger sowohl zur Führung des Kühlmittels als auch zur Halterung für die Spaltstoffstäbe.

Jeder Spaltstoffstab besteht aus vier ineinander verschraubten Segmenten und weist eine Gesamtlänge von 2,765 m auf. Er ist an seinem untern Ende am Graphitträger befestigt und kann sich somit nach oben in seinem Kanal frei ausdehnen.

Die Spaltstoffsegmente sind zylinderförmig. Sie bestehen aus leicht legiertem Uran und weisen einen Durchmesser von 17 mm und eine Länge von 650 mm auf. Ihre gasdichte Umhüllung (Dicke 1,75 mm) besteht aus einer Magnesium-Legierung und trägt eine Anzahl von Rippen, die den Wärmeübergang verbessern.

4.3 *Die Kontrollstäbe*

Die Kontrollstäbe bestehen aus zwei konzentrischen Rohren, deren Zwischenraum mit einer Neutronen absorbierenden Kadmium-Silber-Legierung ausgefüllt ist. Sie werden innen und aussen durch einen CO_2-Strom gekühlt.

Mit Hilfe von Drahtseilen werden die Kontrollstäbe durch die auf dem oberen Boden befindlichen Antriebe, Führungen entlang bewegt. Ihre Bewegung ist durch Endschalter begrenzt. Sie besitzen ferner einen Anzeiger für die Überwachung des Seilzuges, Stossdämpfer usw. Die Demontage erfolgt mit Hilfe der Spaltstoff-Wechselmaschine.

4.4 *Reaktorphysik*

Der Reaktor von Lucens ist gedacht als Erstausführung für eine künftige Reihe von mit Natururan betriebenen und mit schwerem Wasser moderierten Druckrohrreaktoren. Er soll es gestatten, Ausrüstungen und Spaltstoffelemente unter Betriebsbedingungen zu prüfen. Es wurde daher kein besonderer Wert auf die Optimalisierung der Reaktorphysik gelegt, sondern lediglich versucht, in einem Reaktor von beschränkten Abmessungen und verhältnismässig niedrigem Preis Betriebsbedingungen zu schaffen, die denjenigen eines Reaktors grosser Leistung mit Natururan entsprechen.

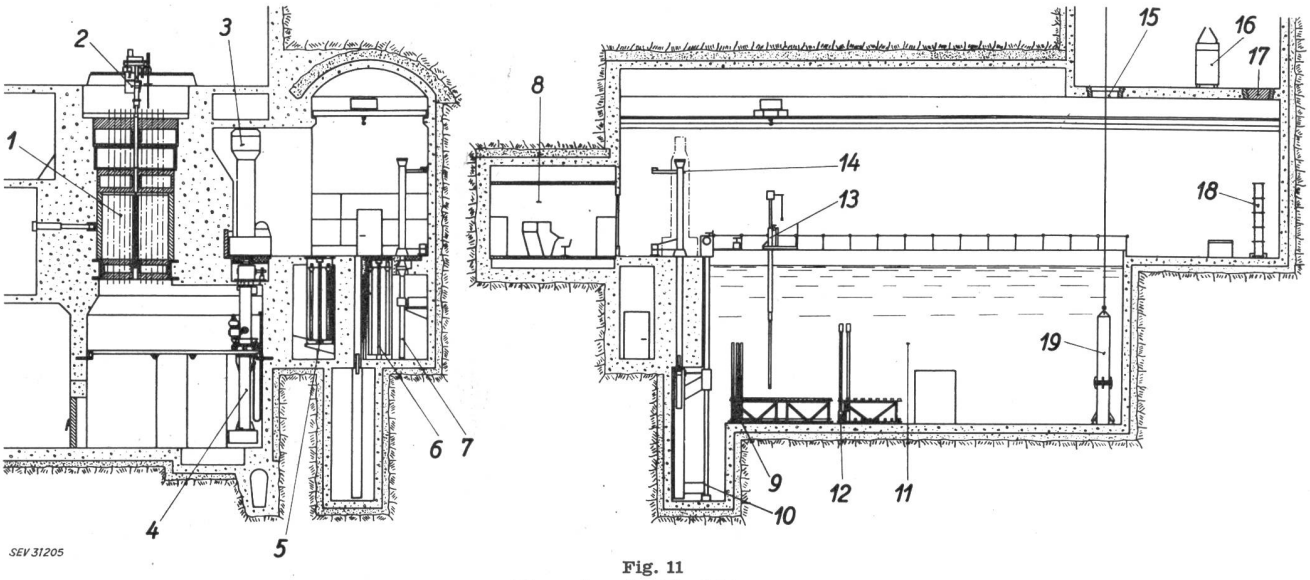


Fig. 11
Elementwechseleinrichtungen

1 Reaktor; *2* Wechselwerkzeug; *3* Transferflasche; *4* Element-Wechselmaschine; *5* Karussell für neue Spaltstoffelemente; *6* Karussell für Reservedruckrohre; *7* Druckrohr-Entleervorrichtung; *8* Kommandoraum für Stabwechsel; *9* ausgebrannte Spaltstoffelemente; *10* Schwenkarm mit Lift; *11* Stablagerbassin; *12* defekte Spaltstoffelemente; *13* Bassinrollbrücke; *14* Austrocknungsvorrichtung für Druckrohre; *15* Luke für Transportflasche der ausgebrannten Spaltstoffelemente; *16* Transportflasche für neue Spaltstoffsegmente; *17* Luke für neue Spaltstoffsegmente; *18* Element-Montagevorrichtung

Es war daher nötig, eine relativ hohe Leistungsdichte zu erzielen. In der vorliegenden Erstausführung, mit einer thermischen Leistung von nur 30 MW, führt dies zu kleinen Dimensionen des Reaktorkerns, wobei die Neutronenverluste verhältnismässig hoch sind (ca. 13 % $\Delta k/k$). Dazu ist ein ziemlich hoher Multiplikationsfaktor k_∞ nötig, der nur durch Verwendung von leicht angereichertem Spaltstoff erzielt werden kann.

Eine Reihe von Untersuchungen der in Frage kommenden Parameter hat ergeben, dass ein aus einem Bündel von sieben Stäben bestehendes Spaltstoffelement bei einer maximalen Leistungsdichte im Reaktorkern von etwa 6 MW/m³ und bei den gegebenen thermischen Bedingungen des Primärkreislaufes den günstigsten Neutronenhaushalt ergibt.

Um die mittlere Leistungsdichte weiter zu erhöhen, wurde angestrebt, eine radiale Abflachung des Neutronenflusses zu erzielen, indem der Reaktorkern in zwei Zonen von verschiedenen Gitterabständen aufgeteilt wurde.

Der kleinste Aufwand an Uran und schwerem Wasser wurde für einen Gitterabstand von 24 cm in der mittleren Zone und 29 cm in der äusseren Zone gefunden. Das Verhältnis des Durchmessers der inneren Zone zum Aussendurchmesser des Kernes beträgt ca. 0,6.

Die schliesslich gewählte Gitteranordnung ist aus Fig. 9 ersichtlich. Sie besteht aus einem ringförmigen Reflektor zwischen den beiden Zonen, in welchem die Kontrollstäbe angeordnet sind, und einem äusseren Reflektor.

Nachdem der Reaktorkern auf diese Weise festgelegt worden ist, gestatten es die Neutronenberechnungen, seine konstruktiven Einzelheiten zu bestimmen. Das definitive Mass der Anreicherung soll jedoch erst festgelegt werden, wenn die Resultate des noch im Gang befindlichen Versuchsprogramms vorliegen. Eines der Hauptprobleme ergibt sich aus dem Vorhandensein der Kühlkanäle und der Abstände zwischen den Druckrohren und den Rohren des Moderatortanks, denn diese verhalten sich in bezug auf die Neutronen wie leere Stellen. Daraus ergibt sich, dass die Diffusionskoeffizienten im Gitter merklich höher sind als diejenigen des Moderators. Da zudem diese leeren Stellen alle in derselben Richtung verlaufen, wird die Diffusion der Neutronen anisotrop sein, und die Diffusionskoeffizienten im Gitter weisen eine axiale und eine radiale Komponente auf. Schliesslich wird auch die Wahrscheinlichkeit der Neutronenverluste durch direktes Austreten aus den Enden der Kanäle erhöht.

Die gegenüber dem Reaktorkern relativ grossen Abmessungen des Spaltstoffelementes machen eine Beurteilung der Berechnungsgenauigkeit der Zwei-Gruppen-Theorie schwierig.

Eine Reihe von Untersuchungen und Versuchen soll es erlauben, diese Fragen abzuklären. Es handelt sich dabei speziell um unterkritische Versuche in der Anlage des Eidgenössischen Institutes für Reaktorforschung in Würenlingen sowie kritische Versuche, die voraussichtlich im Ausland durchgeführt werden müssen.

Die bisher ausgeführten Berechnungen beruhen auf folgenden Annahmen:

Spaltstoff: Uran-Legierung mit 1 % Mo
Dichte 18,5 g/cm³
Anreicherung 0,93 % U_{235}

Moderator: Isotopische Reinheit 99,75 %
Temperatur 50 °C

Maximale spezifische Leistung:
12 MW/t Uran

Mittlerer Abbrand:
3000 MW Tag/t Uran

Für einen kalten und nicht verseuchten Reaktorkern erhält man folgende Werte:

		Innere Zone	Äussere Zone
Gitterabstand		24 cm	29 cm
Räumliches Verhältnis Moderator zu Uran		24,5	42
Zahl der pro absorbiertes Neutron im Spaltstoff freiwerdenden Neutronen	η	1,4588	1,4588
Schnellspaltfaktor	ε	1,0142	1,0142
Resonanz-Entkomm-Wahrscheinlichkeit	p	0,8725	0,9187
Thermischer Ausnützungsfaktor	f	0,9227	0,9164
Multiplikationsfaktor	k_∞	1,1911	1,2456

Nach der Zwei-Gruppen-Theorie ergibt die Berechnung der Reaktivität $k_{eff} = 1{,}074$.

Die Reaktivitätsbilanz stellt sich im übrigen folgendermassen:

	% $\Delta k/k$
Temperatur	0,5
Vergiftung durch Xe und Sm	2,8
Doppler-Effekt	0,9
Abbrand des Spaltstoffes und Regulierungsmarge	3,4
	7,6

Eine kleine Korrektur der Anreicherung wird sich als nötig erweisen, um die Reaktivität diesem Wert anzupassen.

4.5 *Abschirmungen*

Um das Personal und strahlungsempfindliche Apparate und Materialien zu schützen sowie die Aktivierung wichtiger Elemente, die auswechselbar bleiben müssen, zu begrenzen, muss der Reaktor durch ein System von Abschirmungen gegen Neutronen und Gammastrahlen umgeben werden. Diese Abschirmungen bestehen aus verschiedenen Elementen, in denen Eisen, Wasser und Beton die vom Reaktor ausgesandten Strahlen dämpfen oder absorbieren. Sie werden so berechnet, dass die Strahlungsintensität während des Betriebes 25 mrem/h [1]) und unter 2,5 mrem/h einen Tag nach dem Abstellen des Reaktors ergibt.

4.6 *Spaltstoff-Wechseleinrichtungen* (Fig. 11)

Die Spaltstoff-Wechseleinrichtungen dienen zum Transport der Spaltstoffelemente, der Druckrohre und der Kontrollstäbe vom Spaltstofflager zum Reaktor und zurück. Die Einrichtungen müssen zahlreichen Anforderungen genügen, insbesondere beim Entladen der bestrahlten Elemente.

Aus Sicherheitsgründen (siehe Abschnitt 8) muss die Gasdichtheit zwischen der Reaktorkaverne und dem Spaltstofflager jederzeit sichergestellt sein.

Die bestrahlten Spaltstoffelemente sind stark radioaktiv. Es sind daher Abschirmungen und Fernsteuerungen nötig, um den Schutz des Personals zu gewährleisten. Zudem strahlen diese Elemente eine bestimmte Restwärme ab, so dass es nicht zulässig ist, sie über eine gewisse Zeit hinaus ohne besondere Kühlung zu lassen. Schliesslich muss damit gerechnet werden, dass die Elemente bei einer Beschädigung der Umhüllung radioaktive Gase austreten lassen. Es muss daher mög-

[1]) rem = Masseinheit für die biologische Wirkung einer ionisierenden Strahlung.

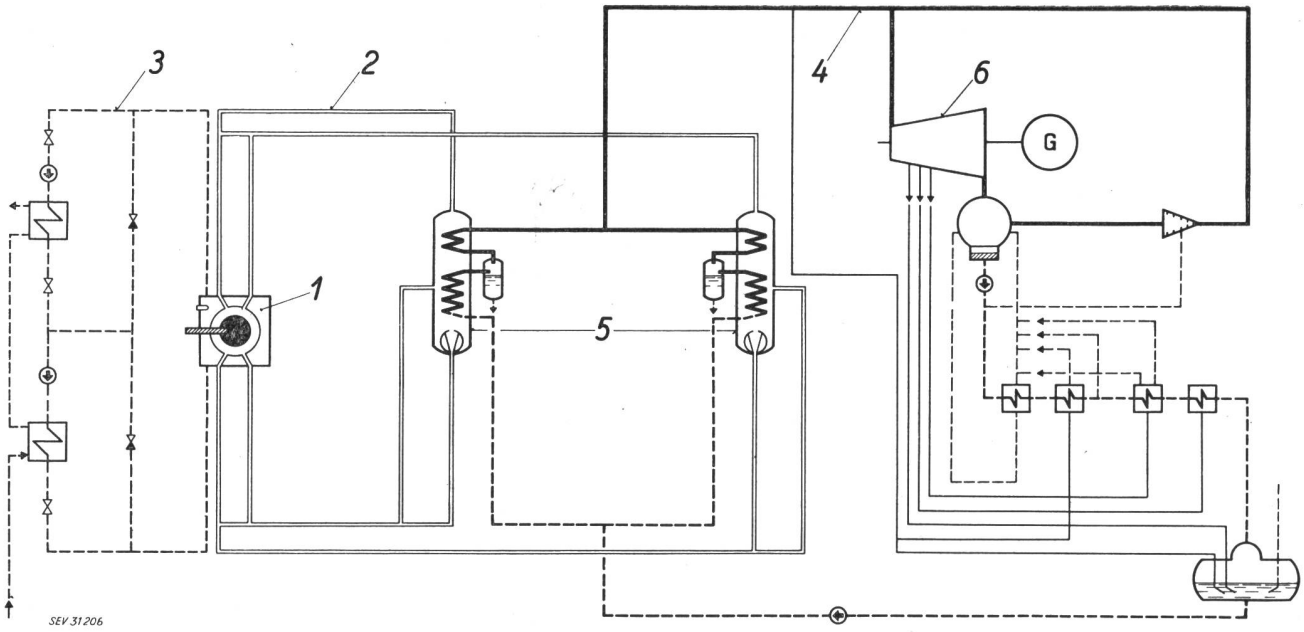


Fig. 12
Thermische Kreisläufe
1 Reaktor; *2* Primärkreislauf (CO_2); *3* Moderatorkreislauf (D_2O); *4* Sekundärkreislauf (H_2O); *5* Dampferzeuger; *6* Turbine

lich sein, das Druckrohr gasdicht abzuschliessen, bevor es in das Stablager übergeführt wird.

Es wird nicht nötig sein, die Spaltstoffladung des Reaktors von Lucens oft auszuwechseln. Das Auswechseln der Elemente während des Betriebes braucht deshalb nicht vorgesehen zu werden.

Vor dem Entladen muss der Druck im Kühlkreislauf des Reaktors auf atmosphärischen Druck gesenkt werden. Dieses Absenken ist erst mehrere Stunden nach dem Abstellen des Reaktors möglich, wenn das Abstrahlen der Restwärme soweit abgeklungen ist, dass die reduzierte Gebläseleistung für die Kühlung des Reaktors genügt.

Das Entladen geht so vor sich, dass das Wechselwerkzeug auf dem oberen Boden und die Wechselmaschine unter dem Reaktor in die dem auszuwechselnden Element entsprechende Stellung gebracht werden. Die Hebeeinrichtung der Wechselmaschine ergreift das untere Ende des Druckrohres. Es ist jetzt mit Hilfe des Wechselwerkzeuges möglich, den Anschlusskopf, an dem das Druckrohr aufgehängt ist, zu lösen. Die Hebeeinrichtungen der Wechselmaschine zieht das Druckrohr und das darin enthaltene Spaltstoffelement nach unten heraus, während das Wechselwerkzeug gleichzeitig einen entsprechenden Deckel am Anschlusskopf befestigt, der den Kühlkreislauf des Reaktors schliesst. Die Wechselmaschine bewegt sich nun zur Transfer-Öffnung, die normalerweise durch einen Schieber verschlossen ist, so dass zwischen dem Wechselmaschinenraum und der Stablagerkaverne ein gasdichter Abschluss besteht.

Die Wechselmaschine ist nicht abgeschirmt; daher kann der sie enthaltende Raum nicht betreten werden, solange sie ein bestrahltes Element enthält. Die Maschine wird deshalb von einem in der Stablagerkaverne befindlichen Pult aus ferngesteuert.

In der Stablagerkaverne befindet sich eine Transferflasche, die mit einer starken Blei-Abschirmung versehen ist. Sobald die Transferflasche auf den Transferschieber aufgesetzt wird, kann dieser geöffnet werden. Die Hebeeinrichtung der Transferflasche erfasst nun mit Hilfe eines Greifers das Druckrohr und zieht es in die Flasche hinauf. Darauf wird die Transferflasche über das Stablagerbassin gefahren, und das Druckrohr mit dem Spaltstoffelement kann in das Bassin gesenkt werden.

Im Wechselmaschinenraum befinden sich zwei weitere Einrichtungen, die vom Stablager aus gesteuert werden können. Die erste ermöglicht es, das Druckrohr eines defekten Elementes abzuschliessen und unter CO_2-Druck zu setzen, damit ein genügender Wärmeübergang vom Element auf das Druckrohr gesichert ist. Die andere Einrichtung erlaubt es, nötigenfalls das Element zu entriegeln, um es allein in die Transferflasche aufzuziehen, während das Druckrohr in der Wechselmaschine verbleibt, um ein neues Element aufnehmen zu können. Diese Anordnung gestattet es, das Auswechseln der Elemente stark zu vereinfachen. Ein solches Vorgehen ist dann angezeigt, wenn es nicht notwendig erscheint, das Druckrohr in den Stablagerraum zu bringen.

Im Stablagerbassin befinden sich Gestelle und verschiedene Manipuliereinrichtungen, die auf Sicht betätigt werden können. Über dem Bassin sind die Karussells für neue Spaltstoffeinsätze und neue Reserve-Druckrohre sowie eine Austrocknungseinrichtung für die Druckrohre angeordnet.

Das Bassin ist mit einer wasserdichten Auskleidung und einem System zur Kühlung und Aufbereitung des Wassers versehen.

Zahlreiche Verriegelungen in der Steuerung der verschiedenen Anlageteile verhindern deren fehlerhafte Bedienung.

5. Thermische Anlagen
(Fig. 12)

Die thermischen Anlagen des Kraftwerkes können in zwei Kategorien eingeteilt werden, einerseits die Hauptkreisläufe, die der Erzeugung der Nutzenergie dienen, anderseits Hilfseinrichtungen, die verschiedene Kühlfunktionen ausüben und deren Wärme verlorengeht.

Zur ersten Kategorie gehören der Primär-, der Sekundär- und der Tertiärkreislauf. Der Primärkreis-

lauf kühlt den Reaktor und überträgt die von diesem erzeugte Wärme an die Dampferzeuger, wo sie an den Sekundärkreislauf weitergeleitet wird. Ein Teil der Energie wird von diesem an die Turbine abgegeben. Der Rest tritt im Kondensator in den Tertiärkreislauf über und geht verloren.

Das wichtigste Hilfssystem ist dasjenige des Moderators, welches das schwere Wasser kühlt und aufbereitet. Eine Reihe weiterer Einrichtungen dient zur Kühlung der Abschirmungen der Kontrollstäbe, des Stablagerbassins usw. Diese Hilfskreisläufe geben ihre Wärme über einen Zwischenkreislauf an den Tertiärkreislauf ab. Eine Notkühlvorrichtung gestattet schliesslich, bei vollständigem Unterbruch der verschiedenen elektrischen Speisungen die Restwärme des Reaktors abzuführen.

5.1 *Der Primärkreislauf*

Das Kühlmittel des Primärkreislaufes ist Kohlendioxyd (CO_2) mit einem mittleren Druck von 60 kg/cm² und einer Höchsttemperatur von ungefähr 385 °C. Die Begrenzung der Temperatur ist gegeben durch die Eigenschaften der metallischen Uranstäbe, doch ist der Primärkreislauf für eine zulässige Höchsttemperatur von 520 °C ausgebaut, so dass es in einem späteren Zeitpunkt möglich sein wird, Elemente einzusetzen, die eine höhere Betriebstemperatur zulassen.

Der Primärkreislauf umfasst zwei Schleifen, die in Serie zueinander geschaltet sind. Das aus der einen Hälfte des Reaktors herkommende Gas durchläuft einen der Dampferzeuger, dann die andere Hälfte des Reaktors und den zweiten Dampferzeuger. Die beiden Gebläse sind unmittelbar am kühleren Ende der Dampferzeuger angebracht. Mit Hilfe von nach den Gebläsen eingeschalteten Drosselklappen kann die Menge des Kühlmittels eingestellt und bei Störung eine Einheit (Dampferzeuger und Gebläse) ausser Betrieb gesetzt werden. Querverbindungen erlauben die weitere Kühlung des gesamten Reaktors durch eine einzige Einheit, doch ist dabei die Leistung des Reaktors herabzusetzen.

Der Primärkreislauf ist vollständig verschweisst mit Ausnahme der Gebläse, die an die Dampferzeuger angeflanscht sind. Die Hilfsanschlüsse weisen einen möglichst kleinen Querschnitt auf, um die Gefahr eines raschen Druckabfalles zu begrenzen. Die Steuerorgane sind mit Leckage-Absaugeeinrichtungen und -anzeigern versehen. Der Antrieb der Gebläse erfolgt durch Asynchron-Motoren mit einer Drehzahl von 3000 U./min, die am 6-kV-Netz angeschlossen sind. Bei Ausbleiben der Spannung am 6-kV-Netz kann der Motor mittels Hilfswicklungen aus dem 380-kV-Netz unter 750 U./min betrieben werden, wodurch die Kühlung sichergestellt ist. Die Dampferzeuger befinden sich über dem Reaktor, so dass auch im unwahrscheinlichen Falle eines vollständigen Unterbruchs der elektrischen Speisung sich ein natürlicher Umlauf einstellen würde. Dieser genügt, um die Restwärme des Reaktors an den Notkühlkreislauf zu übertragen.

Die Dampferzeuger (Fig. 13) arbeiten mit Zwangsumlauf. Ein Zentrifugal-Wasserabscheider ist zwischen dem Verdampfer und dem Überhitzer eingeschaltet. Das Medium des Sekundärkreislaufes (Wasser und Dampf) strömt von unten nach oben in glatten, schraubenförmigen Rohren. Das CO_2 fliesst im Gegenstrom von oben nach unten. Der Mantel des Dampferzeugers

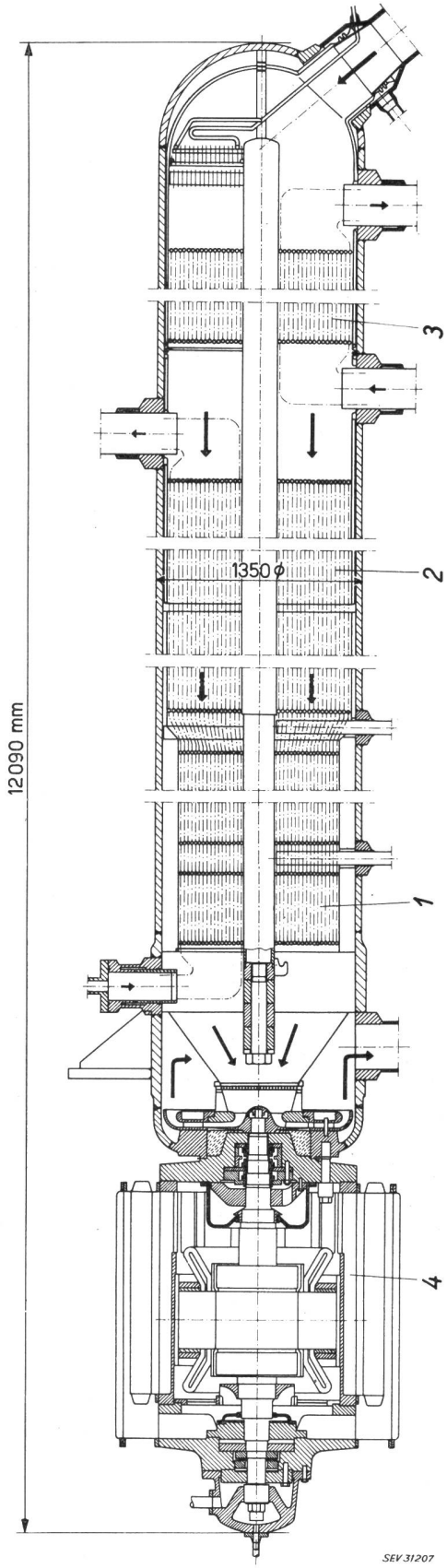


Fig. 13
Dampferzeuger und Gebläse
1 Vorwärmer; *2* Verdampfer; *3* Überhitzer; *4* Gebläse und Gebläsemotor

besitzt eine Doppelwand mit einer Zwischenkühlung durch CO_2 im Nebenschluss.

Die einstufigen Radialgebläse weisen eine mechanische Zweikammerdichtung auf; als Sperrflüssigkeit dient Wasser.

5.2 *CO_2-Hilfseinrichtungen*

Die CO_2-Hilfseinrichtungen gestatten die Lagerung und das Trocknen von Frischgas, die Aufbereitung des Kühlmittels des Primärkreislaufes, und sie umfassen Lagermöglichkeiten für den Inhalt des Primärkreislaufes, wenn dessen Druck herabgesetzt werden muss.

Das Frischgas wird dem Kraftwerk in flüssiger Form bei 15 kg/cm² und —30 °C angeliefert. Die Zwischenlagerung erfolgt bei 65 kg/cm² und 25 °C in einem Behälter, der mit dem Primärkreislauf über eine Trocknungsbatterie verbunden ist. Der Zustrom wird automatisch durch den Druck im Primärkreislauf eingestellt.

Die Gasaufbereitungsapparatur des Primärkreislaufes ist im Nebenschluss geschaltet. Das aus den mechanischen Dichtungen der Gebläse austretende Gas wird auf der Ansaugseite der Gebläse wieder eingeführt. Der Kreislauf umfasst einen Staubabscheider, ein Feinfilter und eine Trocknungsbatterie. Alle diese Elemente sind in zweifacher Ausführung vorhanden und lösen sich während des Betriebes gegenseitig ab.

Ein Kompressor- und Reservoirsystem gestattet es, das Gas des Primärkreislaufes einzulagern.

5.3 *Der Sekundärkreislauf*

Der Frischdampf weist eine Temperatur von 370 °C und einen absoluten Druck von 21,5 kg/cm² auf, doch ist der Sekundärkreislauf für 500 °C und 60 kg/cm² ausgelegt, damit in einem späteren Zeitpunkt Spaltstoffelemente, die eine höhere Betriebstemperatur zulassen, verwendet werden können. Um die Kosten der Anlage niedrig zu halten, wurde ein sehr einfacher Wärmezyklus in Aussicht genommen, was jedoch den thermodynamischen Wirkungsgrad herabsetzt. Selbstverständlich würde sich eine Anlage grösserer Leistung in dieser Hinsicht bedeutend günstiger gestalten.

Bei der Turbine handelt es sich um eine Aktions-Turbine klassischer Bauart. Sie erzeugt 8,55 MW bei 3000 U./min. Sie besitzt Spezialdichtungen, die keine Leckage aufweisen.

Wenn der Reaktor in einem späteren Zeitpunkt mit Wasserdampf gekühlt werden sollte, wäre es möglich, den Dampf des Primärkreislaufes direkt in der Turbine zu verwenden.

Der Dampf wird in der Turbine entspannt und gelangt zum Kondensator. Das Kondensat durchläuft zwei Niederdruck-Vorwärmer und tritt in das Speisewassergefäss, das als dritter Vorwärmer dient. Zwei der vorhandenen drei Speisepumpen leiten es an den Dampferzeuger weiter.

Bei Rohrbruch im Dampferzeuger tritt das CO_2, das sich im Primärkreislauf unter 60 kg/cm² befindet, in den Sekundärkreislauf über. Da der Dampfstrahlejektor für diesen Fall nicht bemessen ist, erfolgt ein automatischer Schnellschluss auf der Sekundärseite des Dampferzeugers. Ausserdem löst ein Druckanstieg im Kondensator die Schliessung des Turbinenschnellschlussventils und des Dampfabgabeventils der Dampferzeuger aus.

Aus Gründen der Sicherheit führen alle Sicherheitsventile des Sekundärkreislaufes in ein Abblasegefäss. Auf diese Weise kann weder Dampf, noch Gas des Primärkreislaufes in die Maschinenkaverne austreten.

5.4 *Der Tertiärkreislauf*

Der Tertiärkreislauf sichert die Kühlung des Kondensators und der Hilfskreisläufe. Bei voller Last hat er ungefähr 23 000 kW abzuführen. Er ist als halboffener Kreislauf ausgelegt und umfasst einen Kühlturm mit zwei oder drei Zellen.

Die durch den Kühlturm laufende Wassermenge beträgt ungefähr 800 Lit./s, die laufend durch Zugabe von etwa 100 Lit./s aus der Broye erneuert wird, um eine Zunahme der Konzentration von gelösten Salzen zu vermeiden. Diese Anordnung besitzt den Vorteil, dass eine chemische Vorbehandlung des der Broye entnommenen Wassers überflüssig wird. Bei einem kurzzeitigen Betriebsunterbruch in der Pumpstation kann der Tertiärkreislauf ungefähr eine Stunde lang mit dem Inhalt des oberen Reservoirs gespiesen werden.

5.5 *Der Moderatorkreislauf*

Die an diesen Kreislauf gestellten Anforderungen sind sehr streng. Das schwere Wasser muss gekühlt und aufbereitet werden. In Anbetracht seines hohen Preises müssen seine Gesamtmenge und seine Verluste möglichst niedrig gehalten werden. Anderseits muss aus reaktorphysikalischen Erwägungen ein genügender Reinheitsgrad eingehalten werden, und schliesslich darf im Moderatortank keine Korrosion auftreten.

Vom Reaktor gelangt das schwere Wasser zu zwei hintereinander geschalteten Kühleinheiten, die je eine Pumpe und einen Wärmeaustauscher umfassen, und kehrt wieder zum Reaktor zurück. Sekundärseitig werden die Wärmeaustauscher durch den Zwischenkreislauf gekühlt. Die Maximaltemperatur des schweren Wassers kann am Austritt des Reaktors 80 °C betragen. Sie wird durch die Regulierung der Kühlwassermenge auf der Sekundärseite der Wärmeaustauscher eingehalten. Jede der Pumpen- und Wärmeaustauschergruppen kann für sich abgeschaltet werden, während die zweite Gruppe den Betrieb mit Hilfe von mit automatischen Ventilen ausgerüsteten Nebenschlussleitungen allein aufrechterhält. Bei einer Störung der zweiten Gruppe muss der Reaktor abgestellt werden. Die Speisepumpe sichert in diesem Falle einen genügenden Umlauf, um ein Verdampfen des Moderators infolge der Restwärme auszuschalten.

Ein Expansionsgefäss im Nebenschlusskreis sichert eine kontinuierliche Entgasung durch einen Durchlauf in einer Helium-Atmosphäre. Die durch die Bestrahlung entstehenden Zersetzungsgase des schweren Wassers werden in einem Katalysator wieder verbunden.

Eine Aktivitätsüberwachung am Zwischenkreislauf gestattet es, Leckagen in den Wärmeaustauschern festzustellen. Wenn es nötig sein sollte, den Kreislauf zu leeren, beispielsweise, um daran Reparaturen ausführen zu können, kann der Moderator in ein Reservoir abgelassen werden.

Da der Moderator radioaktiv wird, ist der Kreislauf in einem Raum angeordnet, der durch Abschirmungen geschützt ist. Die hauptsächlichsten Ventile des Kreislaufes sind ferngesteuert, und die Motoren befinden sich ausserhalb der Abschirmungen. Die Dichtungen dieser Ventile sind mit einer Leckageüberwachung gesichert.

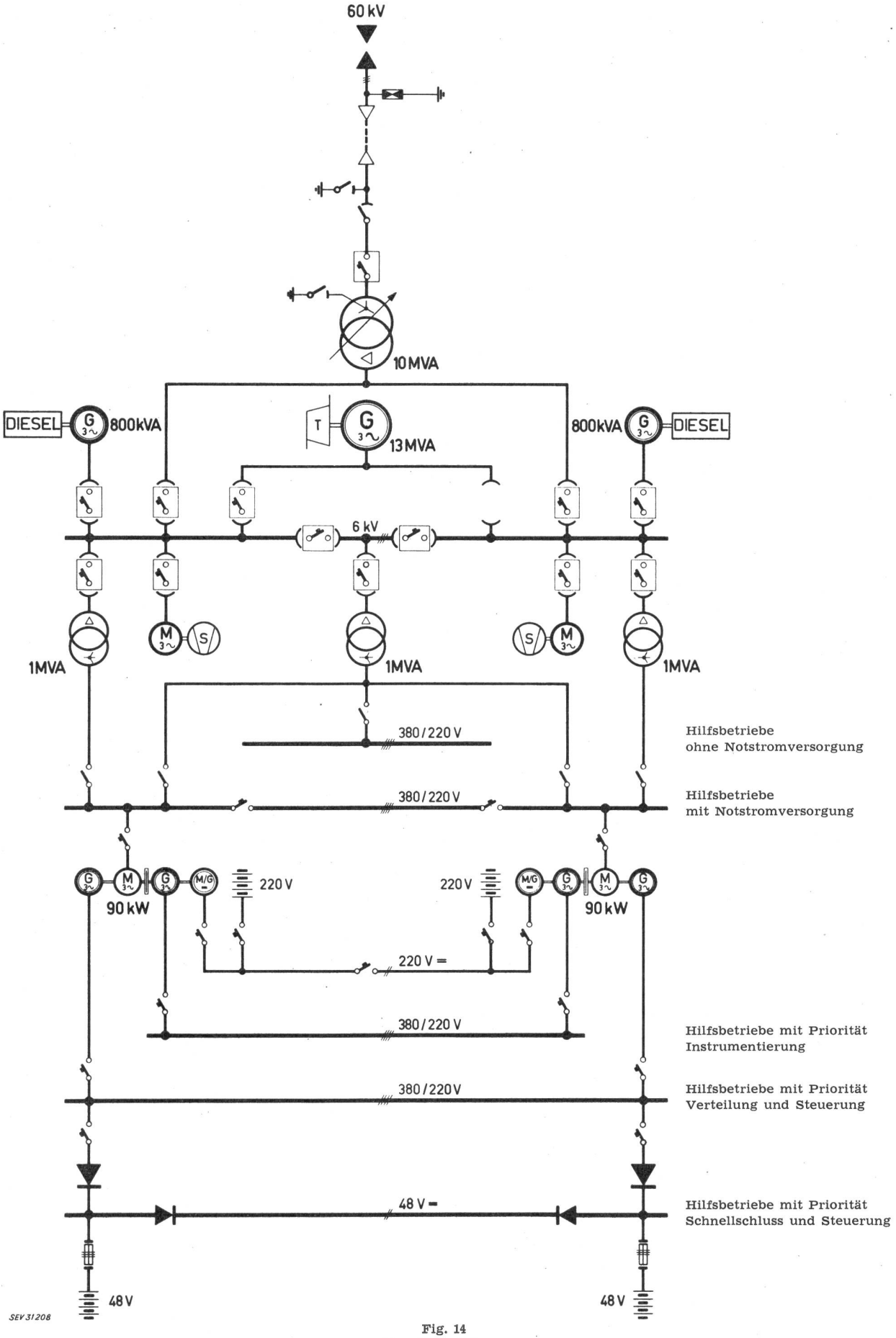


Fig. 14
Einpoliges Schema

Ein Nebenkreis lässt einen Teil der Umlaufmenge des schweren Wassers eine Aufbereitungsanlage durchströmen, deren Aufgabe die Herabsetzung der Radiolyse ist. Die Verunreinigungen, ob löslich oder nicht, werden ausgeschieden. Die Korrosion wird bekämpft durch die Einhaltung einer niedrigen Salzkonzentration und eines passenden pH-Wertes. Die Aufbereitung besteht aus einer Vorfiltration, einer Totalentsalzung durch Ionenaustausch und einer Nachfiltration. Die Elemente dieser sehr anpassungsfähigen Anlage sind verdoppelt oder verdreifacht, wobei je ein einzelnes Element für die Aufrechterhaltung des Betriebes genügt. Eine Abschirmung trennt den Schwerwasserkreislauf von der Aufbereitungsanlage, die auch während des Betriebes zugänglich bleibt.

5.6 *Der Zwischenkühlkreislauf*

Dieser Zwischenkühlkreislauf kühlt die verschiedenen Hilfskreisläufe und überträgt deren Wärme an den Tertiärkreislauf. Er enthält entsalztes Wasser, das durch Inhibitoren eine Verstopfung der Wärmeaustauscher verhindert. Dadurch wird der Unterhalt der Wärmeaustauscher, die sich in der Reaktorkaverne befinden, vereinfacht.

6. Elektrische Installationen

6.1 *Anschluss des Kraftwerkes an das Netz*

Eine besondere 60-kV-Freileitung von 2,9 km Länge verbindet das Kraftwerk mit der Unterstation Lucens der Compagnie Vaudoise d'Electricité, wo drei unabhängige Überlandleitungen von 130 kV zusammenkommen. Die Energieversorgung darf deshalb als besonders sicher bezeichnet werden.

6.2 *Allgemeines Schema des Kraftwerkes* (Fig. 14)

Die 60-kV-Freileitung ist an einen im Freien aufgestellten 60/6-kV-Stufentransformator von 10 MVA angeschlossen, der eine praktisch konstante Spannung auf dem 6-kV-Netz aufrechterhält. Der Transformator ist durch Kabel mit der 6-kV-Schaltanlage verbunden, an die der Turbogenerator, die drei Eigenbedarfstransformatoren, die Gebläse des Primärkreislaufes und die beiden Notstrom-Dieselgruppen angeschlossen sind. Die 6-kV-Sammelschienen sind in drei Abschnitte unterteilt. Bei einem Kurzschluss im 6-kV-System wird mittels Schnelldistanzschutz der fehlerhafte Abschnitt augenblicklich abgetrennt. Der Reaktor wird abgestellt, die fehlerfreien Abschnitte der 6-kV-Schienen erlauben aber die weitere Versorgung der für die Abfuhr der Restwärme und die Sicherung der Anlage nötigen Hilfsbetriebe.

Die Hilfsbetriebe sind nach dem Grad der Sicherheit ihrer Versorgung in drei Kategorien unterteilt.

Die gewöhnlichen Hilfsbetriebe werden bei gleichzeitigem Ausfall der 60-kV-Leitung und des Turbogenerators ausser Betrieb gesetzt.

Die Versorgung der zweiten Kategorie der Hilfsbetriebe wird bei Ausfall der beiden genannten Energiequellen durch eine oder beide Diesel-Notstromgruppen übernommen. Ein Spannungsausfall in diesem System führt zu einem Schnellschluss des Reaktors.

Die Versorgung der dritten Kategorie der Hilfsbetriebe, nämlich der Hilfsbetriebe mit Priorität, darf nicht unterbrochen werden. Sie wird deshalb durch zwei mit je einem Schwungrad versehene Umformergruppen zu je vier Maschinen gewährleistet, welche Spannung und Frequenz stabilisieren. Die Umformergruppen werden normalerweise durch Asynchronmotoren angetrieben, die zur zweiten Kategorie der Hilfsbetriebe gehören. Beim Ausfall der Versorgung dieser Motoren übernehmen aus besonderen 220-V-Batterien gespiesene Maschinen den Antrieb der Umformergruppen. Zur dritten Kategorie der Hilfsbetriebe, die mit Wechselstrom von 220 V bzw. Gleichstrom von 48 V gespiesen werden, gehören die Stromkreise der Einrichtungen zur Abfuhr der Restwärme aus dem Reaktorkern, der Notbeleuchtung, der nuklearen und thermischen Instrumentierung, der Steuerung, der Signalisierung und der Reaktorschnellschlusskette.

6.3 *Überwachung des Neutronenflusses*

Der thermische Neutronenfluss ist proportional zur Reaktorleistung. Er muss über einen Bereich von 10 Dekaden gemessen werden. Zur Messung, Registrierung und Regelung des Neutronenflusses sowie zum automatischen Schutz gegen zu hohen Fluss oder zu raschen zeitlichen Anstieg des Flusses (Periode) werden drei getrennte Messkanäle verwendet:

a) Ein Anfahrkanal, bestehend aus zwei unabhängigen Messketten,

b) Ein logarithmischer Kanal, bestehend aus drei unabhängigen Messketten,

c) Ein Sicherheitskanal, bestehend aus vier unabhängigen Messketten.

Zwei Grundsätze waren für die Konzeption des Überwachungssystems wegweisend:

a) Das Versagen irgendeines Bestandteiles des Systems darf kein unerwünschtes Abstellen des Reaktors verursachen;

b) Kein Versagen darf zu einer Verringerung der Sicherheit führen («fail safe system»).

Der Anfahrkanal ermöglicht Messungen über nahezu vier Dekaden, die vom Quellniveau ausgehen. In diesem Bereich wird der Reaktor von Hand gefahren. Mit dem Erreichen des Periodenbereiches erfolgt die Umschaltung auf den logarithmischen Kanal automatisch, und der Anfahrkanal wird abgeschaltet.

Der Messbereich des logarithmischen Kanals umfasst sieben Dekaden. Der Mittelwert der Signale der drei Messketten wird für die Steuerung des Reaktors verwendet. Eine Vergleichseinheit zeigt die Fehlerhaftigkeit einer Messkette an und schaltet diese automatisch ab.

Der Sicherheitskanal überwacht die oberste Dekade im Leistungsbereich. Er besitzt eine Vergleichseinheit und eine Überwachungseinheit, welche im Falle einer Überschreitung der zulässigen Leistung den Schnellschluss des Reaktors auslöst.

Überwachungseinheiten und Verriegelungen sichern den Übergang von einem Messkanal zum nächsten.

6.4 *Steuerung der Anlage*

Der Einsatz des Werkes zur Lieferung von elektrischer Energie an das Netz kann auf zwei Arten erfolgen, entweder nach einem Leistungsprogramm oder nach dem Leistungsbedarf des Netzes (Frequenzregulierung).

In beiden Fällen wirkt der Leistungsregler direkt auf die Kontrollstäbe des Reaktors. Die Menge des durch den Reaktorkern strömenden Kohlendioxyds wird automatisch so reguliert, dass die Temperatur des Gases am Austritt aus dem Reaktor konstant bleibt.

Beim Fahren nach einem festen Programm wird die Reaktorleistung reguliert entsprechend dem Integral der Differenz zwischen dem Sollwert der Leistung und der an den Klemmen des Generators effektiv gemessenen Leistung. Der Turbinenregler steuert den Dampfdruck am Eintritt in die Turbine, während die Turbinendrehzahl durch das Netz konstant gehalten wird.

Übernimmt das Werk die Frequenzregulierung, so muss der Turbinenregler die Drehzahl der Turbine konstant halten. Das Integral der resultierenden Schwankungen des Frischdampfdruckes wird in diesem Fall zur Regulierung der Reaktorleistung verwendet.

Es bestehen zahlreiche zusätzliche Regelkreise. So wird beispielsweise die Speisewassermenge im Sekundärkreis in Abhängigkeit von der Temperatur an einer Stelle des Überhitzers gesteuert. Im allgemeinen sind aber diese Regelkreise konventioneller Bauart.

6.5 *Steuerung des Reaktors*

Der Reaktor wird durch 12 Kontrollstäbe gesteuert, welche durch Seilwinden angetrieben werden. Die Stel-

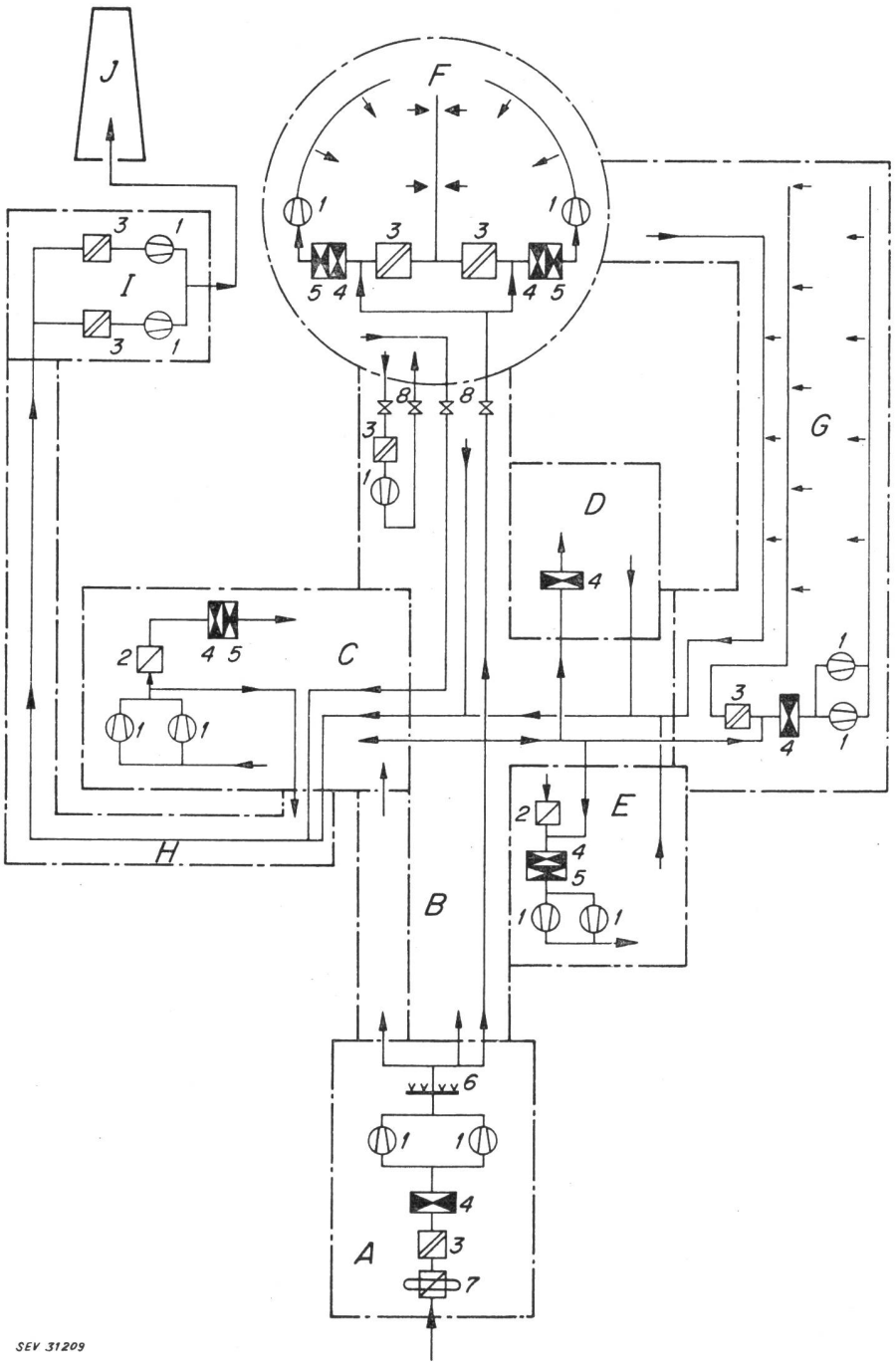


Fig. 15
Lüftungsanlage
A Zuluftanlage; *B* Zugangsstollen; *C* Maschinenkaverne; *D* Nebenräume; *E* Räume für elektrische Apparate; *F* Reaktorkaverne; *G* Stablagerkaverne; *H* Abluftschacht; *I* Abluftgebäude; *J* Kamin
1 Ventilator; *2* Filter; *3* Absolutfilter; *4* Lufterhitzer; *5* Luftkühler; *6* Luftbefeuchter; *7* Rollfilter; *8* Schnellschlussklappen

lung jedes Kontrollstabes wird in den Kommandoraum übermittelt. Zusätzlich ist jeder Kontrollstab mit vier Positionsschaltern versehen, welche für die Sequenzsteuerung benötigt werden. Weiterhin sind die Kontrollstäbe mit einer Einrichtung zur Überwachung der Seilspannung und einem Endschalter ausgerüstet.

Es werden drei Arten der Steuerung der Kontrollstäbe unterschieden:

1. Handsteuerung jedes einzelnen Stabes;
2. manuelle Sequenzsteuerung;
3. automatische Sequenzsteuerung.

Die erste Art erlaubt es, jeden einzelnen Stab unabhängig von den andern beliebig zu verstellen. Die beiden verfügbaren Verstellgeschwindigkeiten stehen zueinander im Verhältnis 1 : 10.

Bei den beiden anderen Arten der Steuerung können die Kontrollstäbe nur nach einem bestimmten Programm verstellt werden, welches eine gleichmässige Änderung der Reaktivität gewährleistet. Erreicht ein Kontrollstab das letzte Drittel seines Weges, so wird der Antrieb des nächsten Stabes eingeschaltet, und es verschieben sich beide Stäbe zusammen. Ein Überwachungssystem verunmöglicht es, dass gleichzeitig mehr als zwei Stäbe in Bewegung sind. Die Umschaltung der verschiedenen Arten der Steuerung ist durch Verriegelungen gesichert.

Zum Schutz des Reaktors können die folgenden Sicherungsmassnahmen ausgelöst werden:

a) «Halt» verunmöglicht jedes weitere Ausfahren der Kontrollstäbe;

b) «Zurückfahren» reduziert die Reaktorleistung auf einen vorgeschriebenen Wert;

c) «Schnellschluss». Die Magnetkupplungen zwischen Motoren und Seiltrommeln werden abgeschaltet, so dass die Kontrollstäbe gleichzeitig unter Schwerkraft in den Reaktorkern fallen.

7. Hilfseinrichtungen

7.1 *Wasserversorgung des Kraftwerkes*

Das für den Tertiärkreislauf und für die Luftkühler der Ventilationsanlage der unterirdischen Bauten erforderliche Wasser wird der Broye entnommen. Eine Wasserfassung und eine kleine Pumpstation, ausgerüstet mit drei Pumpen zu je 75 Lit./s Pumpleistung, werden am linken Ufer zwischen Flussbett und Eisenbahnlinie installiert. Dieses Wasser wird nur mit mechanischen Filtern gereinigt.

Die Wasserversorgung der Gemeinde Lucens liefert das Trinkwasser. Es wird im Anlieferungszustand für die verschiedenen sanitären Installationen des Werkes benützt.

Im Sekundär- und Zwischenkreislauf, in den Laboratorien und in den Werkstätten wird vollentsalztes Wasser verwendet. Dieses wird aus Trinkwasser mittels Ionenaustauschern erzeugt.

Das auf dem Hügel gelegene Wasserreservoir von 500 m³ deckt den Bedarf für die Berieselung der Reaktorhalle bei einem Reaktorunfall wie auch jenen für die Brandbekämpfung. Bei Störungen in der Wasserzufuhr stellt es während beschränkter Zeit auch die Versorgung des Kraftwerkes mit Wasser sicher.

7.2 *Heizungs- und Belüftungsanlagen der unterirdischen Bauten*

Die Belüftungsanlagen (Fig. 15) der unterirdischen Bauten erfüllen folgende fünf Funktionen:

1. Aufrechterhaltung einer für das Betriebspersonal und die Einrichtungen zuträglichen Luftqualität (Reinheit, Temperatur, Feuchtigkeit);
2. Entstaubung der in den unterirdischen Bauten zirkulierenden Luft zur Verringerung der Kontamination nach einem Reaktorunfall;
3. Erzeugung von Unterdrücken in der Reaktorkaverne und im Stablager gegenüber den übrigen unterirdischen Bauten zwecks Verhinderung von Gasleckagen aus eventuell verseuchten Räumlichkeiten;
4. Entfernung von verdorbener und eventuell verseuchter Luft, wobei die entsprechenden Vorschriften und Kontrollmassnahmen zu befolgen sind;
5. Dekontamination der Luft von Räumlichkeiten, in denen grössere Mengen von Aktivität freigesetzt worden sind.

Die für die Ventilation der unterirdischen Bauten bestimmte Luft wird in einem Raum, der sich unmittelbar über dem Stolleneingang befindet, angesaugt, filtriert und klimatisiert. Die nötige Fördermenge von 12 000 m³/h wird durch einen Ventilator geliefert. Ein zweiter steht in Reserve.

Ein Teil der aufbereiteten Luft dient der Belüftung des Zugangsstollens, der Maschinenhalle, des Raumes für die elektrischen Apparate und des Dekontaminationsraumes; Regulierklappen gestatten, bei Bedarf die Belüftung eines bestimmten Lokales zu verstärken.

Die Maschinenhalle, das Stablager und der Raum für die elektrischen Apparate sind ausserdem mit einem geschlossenen Belüftungskreislauf versehen, welcher für den Temperaturausgleich und für die gleichmässige Entstaubung der Luft sorgt. Dieses Belüftungssystem dient ebenfalls dazu, die durch Wärmeverluste der thermischen Anlagen erwärmte Luft zu kühlen. Zu diesem Zweck enthalten diese Kreisläufe Luftkühler, die durch Wasser aus dem Tertiärkreislauf gespiesen werden.

Der Reaktorhalle wird direkt Frischluft zugeführt. Es steht wiederum ein geschlossener Kreislauf zur Verfügung, der für Kühlung oder Heizung, für Entstaubung und für gleichmässige Luftverteilung sorgt. In der Leitung für Frischluftzufuhr und in der Abluftleitung für verbrauchte Luft befinden sich Schnellschlussklappen, die in geschlossener Stellung absolut dicht sind. Tritt ein Unfall ein, dann werden diese Klappen augenblicklich geschlossen, so dass das Ventilationssystem dieser Halle vollständig von aussen und den übrigen unterirdischen Bauten isoliert wird. Ein geschlossener Hilfskreislauf, dessen Ventilatoren und Filter in der Maschinenhalle untergebracht sind, dient dazu, die verseuchte Luft der Reaktorkaverne solange zu reinigen, bis sie an die Atmosphäre abgegeben werden kann. Eine solche Luftabgabe erfolgt allerdings nur bei günstigen meteorologischen Verhältnissen.

Die gesamte Abluft der unterirdischen Bauten wird durch einen vertikalen Schacht abgesaugt. Die dazu nötigen Ventilatoren und dazugehörigen Filter befinden sich im Kamingebäude. Von da aus gelangt die Luft ins Kamin, dessen Spitze ungefähr 150 m über der Talsohle liegt.

7.3 *Aufbereitung der radioaktiven Abfälle* (Fig. 16)

Die Anlagen zur Aufbereitung, Beseitigung und Lagerung aller radioaktiven oder möglicherweise radioaktiv werdenden Abfälle sind praktisch ausschliesslich klassischer Bauart. Diese Tatsache sowie die für den Umgang mit radioaktiven Stoffen entwickelte und bewährte Arbeitsmethodik bieten dafür Gewähr,

dass sich die Abfälle routinemässig aufbereiten lassen. Zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen und automatische Überwachungsanlagen sorgen lediglich dafür, dass keine — noch so geringen — Aktivitätsmengen unbemerkt aus dem Werkareal entweichen können. In diesem Zusammenhang ist ausserdem darauf hinzuweisen, dass sich die in einem Atomkraftwerk entstehenden Abfälle im Vergleich zu jenen anderer Atomanlagen durch ihre verhältnismässig geringe Aktivität auszeichnen.

Die gasförmigen, flüssigen und festen Abfälle stammen grösstenteils aus den unterirdischen Anlagen. Sie entstehen insbesondere beim Betrieb und Unterhalt des Reaktors, in der Anlage zur Reinigung des Wassers im Stablager, in der Wäscherei, bei der Personalkontrolle und bei Dekontaminationsarbeiten. Aus Sicherheitsgründen wird auch das in den Drainagesystemen der unterirdischen Bauten gesammelte Felssickerwasser überwacht. Alle Abfälle werden mittels Rohrleitungen oder Spezialfahrzeugen zur weiteren Verarbeitung aus der Kaverne geschafft.

Die flüssigen und gasförmigen Abfälle aus den unterirdischen Anlagen werden zusammen mit jenen aus den Laboratorien über entsprechende Sammelbehälter den eigentlichen Aufbereitungsanlagen zugeführt.

Das Ziel der Aufbereitung der flüssigen und gasförmigen Abfälle besteht darin, diese in eine verdünnbare Form überzuführen, indem sie von ihrer Aktivität weitgehend befreit werden. Dies geschieht entweder durch natürlichen Zerfall der Radioaktivität oder durch die mehrheitlich angewandte Extraktion der radioaktiven Verunreinigungen. Sofern die beim zweiten Verfahren anfallenden aktiven Rückstände (Filter, Verdampferrückstände, verbrauchte Ionenaustauscherharze usw.) noch nicht als feste Abfälle betrachtet werden können, werden sie zu solchen verarbeitet.

Die aufbereiteten und verdünnbaren flüssigen und gasförmigen Abfälle werden vor ihrer vorschriftsgemässen Abgabe an die Broye bzw. Atmosphäre auf ihre Restaktivität geprüft.

Oberflächlich verseuchte feste Gegenstände (Werkzeuge, Maschinenteile usw.) werden, soweit dies zweckmässig ist, im unterirdischen Entseuchungsraum dekontaminiert und nötigenfalls mit allen anderen festen Abfällen ins Lagergebäude gebracht. In diesem werden die Abfälle gemäss ihrer Oberflächendosisleistung und zur Erleichterung einer späteren Volumenreduktion in verpressbare und verbrennbare Anteile sortiert.

Anschliessend werden die Abfälle zum Schutze vor Feuchtigkeit sowie zur Verhinderung einer Aktivitätsverschleppung verpackt und in den im gleichen Gebäude sich befindenden Betongruben aufbewahrt. Die Sonderkonstruktion dieser Gruben sorgt für ein tatsächlich gefahrloses Lagern der ohnehin schon sorgfältig gereinigten und verpackten Abfälle.

8. Sicherheit der Anlagen

Die sich im Kernbrennstoff abwickelnden Spaltprozesse, durch welche die nutzbare Wärme freigelegt wird, führen naturgemäss auch zur Erzeugung radioaktiver Spaltprodukte. Damit ein durchgreifender Schutz des Werkpersonals der Anlage und der Bevölkerung in der Umgebung vor der durch diese Spaltprodukte hervorgerufenen Strahlung gewährleistet ist, sind bestimmte Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

Im Normalbetrieb des Reaktors werden die Spaltprodukte durch die dichte Umhüllung der einzelnen Spaltstoffsegmente im Kernbrennstoff zurückgehalten. Der Primärkreislauf bildet eine zusätzliche Schranke gegen die unkontrollierte Verbreitung der Spaltprodukte. Abschirmungs- und Überwachungssysteme sowie streng zu befolgende Betriebsvorschriften haben für einen wirksamen Schutz des Betriebspersonals vor ionisierender Strahlung zu sorgen.

Die Reaktoranlage muss so angelegt sein, dass eine Betriebsstörung nicht zu einem Unfall führen kann, in dessen Verlauf Spaltprodukte auf gefährliche Weise freigesetzt werden.

Sollte trotz aller Sicherheitsmassnahmen ein solcher Unfall, so wenig wahrscheinlich er auch erscheinen mag, doch eintreten, dann muss verhütet werden, dass sich die freigesetzten Spaltprodukte weiter ausbreiten, namentlich ausserhalb der unterirdischen Bauten, wo sie die Umgebung des Kraftwerkes verseuchen könnten. Dem Containment fällt die Aufgabe zu, eine

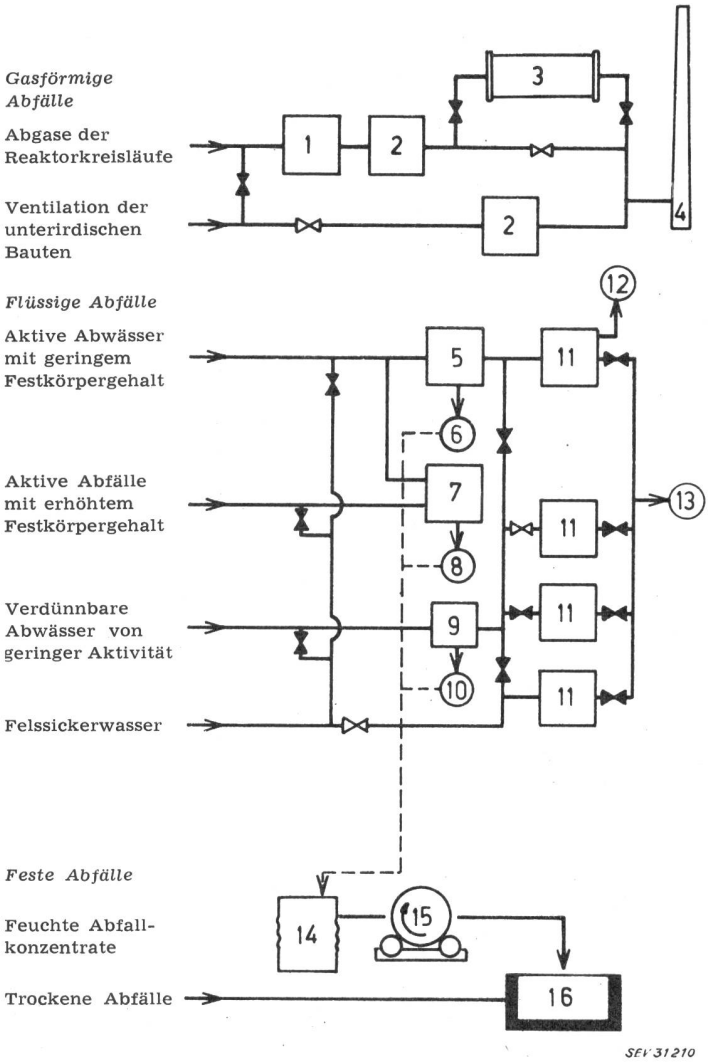


Fig. 16
Aufbereitung der radioaktiven Abfälle
1 Jodfilter; *2* Absolutfilter; *3* Abklingbehälter; *4* Kamin; *5* Mischbett-Ionenaustauscher; *6* verbrauchte Harze; *7* Verdampfer; *8* Verdampferrückstände; *9* Anschwemmfilter; *10* Anschwemmfiltermassen; *11* Prüf- und Abklingtanks; *12* Reinwasser; *13* Broye; *14* Fassabfüllstation; *15* Mischer; *16* Betongruben

derartige Ausbreitung dieser radioaktiven Stoffe zu verhindern.

Wegen der Tragweite dieser Fragen bedürfen die Erstellung und der Betrieb einer Atomanlage gemäss Artikel 4 des Bundesgesetzes über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz vom 23. Dezember 1959 der Bewilligung des Bundes. Vor der Erteilung der Bewilligungen hat die Bewilligungsbehörde das Projekt vom Standpunkt der Sicherheit aus durch die Eidgenössische Kommission für die Sicherheit der Atomanlagen begutachten zu lassen.

8.1 Sicherheit während des normalen Betriebes

Während des normalen Betriebes der Anlage besteht keine Gefährdung der Bevölkerung der Umgebung. Abgase und Abwässer aus dem Werk werden laufend überwacht und vor der gefahrlosen Beseitigung genau untersucht.

Die betriebliche Sicherheit wird unter anderem durch geschultes Personal, welches besondere Betriebsvorschriften streng zu befolgen hat, erreicht.

Das Werkpersonal, welches zu allen unterirdischen Anlagen Zutritt hat oder sonst mit Radioaktivität in Berührung kommen kann, steht unter strenger Überwachung des werkeigenen Strahlenüberwachungsdienstes.

Das gesamte Werkareal gilt als sog. überwachte Zone im Sinne des Entwurfes einer Bundesverordnung über den Schutz vor ionisierenden Strahlen, während alle unterirdischen Räume in die sog. kontrollierte Zone fallen. Vom betriebsorganisatorischen Standpunkt aus sind die unterirdischen Räume ferner in eine radioaktiv «kalte» und «heisse» Zone unterteilt. Die Verschleppung radioaktiver Substanzen und die damit verbundene Gefahr einer Kontamination des oberirdischen Betriebsgebäudes und der Umgebung der Anlagen wird dadurch praktisch verunmöglicht, dass die potentiell verseuchbaren Räume der heissen Zone, d. h. im wesentlichen die Reaktorkaverne, das Stablager, die Dekontaminationsräume und der Raum für die Ionenaustauscher, nur durch eine Personalkontrolle mit Umkleideraum, Duschen und Anlagen für Strahlungsüberwachung verlassen werden können.

Weiterhin werden gewisse Teile der äusseren Bauten, wo Radioaktivität gehandhabt wird, ebenfalls zur heissen Zone gezählt. Es sind dies insbesondere das Laboratorium, die Anlage zur Aufbereitung radioaktiver Abfälle und unter Umständen auch die Werkstatt.

Die Reaktorkaverne sowie die Maschinenkaverne und das Stablager sind für das Betriebspersonal jederzeit zugänglich. Alle Tätigkeiten, bei welchen eine Strahlengefährdung auftreten kann, werden unter Aufsicht des Strahlenüberwachungsdienstes vorgenommen.

8.2 *Sicherheit bei Betriebsstörungen*

Gründliche Studien werden unternommen, um die Folgen zu bestimmen, welche durch das Versagen einzelner Konstruktionsteile oder durch irgend ein Versagen des Betriebspersonals entstehen könnten. Sollte ein derartiges Versagen zu einem gefährlichen Betriebszustand führen, wobei eine Beschädigung der Anlage oder die Freisetzung von Radioaktivität das Resultat sein könnten, müssen zusätzliche Sicherheitsmassnahmen getroffen oder entsprechende Konstruktionsänderungen unternommen werden. Nur so gelingt es, die der Anlage inhärente Sicherheit auch tatsächlich zu gewährleisten.

Die weitgehend doppelte oder mehrfache Ausführung der wichtigsten Kontrollorgane in paralleler Anordnung, ein umfassendes Warnungs- und Sicherheitssystem sowie die der Anlage inhärente Sicherheit vermindern weitgehend die Möglichkeit einer schweren Reaktorhavarie. Ausserdem sorgt die unterirdische Disposition des Atomkraftwerkes dafür, dass selbst nach dem hypotetisch schlimmsten Unfall die Bevölkerung der Umgebung und das Betriebspersonal den bestmöglichen Schutz erhalten.

8.3 *Containment*

Die Reaktorkaverne ist gegen aussen durch das Containment abgeschlossen.

Durch geeignete Gestaltung der Wandung wird der Reaktorkaverne eine gute Dichtigkeit verliehen. Die Druckfestigkeit dieser Kaverne ist für den Überdruck des hypothetisch schlimmsten Unfalls ausgelegt.

Die Reaktorkaverne und die übrigen unterirdischen Bauten sind mit getrennten Drainagesystemen ausgerüstet, in denen das anfallende Felswasser gesammelt und in die Anlage zur Behandlung radioaktiver Abfälle abgepumpt wird.

Alle Zugänge zur Reaktorkaverne sind während des Betriebes durch Schleusen und Panzertüren luftdicht und druckfest abgeschlossen. Die Anforderungen an die Gasdichtheit der Schleusen und Durchdringungen zwischen Reaktorkaverne und Maschinenkaverne erlauben selbst bei einem schweren Reaktorunfall ohne Kontaminationsgefahr die weitere direkte Entlüftung der Maschinenkaverne und des Zugangsstollens.

Der nach einem schweren Reaktorunfall entstandene Überdruck senkt sich anfänglich sehr rasch infolge Abkühlung des Luft-Dampf-CO_2-Gemisches. Zu geeigneter Zeit wird der restliche Überdruck in der Kaverne reduziert, indem durch Öffnen von Ventilen mit vorgeschalteten Filtern die Gasmassen über das Drainagesystem in den porösen Felsen abgelassen und dort gespeichert werden können.

Sollten die Ergebnisse der derzeitigen Untersuchungen das Speichern der Gase im Felsen nicht gestatten, können diese komprimiert und in Abklingtanks gelagert werden.

9. Anlagedaten

Reaktor	
Typ	Druckrohrreaktor
Moderator	Schweres Wasser (D_2O)
Kühlmittel	Kohlendioxyd (CO_2)
Spaltstoff	Uranmetall, ca. 0,93 % angereichert
Spaltstoffmenge	5,64 t Uran
Anzahl Spaltstoffelemente	73
Thermische Nennleistung	30 MW
Maximaler thermischer Neutronenfluss im mittleren Spaltstoffelement	$3{,}2 \cdot 10^{13}$ Neutronen/cm² s
Primärkreislauf	
Mittlerer Systemdruck	60 kg/cm²
Temperatur am Elementeneintritt	220 °C
Temperatur am Elementenaustritt	385 °C
Sekundärkreislauf	
Frischdampfmenge	39,6 t/h
Frischdampfdruck abs.	21,5 kg/cm²
Frischdampftemperatur	370 °C

Speisewassertemperatur	147 °C
Leistung an der Turbinenwelle . . .	8,55 MW
Elektrische Anlagen	
Drehstromturbogenerator	13 MVA, 6 kV, 50 Hz
Kupplungstransformator	10 MVA, 6/60 kV

10. Arbeitsprogramm

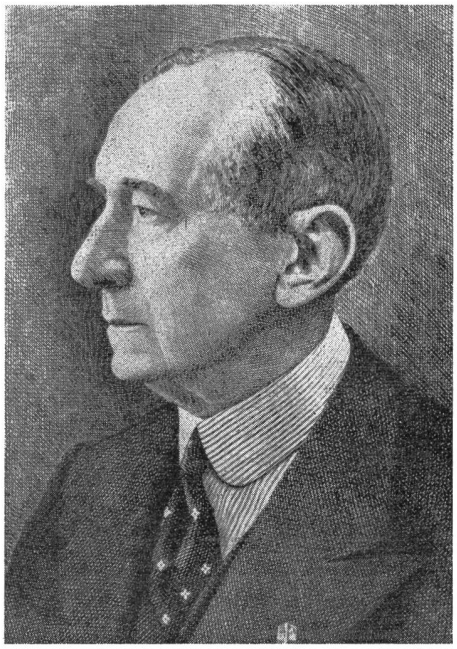
Das Projekt für das Versuchsatomkraftwerk Lucens ist soweit gediehen, dass zur Ausführung geschritten werden kann. Vorbereitungsarbeiten am Standort sind bereits im Gange. Die Bauarbeiten könnten im Sommer 1962 in Angriff genommen werden, und die Fabrikation der Einrichtungen dürfte im Herbst beginnen. Nach dem heutigen Zeitplan soll das Versuchsatomkraftwerk im Laufe des Jahres 1965 in Betrieb kommen.

Adresse des Autors:

P. Krafft, dipl. Ingenieur, Arbeitsgemeinschaft Lucens, c/o Elektro-Watt, Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG, Talacker 16, Zürich 1.

GUGLIELMO MARCONI

1874—1937



Vor erst 25 Jahren, am 20. Juli 1937, starb der grosse Pionier der drahtlosen Nachrichtentechnik. Marconi war am 25. April 1874 in Bologna geboren worden und studierte an der dortigen Universität Physik.

Hertz hatte gerade seine Entdeckungen über die elektromagnetischen Wellen gemacht, Popow machte Versuche mit Antennen. Marconi erkannte sofort die grosse, praktische Bedeutung dieser Dinge und begann 1894 mit eigenen Versuchen. 1895 gelang ihm eine erste Signalverbindung über eine kurze Distanz; er war imstande, drahtlose Verbindungen über 35 km herzustellen. Er wurde rasch berühmt, und der italienische Staat beanspruchte seine Dienste. Er rüstete Kriegsschiffe mit Radioeinrichtungen aus. 1897 konnte er in England die «Marconi Wireless Telegraph and Signal Co.» gründen. 1901 wurden erstmals Signale über den Ozean nach Amerika gesandt und empfangen. Damit war die Bahn frei für den Siegeszug der drahtlosen Telegraphie. Marconi wurde 1909 mit dem Nobelpreis geehrt. Die Entwicklung ging weiter, Radio, Fernsehen kamen und sind aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Schiff- und Luftfahrt haben durch Marconis Arbeit erst die unbedingt nötigen Sicherheitsvorrichtungen erhalten, mit der sie jederzeit und aus jeder abgelegenen Position, ja selbst aus dem Weltraum, die Verbindung mit andern Menschen aufnehmen können. *H. W.*

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Elektrotechnik auf der Hannover-Messe 1962

061.4(43-2.27) «1962» : 621.3

Die Elektro-Industrie, die als zweitgrösste Ausstellergruppe in vier grossen Gebäuden, zum Teil mit zwei und fünf Stockwerken, und auf dem Freigelände Elektrotechnik ihre Erzeugnisse vom 29. April bis 8. Mai 1962 ausstellte, brachte wieder interessante Neuentwicklungen und Verbesserungen (Fig. 1). Aus der Vielzahl der gezeigten Maschinen und Geräte sollen im folgenden einige kurz beschrieben werden:

Auf dem Gebiete der Hochspannungstechnik wurde u. a. ein Pol eines Hochspannungsschalters für 420 kV mit einer Abschaltleistung von 20 GVA gezeigt. Ein derartiger Schalter wurde vor kurzem in einer deutschen Schaltstation in Betrieb genommen.

Für eine 20-kV-Hochspannungs-Freiluftanlage wurde eine neue Schaltwagenkonstruktion entwickelt, bei der sich der Leistungsschalter mit 250...350 MVA Ausschaltleistung und der Wandler auf einem ölhydraulisch angetriebenen Fahrgestell befinden (Fig. 2). Bei dieser Anordnung entfällt ein besonderer Trennschalter. Die Fernsteuerung des Antriebs kann über eine Rundsteueranlage erfolgen.

Eine 20-kV-Hochspannungs-Schaltwagenanlage für Innenmontage mit einer Ausschaltleistung von 350 MVA wurde in einer neuartigen Bauform ausgeführt (Fig. 3). Hiebei sind alle hochspannungführenden Teile (Sammelschienen und Schaltarme) giessharzisoliert und der Hochspannungsschaltraum beim Ausfahren des Wagens durch selbsttätig sich schliessende Isolierplatten berührungssicher abgeschlossen.

Für den Antrieb von Ringspinnmaschinen sind zwei Drehstrom-Nebenschluss-Kommutatormotoren mit Spinnreglern und aufgebautem Getriebe auf gemeinsamem Sockel mit einer Leistung von je 3,0...8,1 kW bei 380 V, 50 Hz, und einem Regelbereich von 600...1250 U./min an die Triebstöcke der Spinnmaschine angebaut (Fig. 4). Das Drehzahldiagramm des durch den Spinnregler geregelten Motors wird von einem schreibenden Anzeigegerät aufgezeichnet.

Der Silizium-Gleichrichter hat sich ein weites Gebiet erobert, zumal er sich heute durch seine Regelbarkeit für viele Antriebe besonders gut eignet. Neue Silizium-Gleichrichterzellen in Diffusionstechnik werden sowohl in p-n- als auch in n-p-Ausführung hergestellt. Dadurch ergeben sich beim Aufbau von Brückengleichrichtern schaltungstechnische Vereinfachungen, weil jeweils zwei Gleichrichterzellen mit entgegengesetzter Stromrichtung auf einen gemeinsamen Kühlkörper montiert sind. Die Gleichrichterzellen wurden für die Versorgungsstufen von Generatoren, Nachrichtengeräten und Schalt- und Regelungsanlagen entwickelt. Bei einem Nennstrom von 2 A betragen die Nennspannungen je Typ 200, 400, 600 oder 800 V.

Bei den neuen, sog. Semiduktor-Antrieben werden Nebenschluss-Gleichstrommaschinen über steuerbare Siliziumzellen aus dem Drehstromnetz gespeist (Fig. 5). Die Ankerspannung wird