

# EUR 391.d

REPRINT

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

## ESSOR - EIN SPEZIFISCHER VERSUCHSREAKTOR FÜR DAS EURATOM - PROGRAMM ORGEL

von

J.P. CRETÉ	(G.A.A.A.)
R. HARDE	(INTERATOM)
C. LENY	(EURATOM)

LIBRARY COPY

1963



Programm ORGEL

Bericht abgefasst im Rahmen des Euratom-G.A.A.A.-Interatom  
Vertrages Nr. 045-61-10 ORGC

Sonderdruck aus  
DIE ATOMWIRTSCHAFT  
Jahrgang 8, Nr. 6 - 1963



## HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen:

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Die Namen der Autoren sind in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

*This reprint is intended for restricted distribution only. It reproduces by kind permission of the publisher, an article from "DIE ATOMWIRTSCHAFT", Jahrgang 8, No. 6 - 1963, 3-12. For further copies please apply to Verlag Handelsblatt GmbH, Kreuzstrasse 21 - Handelsblatthaus, 4, Düsseldorf (Deutschland).*

*Dieser Sonderdruck ist für eine beschränkte Verteilung bestimmt. Die Wiedergabe des vorliegenden in „DIE ATOMWIRTSCHAFT“, Jahrgang 8, Nr. 6 - 1963, 3-12 erschienenen Aufsatzes erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers. Bestellungen weiterer Exemplare sind an Verlag Handelsblatt GmbH, Kreuzstrasse 21 - Handelsblatthaus, 4, Düsseldorf (Deutschland) zu richten.*

*Ce tiré-à-part est exclusivement destiné à une diffusion restreinte. Il reprend, avec l'aimable autorisation de l'éditeur, un article publié dans «DIE ATOMWIRTSCHAFT», Jahrgang 8, N° 6 - 1963, 3-12. Tout autre exemplaire de cet article doit être demandé à Verlag Handelsblatt GmbH, Kreuzstrasse 21 - Handelsblatthaus, 4, Düsseldorf (Deutschland).*

*Questo estratto è destinato esclusivamente ad una diffusione limitata. Esso è stato riprodotto, per gentile concessione dell'Editore, in «DIE ATOMWIRTSCHAFT», Jahrgang 8, N° 6 - 1963, 3-12. Ulteriori copie dell'articolo debbono essere richieste a Verlag Handelsblatt GmbH, Kreuzstrasse 21 - Handelsblatthaus, 4, Düsseldorf (Deutschland).*

*Deze overdruk is slechts voor beperkte verspreiding bestemd. Het artikel is met welwillende toestemming van de uitgever overgenomen uit „DIE ATOMWIRTSCHAFT“, Jahrgang 8, N° 6 - 1963, 3-12. Meer exemplaren kunnen besteld worden bij Verlag Handelsblatt GmbH, Kreuzstrasse 21 - Handelsblatthaus, 4, Düsseldorf (Deutschland).*

**SONDERDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT**

**VERLAG HANDELSBLATT GMBH · DÜSSELDORF**

**die**



**wirtschaft**

**Jahrgang 8 · Nr. 6 · Juni 1963**

---

**ESSOR - EIN SPEZIFISCHER  
VERSUCHSREAKTOR FÜR DAS  
EURATOM-PROGRAMM ORGEL**

*VON J. P. CRETÉ, R. HARDE UND J. C. LENY*

---



# ESSOR – EIN SPEZIFISCHER VERSUCHSREAKTOR FÜR DAS EURATOM-PROGRAMM ORGEL

VON J. P. CRETTE, PARIS\*), R. HARDE, BENSBERG\*\*) UND J. C. LENY, BRUSSEL\*\*\*)

## A ALLGEMEINE BEMERKUNGEN

Der spezifische Versuchsreaktor *ESSOR* ist in erster Linie zum Studium der für Reaktoren des *ORGEL*-Typs noch bestehenden technologischen Probleme bestimmt. Darüber hinaus ist jedoch Vorsorge getroffen, daß zu einem späteren Zeitpunkt mit der Anlage auch Untersuchungen im Zusammenhang mit anderen Schwerwasser-Reaktoren durchgeführt werden könnten.

Die *Euratom*-Kommission hat den Bau der *ESSOR*-Anlage im gemeinsamen Forschungszentrum von Ispra beschlossen und die europäische Firmengruppe *Groupement Atomique Alsacienne Atlantique (GAAA)*, *Interatom* und *Montecatini* mit der Abwicklung der Bauausführung beauftragt.

Die Reaktoren des *ORGEL*-Typs sind Schwerwasser-Reaktoren mit guter Neutronenökonomie. Diese bedingt einen hohen Konversionsfaktor und die Möglichkeit, unter Verwendung von natürlichem oder leicht angereichertem Brennstoff einen großen Prozentsatz des gebrüteten Plutoniums bereits an Ort und Stelle zu spalten.

Die Kühlung von *ORGEL*-Reaktoren erfolgt durch ein niedrig schmelzendes Gemisch von Terphenylen, die auch bei hohen Temperaturen einen niedrigen Dampfdruck aufweisen. Dieses Gemisch zeichnet sich außerdem durch ziemlich geringe Korrosion aus, wenn es von bestimmten Verunreinigungen (insbesondere Chlor) frei ist; ferner wird es nur wenig radioaktiv. Es unterliegt unter dem Einfluß von Wärme und Core-Strahlung ziemlich komplizierten Zersetzungserscheinungen, die insgesamt jedoch erst bei Temperaturen oberhalb von etwa 420° C wirklich bedeutsam werden. Ein Betrieb mit Flüssigkeitstemperaturen von 400° C kann daher ohne weiteres ins Auge gefaßt werden.

Diese Eigenschaften organischer Kühlmittel gestatten es, Reaktoren mit niedrigem Druck zu betreiben und zu ihrer Herstellung preiswerte Werkstoffe wie gewöhnlichen Stahl oder Aluminium zu verwenden. Des weiteren ermöglichen die erzielbaren Dampfbedingungen einen Netto-Anlagenwirkungsgrad von etwa 32%.

Um die nuklearen Vorteile des schweren Wassers zu nutzen, darf bei Reaktoren des Typs *ORGEL* nur so viel organisches Kühlmittel eingesetzt werden, wie zur Wärmeabfuhr in den Brennelement-Kühlkanälen unbedingt erforderlich ist. Diese

Kühlkanäle sind durch eine mechanische und thermische Barriere vom schweren Wasser getrennt und erfordern im einzelnen einen ziemlich komplizierten Aufbau.

Ein wesentlicher Teil des Entwicklungsprogramms für Reaktoren des Typs *ORGEL* besteht daher in der Erprobung eines kompletten Kühlkanals, von dem man die verschiedenen Teile zunächst außerhalb und dann innerhalb eines Reaktors prüfen muß, um schließlich den Gesamtaufbau eines Kanals im Reaktordauerversuch evtl. bis zur Zerstörung zu testen.

Um die für einen Leistungsreaktor charakteristischen Betriebsbedingungen zu erhalten, bildet dieser selbst das beste experimentelle Werkzeug; denn jeder Simulierungsversuch mit einer anderen Anlage verändert gewisse Parameter, die für einen Leistungsreaktor eigentümlich sind. Jedoch ist ein solches Experiment unausführbar, da ein Leistungsreaktor eine zu bedeutende Investition verkörpert, um ausgehend von unvollständigen technischen Unterlagen durchgeführt zu werden. Darüber hinaus soll der Ausnutzungsgrad eines Leistungsreaktors möglichst hoch sein, und dies verträgt sich sehr schlecht mit der Durchführung von Versuchen.

Um die mit einem Experiment in so großem Maßstab verbundenen finanziellen Aufwendungen zu begrenzen, kann man die Konstruktion eines Prototypreaktors in Betracht ziehen, d. h. den kleinstmöglichen Reaktor, der alle in einem Leistungsreaktor auftretenden Betriebsparameter reproduziert.

Im besonderen Fall von *ORGEL* würde die geringe Reaktivität des Naturangitters zur Kritikalität ein Core mit erheblichen Abmessungen erfordern. Dies führt jedoch zu einer beträchtlichen Reaktorleistung, es sei denn, man akzeptiert die Anreicherung des Brennstoffes, wodurch die Philosophie des Vorhabens allerdings stark verändert würde.

Die einzige praktische Methode, die es erlaubt, in der Entwicklung der wesentlichen Bestandteile des Reaktors Fortschritte zu machen, besteht daher in der Durchführung von Teilexperimenten. Das erfordert gewisse Kompromisse in bezug auf die gleichzeitige Herstellung aller angestrebten Betriebsbedingungen. Man wird daher die Experimentierweise so wählen, daß möglichst viele Parameter gleichzeitig erfaßt werden. Eine vernünftige Lösung besteht darin, solche Experimente vorzusehen, die, gemessen am Wert der erzielbaren und gleichzeitig extrapolierbaren Informationen, das finanzielle Opfer, das sie mit sich bringen, rechtfertigen.

Die Durchführung von drei Arten von Versuchen ist vorgesehen:

1. Versuche mit verschiedenen Konstruktionen von Brennstoffbündeln, Kühlkanälen, Verbindungsstücken sowie mit unterschiedlichen Kühlmitteln.

Diese Versuche können in bestimmten Fällen bis an die betrieblichen Grenzen, d. h. bis zur Zerstörung der Testobjekte, geführt werden.

2. Langzeitversuche mit dem Kühlkanal einschließlich Brennelement.

\*) Groupement Atomique Alsacienne Atlantique (GAAA).

\*\*) Interatom, Internationale Atomreaktorbau GmbH.

\*\*\*) Euratom.

**Tabelle 1: Bestrahlungsbedingungen für ORGEL-Brennelemente in verschiedenen Reaktoren**

Parameter	ORGEL (Ref. Entwurf)	ESSOR	eingebaute Kreisläufe in		
			Zentralkanal BR-2 (Mol)	Pool side facility des HFR (Petten)	Kanal v. 200 mm $\varnothing$ des BR-2 (Mol)
Max. Leistungsdichte	25 W/g	25 W/g	25 W/g	20 W/g	25 W/g
Anreicherung	nat.	nat.	nat.	3%	nat.
Schneller Fluß	$0,4 \cdot 10^{14}$	$0,5 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$	$0,6 \cdot 10^{14}$	—
Gamma-Heizung	1 W/g	1 W/g	—15 W/g, mit Pb-Fe-Ab-schirmung 1 W/g	0,5-1 W/g	2-6 W/g
Bestrahlte Länge im Bereich von 85% bis 100% der max. Leistungsdichte	70 cm	70 cm	50 cm*)	25 cm	28 cm
Axiale Fluß-Anisotropie über 70 cm ( $\varnothing$ min/ $\varnothing$ max)**)	85%	85%	80%	20%	40%
Fluß-Anisotropie unter den peripheren Stäben eines BE-Bündels***)	$\pm 5\%$	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$	$\pm 25\%$	$\pm 25\%$
Fluß-Anisotropie unter den einzelnen BE-Bündeln	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$	—	—	$\pm 25\%$

- \*) Mit Vorrichtung zur Flußabflachung.  
 \*\*) Es sind möglichst hohe Werte wünschenswert.  
 \*\*\*) Es sind möglichst niedrige Werte wünschenswert.

3. Dauererprobung des Brennelementes in repräsentativen Stückzahlen. Die Bedeutung solcher Versuche beschränkt sich übrigens nicht darauf, eine erste statistisch bedeutsame Beurteilung der Brennelemente zu ermöglichen, sondern spätere Erprobungen mit u. U. verbesserten Elementen werden es dem Hersteller auch gestatten, realistische Garantien für einwandfreien Betrieb zu übernehmen.

**Tabelle 2: Kenndaten für die Erprobung von ORGEL-Kanälen in verschiedenen Reaktoren**

	ESSOR		eingebaute Kreisläufe in		
	Einfach-Kreislauf	Mehrfach-Kreislauf	Zentralkanal des BR-2 (Mol)	Pool side facility des HFR (Petten)	Kanal v. 200 mm $\varnothing$ des BR-2 (Mol)
<b>Druckrohre</b>					
Länge der Rohre (m)	7-8	7-8	8	6	—
bestrahlte Länge (cm)	150	150	90	60	90
Zahl der getesteten Rohre	2	8	1	1	0
<b>Brennelement</b>					
Brennstoffquerschnitt (cm <sup>2</sup> )	30	30	30	30	27,5
Länge des Elementes (cm)	150	150	90	60	90
Anzahl der Elemente	2	8	1	1	3
Gewicht des eingesetzten Karbids (kg)	116,8	467	35	23,4	96
nutzbare Länge* (cm)	70	70	50	23	28
Anteil der nutzbaren Länge an der Gesamtlänge (%)	46,5	46,5	55,5	38,4	31,5
Zahl der nutzbaren Brennstoffstäbe	12/14	48/56	6/7	3/7	3/21
nutzbares Karbidgewicht (kg)	46,6	186,4	16,7	3,84	4,25
maximaler Abbrand (MWd/t)	1000	5000	1000	5000	5000
Anzahl der Elemente pro Jahr (Lastfaktor 50%)	9	8	4,5	1	3
Anfallende Wärmeenergie pro Jahr bei Nennleistung (MWd)	230	930	85	19	21

\*) „Nutzbar“ ist der Bereich, in dem die lokale spezifische Leistung wenigstens 85% der maximalen beträgt.

Im ESSOR-Reaktor ist die Möglichkeit zu Versuchen vom ersten Typ mit zwei Kanälen vorgesehen, jedoch soll vorerst nur ein Kanal eingebaut werden, der es gestattet wird, die Druckrohre, die schon außerhalb des Reaktors erprobt wurden, im Neutronenfluß zu testen. Das gleiche gilt für Verbindungsstücke und verschiedene Brennstoffbündel bis zu Bestrahlungen entsprechend etwa 1000 MWd/t. Ferner sollen Versuche mit Schäden an Brennstabumhüllungen oder Kühlkanälen durchgeführt werden.

Zwei Kanäle für die zweitgenannte Art von Versuchen sind gleichfalls im ESSOR-Reaktor vorgesehen; doch soll im ersten Abschnitt auch hiervon nur einer eingebaut werden. Er soll Bestrahlungen der gesamten Kanaleinbauten bis 5000 MWd/t (200 Tage à 25 MW/t) ermöglichen.

Für Versuche des dritten Typs ist eine Gruppe von acht parallel geschalteten Kanälen vorgesehen. Außer Langzeiterprobungen wird damit der Betrieb eines ganzen Reaktorteils mit den verschiedenen Problemen, die aus der Parallelanordnung der Kanäle resultieren, demonstriert. Des weiteren ist der Kühlmitteldurchsatz des gemeinsamen Kreislaufes dieser acht Kanäle genügend groß, um praktisch einen Versuchsstand für Bauteile wie Pumpen, Ventile, Filter, Reinigungskreisläufe usw. darzustellen, dessen Ergebnisse eine Extrapolation auf die Verhältnisse bei einem großen Leistungsreaktor zulassen.

Da es das Ziel dieser Untersuchungen ist, das mechanische Verhalten des gesamten ORGEL-Kanals unter Betriebsbedingungen, wie sie in Leistungsreaktoren auftreten, zu erproben, muß man in entsprechender Weise Temperatur, Druck sowie chemische und metallurgische Bedingungen, die für das Verhalten der Werkstoffe von Bedeutung sind, reproduzieren.

Von besonderer Bedeutung ist ferner die Nachbildung der mechanischen Beanspruchungen der verschiedenen Anlagenbestandteile infolge unterschiedlicher Ausdehnung, Eigengewicht, Strömungskräfte usw. Speziell bei den Brennstoffstäben spielen noch der interne Spaltgasdruck, die Leistungsdichte und insbesondere die örtlich variable Aufheizung infolge der jeweiligen Neutronenflußanisotropie eine wesentliche Rolle.

Tab. 1 zeigt zu Vergleichszwecken die Werte bestimmter Parameter für einen Leistungsreaktor vom Typ ORGEL, für den ESSOR-Reaktor, für einen im Zentralkanal des belgischen Forschungsreaktors BR-2 angeordneten Kreislauf<sup>1)</sup>, für einen Kreislauf in der Pool Side Facility des HFR-Reaktors in Petten (Holland)<sup>2)</sup> und schließlich für einen in einem peripheren, von zusätzlich sieben Brennelementen umgebenen 200-mm-Bestrahlungskanal angeordneten Kreislauf des Reaktors BR-2.

Tab. 2 enthält für die gleichen Fälle wie in Tab. 1 einige Daten bezüglich der im Strahlungsfeld befindlichen Längen und der Gesamtlängen des Kanals. Diese Zahlen sind unter dem Gesichtspunkt des hydraulischen Verhaltens der Brennelemente und der jeweils getesteten Brennstoffmenge von Bedeutung.

Die Angaben in den Tab. 1 und 2 verdeutlichen, daß der ESSOR-Reaktor viel getreuer die Bedingungen eines großen Schwerwasser-Leistungsreaktors zu reproduzieren gestattet als in Hochfluß-Materialprüfreaktoren installierte Kreisläufe.

Diese Reaktoren sind in weitaus größerem Maße zum schnellen Testen von Strukturmaterialien oder Brennstoffproben bestimmt als von Anlagen großer Abmessungen, die hier interessieren. Darüber hinaus sind Leichtwasser-Reaktoren gegenüber Schwerwasser-Reaktoren nuklear völlig verschieden auf Grund der wesentlich anderen Moderatoreigenschaften von schwerem und leichtem Wasser.

In diesem Zusammenhang ist es beachtenswert, daß die USAEC, die doch in ihren eigenen Zentren oder mietweise über zahlreiche leichtwasser-moderierte Materialversuchsreaktoren verfügt, nicht nur den Heavy Water Component Test Reactor in Savannah River, sondern auch den Plutonium Recycle Test Reactor in Hanford gebaut hat, die beide als Schwerwasser-Reaktoren zur Erforschung der spezifischen Probleme dieses Reaktortyps errichtet wurden.

Um die Problemstellung abzurunden, sollten die heißen Zellen für hohe Aktivitäten Erwerbung finden.

Ein spezifischer Versuchsreaktor hat nur dann einen Sinn, wenn er sich in der Nähe von Laboratorien befindet, die für die nähere Untersuchung der im Reaktor erprobten Anlagenteile ausgerüstet sind.

1) Aus einer vom CEN in Mol für Euratom durchgeführten Studie.

2) Aus einer vom Reactor Centrum Nederland für Euratom durchgeführten Forschungsarbeit.

Die Einrichtung des gemeinsamen Forschungszentrums von Ispra verfügt nur über ein Laboratorium für mittlere Aktivitäten. Es war daher unerlässlich, in der ESSOR-Anlage zwei Typen von Heißzellen vorzusehen. Eine stark abgeschirmte Anlage dient der umfassenden Untersuchung von Brennelementen einschließlich ihrer Zerlegung in die Einzelstäbe. Diese Stäbe können in das Laboratorium für mittlere Aktivitäten überstellt werden. Eine zweite, weniger abgeschirmte Zelle mit größeren Abmessungen findet Verwendung bei der Untersuchung der Kühlkanäle.

## B BESCHREIBUNG DER ANLAGE

### 1. Wichtigste Anlageteile

Der aktive Teil des Reaktors wird aus einem Kranz von 16 sog. Nährzonen-Brennelementen gebildet, der eine zentrale Zone umgibt, in welcher zwölf ORGEL-Versuchskühlkanäle Platz finden. Die Aufgabe der hochangereicherten Nährzonenelemente besteht darin, das Gesamtcœur kritisch zu machen.

Die Nährzonenelemente bestehen aus zu 90% angereichertem Uran, das mit Aluminium legiert ist. Die Brennstoffträger haben die Form gebogener Platten, welche in je drei Abschnitten zu rohrförmigen Elementen zusammengebaut werden. Die Brennelementkühlung erfolgt mit schwerem Wasser.

Die Kanäle für ORGEL-Brennelemente bestehen im wesentlichen aus Druckrohren, welche eine organische Flüssigkeit zur Kühlung der Brennelemente durchströmt. Die Wärmeabfuhr erfolgt über mehrere primäre und sekundäre Kreisläufe an die Außenluft.

Der Aufbereitung des organischen Kühlmittels dienen spezielle Reinigungsanlagen (Destillation, Entgasung, Filtration).

Das Beladen und Entladen der Brennelemente und der Wechsel der Druckrohre erfolgen bei abgeschaltetem Reaktor durch spezielle Wechselmaschinen.

In verschiedenen Stationen können bestrahlte Brennelemente und Druckrohre beobachtet, gewaschen, zerlegt, verpackt und gelagert werden.

Der Reaktor und seine wesentlichen Hilfsanlagen befinden sich in einem druckfesten Sicherheitsbehälter. In angrenzenden Gebäuden sind alle Einrichtungen untergebracht, die Betrieb und Kontrolle des Reaktors sowie die Auswertung der Experimente, insbesondere an den ORGEL-Kanälen inklusive Brennelementen, erforderlich machen.

Die Betriebs- oder Versuchsüberwachung erfolgt mittels einer Datenverarbeitungsanlage, die in der Nähe des Kontrollraumes außerhalb des Sicherheitsbehälters ihren Platz hat.

Eine Diesel-Hilfsanlage gestattet es, den Reaktor auch beim Versagen der elektrischen Energieversorgung ohne Störung weiterzubetreiben.

### 2. Nukleare und thermische Auslegung des Cores

#### 2.1 DIE FESTLEGUNG DES COREAUFBAUES

Die nuklearen Rechnungen haben ergeben, daß sowohl der Brennstoffeinsatz als auch die thermische Leistung der Nährzonenelemente durch einen möglichst engen Gitteraufbau klein gehalten werden können (Abb. 1). Auch die Forderung nach möglichst gleichmäßiger Verteilung des Neutronenflusses in der ORGEL-Zone (geringe Flußanisotropie) wird dadurch am besten erfüllt.

Der Abstand der ORGEL-Kanäle und die allgemeine Corekonfiguration wurden daher weitgehend durch die Erfordernisse des mechanischen Aufbaues bestimmt (vgl. Tab. 3).

Bei einer Optimalisierungsstudie ergab sich ein wirtschaftlich zweckmäßiger radialer Reflektor von ungefähr 40 cm Dicke. Das legte den Radius des Behälters auf 119 cm fest.

Tabella 3: Daten zum Coreaufbau

12 Versuchskanäle (ORGEL-Kanäle) in einem quadratischen Gitter mit einer Seitenlänge von	25,6 cm
16 Nährzonen-Kanäle auf einem Radius von	59 cm
16 Kontroll- u. Sicherheitsstäbe auf einem Radius von	74 cm
Innerer Radius des Behälters	119 cm
Höhe der ORGEL-Brennelemente	150-170 cm
Höhe der Nährzonen-Elemente	160 cm
Höhe des schweren Wassers im Behälter	230 cm

Die Höhe des schweren Wassers im Behälter wurde auf 230 cm festgelegt, um bei einer aktiven Brennelementlänge von 170 cm axiale Reflektoren von 30 cm zu erhalten.

### 2.2 ERGEBNISSE DER NUKLEAREN RECHNUNGEN

Berechnungen wurden mit ORGEL-Brennelementen aus  $UO_2$ , UC und Uranmetall unter Variation der Parameter: Anordnung, Temperatur, Vergiftung und Abbrand durchgeführt.

Bei den Nährzonenelementen wird auf 90% angereichertes Uran verwendet, wobei Abbrände bis zu 40% des enthaltenen Spaltstoffes erwartet werden.

Im Falle von Urancarbid als Brennstoff in den ORGEL-Elementen muß z. B. der Spaltstoffgehalt pro Nährzonen-

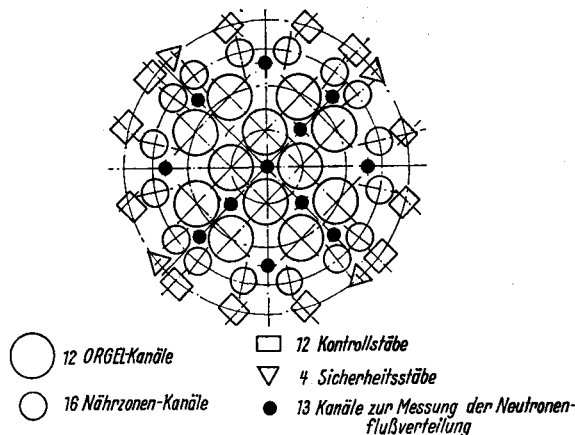


Abb. 1: Coreaufbau.

element 460 g Uran betragen, um einen Abbrand von 5000 MWd/t in der ORGEL-Zone erzielen zu können.

Um die Reaktivitätsschwankungen zu begrenzen und den Einfluß der Kontrollstäbe zu vermindern, wird jeweils nur ein Viertel der Nährzonenbrennelemente gleichzeitig entladen und durch neue Elemente ersetzt.

Wenn man in der ORGEL-Brennelementzone eine maximale spezifische Leistung von 25 MW/t Uran erreichen will, so legt das die Leistung pro Nährzonenelement im ungünstigsten Fall mit 1,9 MW fest.

Tab. 4 faßt die sich ergebenden Leistungsdaten für den Fall von Urancarbid als Brennstoff der ORGEL-Elemente zusammen.

### 2.3 KONTROLLSTÄBE

Es werden vier Typen von Kontrollstäben verwendet.

*Sicherheitsstäbe*, welche nuklear schwarz sind und einen Durchmesser von 60 mm sowie eine Länge von 130 cm besitzen. Sie sind in 0,5 sec einfahrbar, ihr Reaktivitätswert beträgt 4%.

Tabella 4: Thermische Leistungen im Reaktor

Nominalleistung eines ORGEL-Elementes	1 MW
Gesamtleistung der ORGEL-Zone	13 MW
Maximale Leistung eines Nährzonen-Elementes	1,9 MW
Maximale Gesamtleistung der Nährzone	25 MW
Maximale Gesamtleistung des Reaktors	88 MW



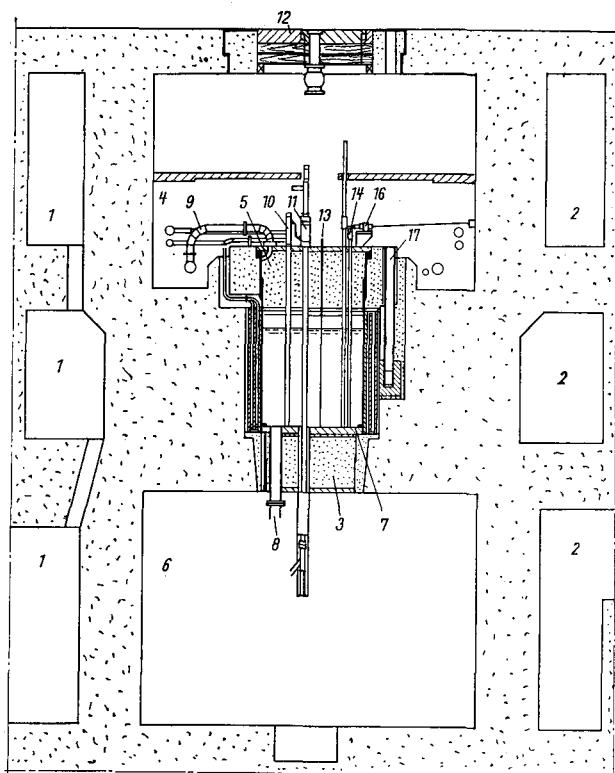


Abb. 2: Vertikalschnitt durch den Reaktor.

- |                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| 1,2 Innere Umgänge          | 7 Reaktortank        |
| 3 Unterer Abschirmungsblock | 8 Thermischer Schild |
| 4 Obere Kammer              | 9 Abblasleitung      |
| 5 Oberer Abschirmungsblock  | 10 Nährzonenkanal    |
| 6 Untere Kammer             | 11 ORGEL-Kanal       |

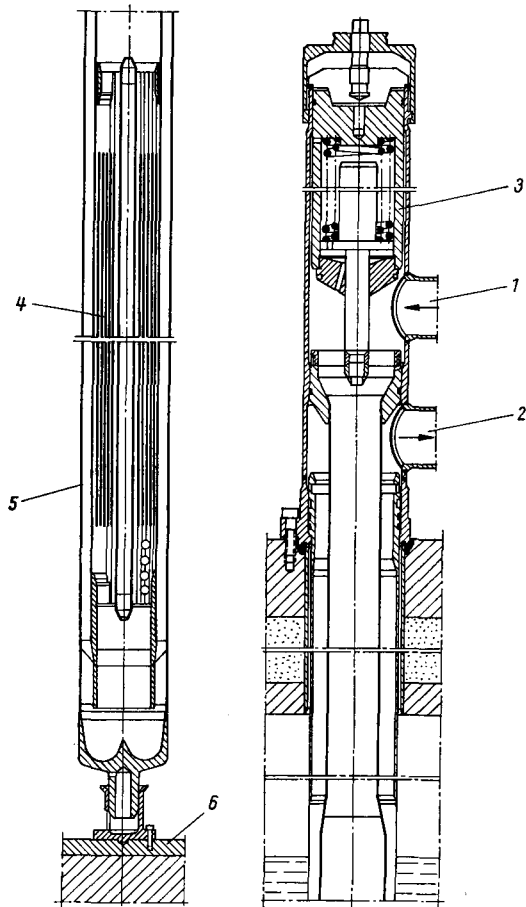


Abb. 3: Nährzonenkanal.

- |                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1 Eintritt des schweren Wassers | 4 Brennelement           |
| 2 Austritt des schweren Wassers | 5 Tauchrohr              |
| 3 Stopfen                       | 6 Boden des Reaktortanks |

**Kompensationsstäbe**, welche die kurzzeitige Ausregelung von Temperatur- und Vergiftungseffekten ermöglichen (etwa 6% Reaktivität).

**Trimmstäbe**, welche zur Kompensation der langsamen Reaktivitätsverluste durch Abbrand dienen (ORGEL-Zone ca. 2,7%, Nährzone ca. 2,3%).

**Regelstäbe**, die für die Regelung der schnellen Reaktivitätsveränderungen (ca. 0,02%/sec) vorgesehen sind.

## 2.4 DYNAMISCHES VERHALTEN

Kinetisch verhält sich der Reaktor wie ein Einzonencore. Der Temperaturkoeffizient der organischen Flüssigkeit ist positiv ( $+1,5 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ). Rechnungen auf dem Analogrechner ergaben jedoch eine gute Stabilität des Reaktors.

## 2.5 WÄRMETECHNISCHE DATEN

Die Kühlung der Nährzonenelemente erfolgt durch Umlauf schweren Wassers in Fingerhut-Kühlkanälen, unabhängig von der Zirkulation des Moderatorwassers.

Die wichtigsten Kreislaufdaten sind der Tab. 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Wärmetechnische Daten der Nährzonenelemente

Leistung des Kanals	1,9 MW
Eintrittstemperatur des D <sub>2</sub> O	47 °C
D <sub>2</sub> O-Durchsatz	90 m <sup>3</sup> /h
Geschwindigkeit des D <sub>2</sub> O	7 m/s
Druck am Kanalaustritt	3 ata
Brennelement-Oberflächentemperatur (mit Hot Channel-Faktor)	132 °C
(ohne Hot Channel-Faktor)	98 °C

Die Betriebsbedingungen der ORGEL-Kanäle können in weiten Grenzen variiert werden. Daten sind in Abschnitt 4.2 zu finden.

## 3. Aufbau des Reaktors

### 3.1 REAKTORANORDNUNG

Der Reaktor besteht aus einem rostfreien Stahlbehälter für den Moderator, in den die Nährzonenkanäle, die ORGEL-Versuchskanäle, die Kontrollstäbe und Kanäle für die Vermessung des räumlichen Neutronenflußverlaufes hineintauchen (Abb. 2).

Dieser Behälter ist auf einen unteren Abschirmblock abgestützt und wird oben durch einen zweiten Abschirmblock verschlossen. Bei abgeschaltetem Reaktor betretbare Kammern oberhalb und unterhalb des Reaktors ermöglichen den Zugang zu den äußersten Enden der ORGEL-Kanäle. Alle Corepositionen können von der Reaktorhalle her über einen Drehdeckel mittels Wechselmaschinen angefahren werden.

Die obere Kammer dient weiterhin auch zur Erleichterung erforderlicher Maßnahmen bei Brennelementwechsel und zur Unterbringung der Kontrollstabantriebe.

Seitlich ist der Reaktor von einem thermischen Eisen-Wasser-Schild umgeben, hinter dem eine Betonmauer angeordnet ist, um auch bei in Betrieb befindlichem Reaktor die den Reaktorblock umgebenden Gänge betreten zu können.

### 3.2 NÄHRZONENKANÄLE

Die Nährzonenelemente sind vom Typ der im Testreaktor BR-2 verwendeten (Abb. 3). Sie werden aus gewölbten Platten aus einer U-Al-Legierung gebildet. Die Urananreicherung beträgt 90%.

Die Kühlung der Nährzonenelemente erfolgt durch schweres Wasser in Kanälen vom Fingerhut-Typ (Eintritt und Austritt am Oberteil). Jede Kanaleinheit wird durch ein Brennelement und sein Führungsrohr gebildet und befindet sich in einem festen (aber demontierbaren) Fingerhut, der in den Reaktorbehälter hineintaucht.



### 3.3 ORGEL-KANALE

Diese Versuchskanäle sind weitgehend zerlegbar und können durch Kanäle völlig anderen Typs ersetzt werden, soweit deren äußere Abmessungen den Erfordernissen des Einbaues entsprechen (Abb. 4).

Diese Kanäle sind folgendermaßen aufgebaut:

Die Enden des Druckrohres sind über das obere und untere, außerhalb der Abschirmblöcke liegende Kanalrohr mit den Zu- und Ableitungen für organisches Kühlmittel sowie mit dem Reaktortank dicht verbunden. Die Dichtungen liegen im Bereich geringer Strahlung und sind auswechselbar.

Der Festpunkt befindet sich im oberen Teil, die Ausdehnung vollzieht sich frei nach unten. Die Druckrohre werden im Bereich der Abschirmblöcke außen durch schweres Wasser gekühlt, das jeweils am äußeren Ende eintritt und in den Moderator abfließt. Die Umwälzung der organischen Flüssigkeit erfolgt von oben nach unten.

Die Brennelemente, die durch Bündel von Brennstoffstäben mit SAP-Umhüllung<sup>\*)</sup> gebildet werden, können oben an den Stopfen der Kanäle aufgehängt sein oder auf mit den Kanälen unten verbundenen Unterstützungen ruhen.

Verklemt sich das Brennelement im Druckrohr während des Betriebs oder Elementwechsels, so kann der Kanal zusammen mit dem Brennelement nach einer gewissen Abklingzeit und teilweiser Dekontaminierung des Kühlkreislaufes aus dem Reaktor herausgenommen werden.

### 3.4 KONTROLLSTÄBE

Die Sicherheitsstäbe befinden sich in gasgefüllten Fingerhüten, die in den Moderator hineinragen. Bei Schnellabschaltung werden die Stäbe durch ihr Gewicht und über einen mit Gasdruck betätigten Kolben innerhalb von 0,5 sec in den Reaktor eingefahren.

Die Regelstäbe, Kompensationsstäbe und Trimmstäbe sind mit dem D<sub>2</sub>O-Moderator in unmittelbarer Berührung. Sie laufen innerhalb von Führungsrohren, die ihre Funktion auch nach einem durch Druckrohrbruch hervorgerufenen Schadensfall sicherstellen sollen.

### 3.5 KANALE ZUR MESSUNG DER NEUTRONENFLUSS-VERTEILUNG

Die Messung des Flußverlaufes erfolgt durch Aktivierung von Nickel- oder Wolframdrähten in 13 vertikal im Core angeordneten Kanälen.

### 3.6 REAKTOR-BEHÄLTER

Der Reaktor-Behälter ist für einen unfallbedingten Überdruck von 8 kg/cm<sup>2</sup> (Druckrohrbruch) ausgelegt. Beim Auftreten eines solchen Unfalles wird das Reaktorgefäß noch über eine Berstscheibe mit einem Kondensator großer Kapazität verbunden. Der normale Heliumdruck im Behälter beträgt etwa 0,01 atü.

### 3.7 KANALE FÜR IONISATIONSKAMMERN

In vier vertikalen Kanälen, die sich außerhalb des thermischen Schildes befinden, können insgesamt neun Ionisationskammern und zwei Spaltkammern eingesetzt werden. Die Befestigung erfolgt an den Enden von Bleistopfen, die ihrerseits mit Hilfe der Wechsellaschine für ORGEL-Elemente gehandhabt werden können.

## 4. Kreisläufe für organisches Kühlmittel

### 4.1 ALLGEMEINES

Die Kreisläufe für organisches Kühlmittel haben die Aufgabe,

die in den ORGEL-Brennelementen freiwerdende Wärme unter den verschiedenen experimentellen Bedingungen von Temperatur, Kühlmitteldurchsatz usw. abzuführen;

die gewünschte Zusammensetzung des organischen Kühlmittels aufrechtzuerhalten und Verunreinigungen auszuschneiden.

<sup>\*)</sup> SAP: Sintermetallurgisch hergestellte Legierung von Aluminium und Aluminiumoxyd (5–10%) mit hoher Warmfestigkeit.

Als Reaktorkühlmittel sollen u. U. verschiedene Flüssigkeiten verwendet und getestet werden. Zunächst wird ein niedrig schmelzendes Terphenylprodukt der ungefähren Zusammensetzung 15% Ortho-T, 80% Meta-T, 5% Para-T in Mischung mit ca. 30% hochsiedenden Polymeren verwendet werden.

Den Aufgaben des Entwicklungsprogramms entsprechend sind vorgesehen:

vier sog. Einfachkreisläufe mit jeweils nur einem durch das Reaktorkore führenden Brennelementkanal (zwei davon werden nicht sofort installiert);

ein sog. Mehrfachkreislauf mit acht parallel geschalteten, durch das Reaktorkore führenden Brennelementkanälen.

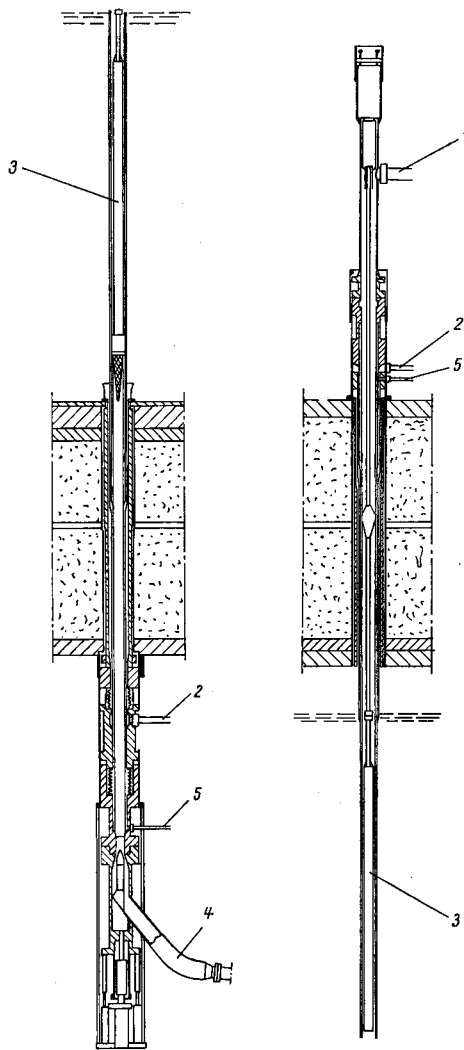


Abb. 4: ORGEL-Kanal.

- 1 Eintritt des organischen Kühlmittels
- 2 Eintritt des schweren Wassers
- 3 Brennelement
- 4 Austritt des organischen Kühlmittels
- 5 Gasisolation

Jeder Kreislauf befindet sich mit den ihm eigenen Hilfsanlagen in einem separaten, dichten, abgeschirmten Kreislaufraum und kann unabhängig von den übrigen betrieben werden. Die allen Kreisläufen gemeinsamen Hilfsanlagen sind teilweise außerhalb des Reaktorgebäudes untergebracht.

### 4.2 WARMEUBERTRAGUNGSSYSTEM

Die im Reaktor freiwerdende Wärme wird nicht wirtschaftlich ausgenutzt. Den besonderen Versuchsbedingungen entspricht am besten ein System, in dem die Wärme vom Primärkreis über einen Zwischenkreis mit ebenfalls

organischem Wärmeträger (Methylnaphtalin) an die Außenluft abgeführt wird.

Die Wärmeübertragung von dem Sekundärkühlmittel an die Luft erfolgt dabei in einem Luftkühler, in dem der natürliche Luftstrom durch einen Kamin verstärkt wird. Ventilatoren werden nicht verwendet.

Reaktorleistung, Kühlmitteltemperatur, Kühlmitteldruck, Reaktordurchsatz und Strömungswiderstand im Core kön-

Tabelle 6: Betriebsdaten der Primärkreisläufe

	Einfach- kreislauf	Mehrfach- kreislauf
Coredurchsatz . . . . .	2 bis 20 l/sec	16 bis 160 l/sec
Kühlmitteltemperaturen . . . . .	250 bis 425° C	250 bis 425° C
Auslegungstemperatur . . . . .	450° C	450° C
Druck am Coreintritt . . . . .	10 bis 30 atü	10 bis 30 atü
Auslegungsdruck . . . . .	41 atü	41 atü
Leistung . . . . .	0,2 bis 1,8 MW	1,2 bis 12 MW

nen während der Versuche in weiten Grenzen variiert werden (siehe Tab. 6).

Zur Regelung sind in den Primärkreisen Bypässe zum Reaktor mit Regelventilen und in den Sekundärkreisen Bypässe zu den Primärwärmetauschern mit Regelventilen sowie Jalousien in den Luftkühlern vorgesehen. Damit können wahlweise jeweils zwei der Betriebsgrößen Reaktoreintrittstemperatur, Reaktorausstrittstemperatur und Kühlmitteldurchsatz konstant gehalten werden.

Jeder Primärkreislauf enthält einen Stoßtank, der kurzzeitige Volumenänderungen aufnehmen kann.

Den Ausgleich langzeitiger Volumenänderungen übernimmt der Entgasertank. Das Entgasungssystem sitzt in einem Bypass zum Primärkreis und wird ständig durchflossen. Die Pumpen, die den Entgaserdurchsatz in die Primärkreise zurückfördern, erfüllen gleichzeitig die Funktion der Druckhaltung. Der Druck in den Stoßtanks wird durch Drehzahlregelung der Druckhaltepumpen konstant gehalten.

In einem der Einfachkreisläufe wird der Systemdruck nicht durch die Entgasungs-Rückförderpumpen, sondern durch Gaszufuhr bzw. Gasentnahme am Stoßtank direkt geregelt. Als Druckhaltegas kann Stickstoff, Wasserstoff oder ein künstlich hergestelltes, der Zusammensetzung der Zersetzungsgase entsprechendes Gemisch verwendet werden.

Jeder Primärkreislauf enthält drei einstufige Prozeß-Kreiselpumpen, jede ausgelegt für 50% der Nominalfördermenge, von denen sich jeweils zwei in Betrieb und eine in Reserve befinden. Die Wellen sind mit speziellen Gleitringdichtungen abgedichtet.

In einem Bypass zu den Primärwärmetauschern befindet sich jeweils ein Notwärmetauscher, der in der Lage ist, bis zu 5% der nominellen Maximalleistung abzuführen.

#### 4.3 REINIGUNGS- UND ENTGASUNGSSYSTEM

Das organische Kühlmittel ist unter Strahlung und bei höheren Temperaturen nicht stabil. Es bilden sich durch Radiolyse und Pyrolyse hochsiedende Polymere und Zersetzungsgase (im wesentlichen Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe). Bei Undichtigkeiten der Brennstoffhüllrohre können auch Spaltgase in das Kühlmittel gelangen. Durch Abrieb, Korrosion und Agglomeration entstehen ferner anorganische und organische Partikel, die das Kühlmittel verschmutzen.

Zur Aufrechterhaltung eines störungsfreien Betriebes müssen alle diese Stoffe aus dem Kühlmittel entfernt und die Konzentration an hochsiedenden Polymeren ungefähr konstant gehalten werden.

Diese Aufgaben erfüllen:

Anschwemmfilteranlagen mit den erforderlichen Dosier- und Austrageinrichtungen;

Entgasungsanlagen mit Entgasertanks, Kondensatoren, Kondensatsammler- und Rückförderpumpen;

kontinuierlich arbeitende Destillationsanlagen mit Destilliersäulen, Heizern, Kondensatoren, Kondensatsammlern und Bodenprodukt-Sammeltanks.

Weiterhin ist jedem Reinigungssystem zum Einfüllen frischen Kühlmittels eine eigene Schmelzstation mit nachgeschalteten Grobfiltern angeschlossen.

Tabelle 7: Durchsätze der Reinigungssysteme  
(in Klammern: stündlicher Durchsatz in % des Kreislaufinhaltes)

	Einfachkreislauf	Mehrfachkreislauf
Filteranlage . . . . .	450 kg/h (21,5%/h)	2500 kg/h (37%/h)
Entgasungsanlage . . . . .	450 kg/h (21,5%/h)	2500 kg/h (37%/h)
Destillationsanlage . . . . .	25 kg/h ( 1,2%/h)	125 kg/h (1,9%/h)

#### 4.4 HILFSSYSTEME

Ein Stickstoffsystem mit einer zentralen Stickstoffstation ermöglicht das Spülen der Reaktoranlage vor Inbetriebnahme, die Erneuerung der Gaspolster in den verschiedenen Behältern und die Förderung der organischen Flüssigkeiten in verschiedenen Anlagenteilen.

Jeder Kreislauf hat ferner sein eigenes Nebenkühlsystem. Dazu gehören ein Nebenkühlkreis mit einer organischen Flüssigkeit als Wärmeträger zur Kühlung der Kondensatoren und des Notwärmeaustauschers, sowie ein Kühlwassersystem zur Kühlung des Nebenkühlkreises, der verschiedenen Pumpen und der Umluftanlage.

In jedem Kreislaufraum befindet sich eine Umluftanlage mit Filtern zur Abscheidung von Kühlmitteldämpfen und sonstigen Luftverunreinigungen sowie einem Wärmetauscher, über den die gesamte in die Kreislaufatmosphäre abgegebene Verlustwärme abgeführt wird.

Ein Vakuum- und Abgassystem stellt das für die Destillation und Entgasung erforderliche Vakuum bereit und ermöglicht die Entlüftung der verschiedenen Behälter. Alle Radioaktivität enthaltenden Abgase werden über diese Anlage geleitet, wobei je nach Aktivität der Durchsatz durch Verzögerungstrecken oder Lagerung in Abklingtanks vorgesehen ist.

In einer außerhalb des Reaktorgebäudes liegenden Lager- und Abfüllstation werden die bei Destillation und bei Filterbetrieb anfallenden Rückstände zum Abtransport abgefüllt oder bei unzulässig hoher Aktivität zum Abklingen in Tanks gelagert.

Eine zentrale Dampferzeugungsanlage stellt Sattdampf mit einem Druck von 20 atü bereit, mit dem alle Anlagenteile mit Substanzen, die bei Umgebungstemperatur erstarren, mittels Begleitrohren beheizt werden.

Für Brand- und Explosionsschutz sind in den Reaktorkammern je eine CO<sub>2</sub>-Anlage und in den Kreislaufräumen Sprinkleranlagen mit normalem Wasserdurchsatz sowie Sprühflutanlagen mit hoher Sprühleistung vorgesehen. Die Sprinkleranlagen werden bei schnellem Temperaturanstieg und Aufschmelzung der lotverschlossenen Sprinklerdüsen, die Sprühflutanlagen bei schnellem Temperaturanstieg in Koizidenz mit einer Druckmeldung automatisch ausgelöst.

#### 5. Kreisläufe für schweres Wasser

Die Schwerwasser-Kreisläufe dienen der Kühlung der Nährzonenelemente, der Druckrohre der ORGEL-Kanäle und der Abführung der in den Moderator gelangten Wärme.

Es sind zwei unabhängige Kreisläufe vorgesehen, von denen jeder mit einer Lagerungs-Einfüll- und Reinigungsanlage versehen ist. Das schwere Wasser tritt in den Reaktor mit 47° C ein. Die aufgenommene Wärme wird über Wärmetauscher an einen Leichtwasserkreislauf übertragen. Das leichte Wasser seinerseits wird über Kühl-

türme auf eine Temperatur von 25°C abgekühlt. Der Kühlkreislauf der Nährzonenelemente besteht aus drei Zweigen mit einem Gesamtdurchsatz von 1500 m<sup>3</sup>/h und einer nominalen Leistung von 25 MW. Der Moderatorkreislauf ist für eine Leistung von 3,6 MW und einen Durchsatz von 400 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.

Als Schutzgas wird Helium verwendet. Der zugehörige Kreislauf umfaßt Einrichtungen zur Rekombination, Kühlfällen etc.

#### 6. Handhabung und Lagerung von Brennelementen und anderen Reaktorbestandteilen

Unter den Begriffen *Handhabung* und *Lagerung* zusammengefaßt sind alle Vorgänge des Transportes, der Behandlung während des Transportes sowie die vorbereitende und abschließende Behandlung und Untersuchung aller derjenigen Teile, die für den Betrieb des Reaktors erforderlich sind. Dies sind die Teile, die beim Betrieb des Reaktors verbraucht oder defekt werden können, wie Brennelemente mit Zubehör, Kontrollstäbe und Druckrohre sowie Teile, die als Werkzeug dienen, wie Stopfen aller Art, Wechselrohre und Transportbehälter.

Zum Bewegen aller Teile stehen eine Reihe von Transportvorrichtungen zur Verfügung, und zwar im Sicherheitsbehälter je eine Wechselmaschine für die ORGEL-Zone und die Nährzone, ein Transportwagen und der Gebäudekran sowie in einzelnen Handhabungs- und Lagerstationen spezielle Vorrichtungen.

Zum vorbereitenden und abschließenden Behandeln und zur Untersuchung dienen die Handhabungsstationen für nichtaktive Teile, für Brennelemente der ORGEL-Zone und für Druckrohre sowie die Lagerstationen, darunter das Abklingbecken.

#### 6.1 TRANSPORTVORRICHTUNGEN

Von allen für die Handhabung von Brennelementen und anderen Reaktorbestandteilen vorgesehenen Transportvorrichtungen haben nur die beiden *Wechselmaschinen* eine vollständige Abschirmung, und nur sie lassen sich gasdicht mit den Kühlkreisläufen oder dem Reaktortank verbinden. Daher kann alles Einsetzen und Auswechseln von Teilen in dem Reaktor selbst nur mit ihnen vorgenommen werden. Alle anderen Transportvorrichtungen befördern nur nichtaktive Teile oder arbeiten hinter Abschirmschilden und so, daß die zu befördernden Teile nicht besonders gekühlt zu werden brauchen. Sie sind daher von konventioneller Bauart und werden hier nicht näher beschrieben.

Die Wechselmaschine für die ORGEL-Zone wurde entworfen für das Einsetzen und Ziehen von Brennelementen der ORGEL-Zone, von Druckrohren und weiteren Teilen bis zu einem größten Durchmesser von 240 mm.

Die Wechselmaschine für die Nährzone wurde entworfen für das Einsetzen und Ziehen von Brennelementen der Nährzone und von Kontrollstäben.

Bei beiden Wechselmaschinen ist darauf geachtet, daß das Bedienpersonal immer genügend geschützt ist und daß bestrahlte Brennelemente so gekühlt werden, daß sie keine unzulässig hohen Temperaturen erreichen. Ferner muß Luft und Feuchtigkeit aus dem Inneren der Maschine entfernt werden können, damit kein Sauerstoff ins organische Kühlmittel und kein Leichtwassertampf ins Schwerwasser gelangt. Außerdem sollen alle Gase, die mit einem defekten Brennelement in Berührung waren oder aus sonstigen Gründen Aktivitäten erhalten könnten, nur ins Vakuumsystem oder ausreichend verdünnt ins Abluftsystem gelangen.

Beide Wechselmaschinen bestehen jeweils aus einer *Wechselflasche* und einem *Oberwagen*, haben aber nur einen *gemeinsamen Unterwagen*, so daß jeweils nur eine der beiden Maschinen in Betrieb sein kann, die andere ist vorher vom Unterwagen herunter in die jeweilige Garage gefahren worden. Der Arbeitsbereich der Wechselmaschinen ist durch den Fahrbereich des

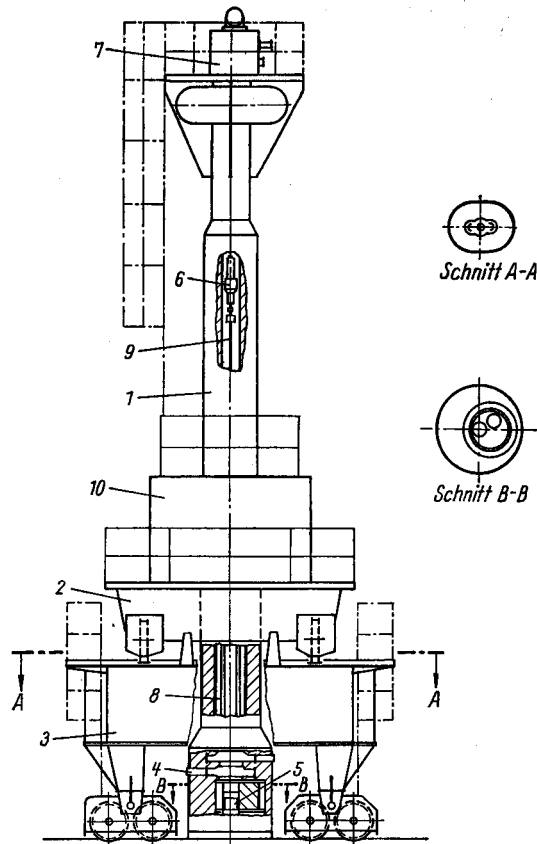


Abb. 5: Wechselmaschine für ORGEL-Zone.

- 1 Wechselflasche mit Abschirmung
- 2 Oberwagen
- 3 Unterwagen
- 4 Bodenschieber
- 5 Stopfenziehvorrichtung
- 6 Greifer
- 7 Hubwerk
- 8 Kühlkassette
- 9 Brennelement
- 10 Abgeschirmte Apparatkammer

Unterwagens gegeben, er erstreckt sich quer durch den Sicherheitsbehälter symmetrisch zur Ost-West-Achse. Im Arbeitsbereich liegen sämtliche Schleusenöffnungen zum Reaktor und zu allen Handhabungs- und Lagerstationen.

Die Wechselflasche der Wechselmaschine für die ORGEL-Zone besteht aus einem zylindrischen Druckgefäß (Abb. 5), das nach außen eine Bleiabschirmung mit Blechpanzer trägt und im Inneren eine Kühlkassette mit Stickstoffzuführung besitzt. Die Kassette besteht aus zwei Halbschalen, welche seitlich an ein zu kühlendes Brennelement herangedrückt werden und es mit einem geringen Spalt auf der ganzen Länge des aktiven Teils umschließen. Ein System von zwei fernbetätigten Bodenschiebern mit Sperrgaszwischenraum schließt die Flasche nach unten dicht ab. Ein Bodenteil mit absenkbarem Dichtflansch erlaubt es, die Flasche mit Schleusenöffnungen zu verbinden. Im Druckgefäß arbeitet ein austauschbarer Greifer, der über Ketten für die verschiedenen Handhabungsvorgänge betätigt werden kann.

Der Antrieb des *Hubwerkes* ist außen am Kopf der Wechselflasche befestigt. Nur die Antriebswelle selbst befindet sich im Druckgefäß und ist mit doppelten Manschetten und Sperrgaszwischenräumen gedichtet. Der Antrieb erfolgt elektrisch mit Schnell- und Feingang. Axial unter den Bodenschiebern ist eine Abschirmstopfen-Ziehvorrichtung mit drehbarem Magazin, Hubwerk und selbsttätigem Greifer angebaut. Alle Antriebe der Stopfen-Ziehvorrichtung erfolgen von Hand.

Die *Kühlung* der Brennelemente in der Kühlkassette erfolgt durch ein gasdicht gekapseltes Gebläse, das Stickstoff unter 4 ata Druck in einem geschlossenen und abgeschirmten Kreislauf umwälzt. Zum Kühlkreislauf gehören ein Wärmetauscher zum Rückkühlen des Stickstoffes gegen die Umgebungsluft und eine Filterstrecke. Eine Notkühlung durch Fluten mit einem organischen Kühlmittel, das sich in einem Behälter am Kopf der Wechselflasche befindet, ist möglich bei Ausfall der Stickstoffkühlung.

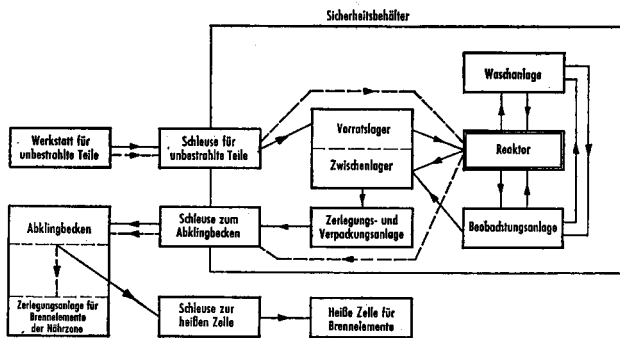


Abb. 6: Schema der Handhabung von Brennelementen.

— Weg der Brennelemente der ORGEL-Zone  
 - - - Weg der Brennelemente der Nährzone

Das Positionieren der Maschine erfolgt auf einer Zielmarke mittels Periskops. Das Beobachten von gehandhabten Teilen mit einem Periskop während des Ziehens ist möglich.

Die Wechsellaschine für die Nährzone ist nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Nur die Kühlkassette im Inneren des Druckgefäßes ist wesentlich kürzer, da das Brennelement mit einem Mantelrohr umgeben ist.

Nach ausführlichen konstruktiven Studien wurde der vorstehend beschriebene Wechsellaschinentyp gewählt, um die bei Maschinen mit Brennelementmagazin erhöhten Risiken der Handhabung von experimentellen, d. h. evtl. häufig beschädigten Brennelementen zu vermeiden.

### 6.2 HANDHABUNGSSTATIONEN

Außerhalb des Sicherheitsbehälters liegt die Werkstatt für neue Teile, wohin alle neuen Teile angeliefert, zusammgebaut und geprüft werden, um dann anschließend durch die Schleuse für neue Teile in den Sicherheitsbehälter gebracht zu werden.

Innerhalb des Sicherheitsbehälters liegen westlich des Reaktors folgende Stationen für Brennelemente der ORGEL-Zone (Abb. 6, 8, 9, 10):

- ein Vorratslager für neue Brennelemente,
- eine Beobachtungsanlage, in der aktive Elemente durch Fernsehkameras und durch Röntgeneinrichtungen untersucht werden können,
- eine Waschanlage, in der anhaftende Kühlmittelreste an Brennelementen, Druckrohren und anderen Teilen sowie aus der Wechsellaschine durch Lösungs- oder Spülmittel abgewaschen werden können. Drei verschiedene Waschmittel können nacheinander eingesetzt und nach Gebrauch durch Destillation wieder aufgearbeitet werden.
- ein Zwischenlager, in dem die Brennelemente die ersten zehn Tage nach Verlassen des Reaktors gelagert werden, bis die Nachglühwärme zum größten Teil abgeklungen ist,
- eine Demontage- und Verpackungsanlage, in der die Brennelemente von ihren Stopfen getrennt und in eine mit organischem Kühlmittel gefüllte Lagerbüchse eingesetzt werden.

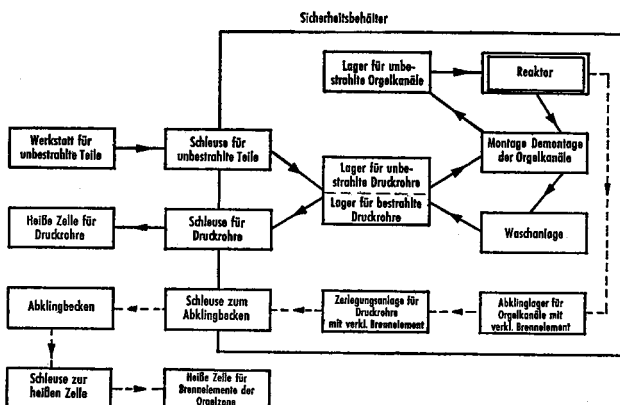


Abb. 7: Schema der Handhabung von Druckrohren bzw. ganzen ORGEL-Kanälen.

— normaler Weg  
 - - - Weg mit verklemmten Brennelementen

Die verpackten Brennelemente verlassen den Sicherheitsbehälter durch die Schleuse zum Abklingbecken, in dem sie in Lagergestellen stehend aufbewahrt werden, bis Nachglühwärme und Aktivität so weit abgeklungen sind, daß sie durch die Schleuse zur heißen Zelle für Brennelemente gebracht werden können, wo sie den Büchsen entnommen und überprüft werden können.

Ein Schema für die verschiedenen Handhabungsvorgänge mit Brennelementen ist in Abb. 6 wiedergegeben.

Ebenfalls im Sicherheitsbehälter liegen östlich des Reaktors die folgenden Stationen für Druckrohre und weitere Teile (siehe Abb. 7, 8, 9, 10):

- die Anlage für die Montage und Demontage der ORGEL-Kanäle, d. h. der Druckrohre einschließlich des gesamten Zubehörs,
- die Zerlegungsanlage für Druckrohre, in der Druckrohre mit oder ohne verklemmte Brennelemente in kurze Abschnitte zerteilt und in Verpackungsbüchsen eingesetzt werden,
- das Lager und die Entaktivierungsanlage für Druckrohre mit oder ohne verklemmte Brennelemente,
- das Lager für verschiedene aktive Teile, in denen aktive Teile solange abklingen müssen, bis Nachglühwärme und Aktivität

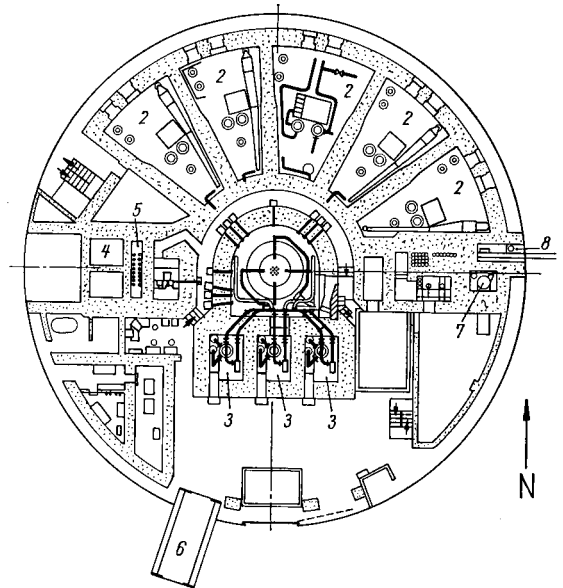


Abb. 8: Horizontalschnitt auf  $\pm 0$  m durch den Sicherheitsbehälter.

- 1 Obere Kammer
- 2 Kreislaufraum für organisches Kühlmittel
- 3 Kreislaufraum für Schwerwasser-Nährzone
- 4 Waschanlage
- 5 Zwischenlagerung
- 6 Materialschleuse
- 7 Zerlegungsanlage für Druckrohre
- 8 Schleuse für Druckrohre

so weit abgeklungen sind, daß eine Weiterbehandlung erfolgen kann, das Lager für Aus- und Einbauwerkzeuge.

In Büchsen verpackte Druckrohrabschnitte mit verklemmten Brennelementen nehmen den gleichen Weg wie die Brennelemente selbst.

Druckrohre verlassen den Sicherheitsbehälter über die Schleuse für Druckrohre und gelangen in die heiße Zelle, wo sie dann untersucht, gemessen und überprüft werden können.

Die Brennelemente der Nährzone verlassen den Sicherheitsbehälter sofort, nachdem sie aus dem Reaktor gezogen worden sind, und werden durch die Schleuse zum Abklingbecken gebracht, in dessen Nebenbecken sie unter Wasser zerlegt und in abgeschirmte und gekühlte Behälter zum Abtransport verpackt werden (Schema der Handhabungsvorgänge vgl. Abb. 6).

## 7. Überwachung, Regelung und Steuerung der Anlage

Die gesamte Reaktoranlage wird von einer Hauptschaltwarte außerhalb des Sicherheitsbehälters, einige Kreisläufe und Hilfsanlagen über Nebenschaltwarten in seinem Inneren überwacht und gesteuert.

Die Hauptschaltwarte soll vor allem die Kontrolle im Hinblick auf die Sicherheit der Gesamtanlage ermöglichen, selbst wenn der Sicherheitsbehälter nicht mehr betretbar ist.

Die am Reaktor oder an den Kreisläufen ausgeführten Messungen werden in einem automatischen Meßwertverarbeitungssystem gesammelt. Dieses System zeigt Abweichungen vom Sollbetrieb an und löst automatische Korrekturen aus. Es gestattet gleichzeitig, gewisse experimentelle Messungen auszuwerten.

Der Reaktor selbst wird durch Bewegen der Regelstäbe über ein Regel- und Sicherheitssystem geregelt und abgeschaltet. Die Kühlkreisläufe für organische Kühlmittel besitzen eigene Regelsysteme, nicht aber die Schwerwasser-Kreisläufe.

## 8. Elektrische Energieversorgung

Die Gesamtanlage des Reaktors wird von der Versorgungsstation des Standortes durch zwei Leitungen mittlerer Spannung (11,6 kV), die drei Sammelschienenabschnitte beliefern, gespeist.

Jeder Sammelschienenabschnitt speist zwei Transformatoren von 2 MVA und liefert elektrische Energie niedriger Spannung (380 Volt) an die Verbraucherstellen.

Die Notstromversorgung wird durch eine Notstromzentrale mit drei selbststartenden Diesel-Wechselstromgeneratoren (mit je 1,6 MVA Leistung) übernommen, welche die drei Sammelschienenabschnitte mit mittlerer Spannung versorgen. Dadurch wird der ungehinderte Betrieb des Reaktors auch bei Ausfall der allgemeinen elektrischen Energieversorgung sichergestellt.

Der Wechselstrom für die Regel- und Steuersysteme wird durch eine Generator-Synchronmotor-Gleichstrommotor-Gruppe sichergestellt. Der Gleichstrommotor, der durch eine Pufferbatterie gespeist wird, hat die Aufgabe, jede Störung in Spannung oder Frequenz auszuschalten.

Der Gleichstrom für die Regel- und Steuersysteme wird von Akkumulatoren geliefert.

## 9. Heiße Zellen

In der Absicht, das Verhalten bestrahlter Brennelemente und Druckrohre beobachten zu können, wurden zwei heiße Zellen vorgesehen. Ihre näheren Aufgaben wurden bereits in der Einleitung erwähnt.

## 10. Aufstellung der Anlagenteile

Alle für den Reaktorbetrieb erforderlichen Anlagen sowie Einrichtungen zur Vorbereitung, Verwirklichung und Auswertung von Versuchen sind in einem weitläufigen Gebäudekomplex einschließlich eines Sicherheitsbehälters untergebracht (vgl. Abb. 8, 9 und 10).

Der Reaktor, die Primärkreisläufe und einige Anlagen zur Handhabung von Brennelementen und Druckrohren befinden sich im Sicherheitsbehälter aus Stahlblech, der gasdicht und druckfest ist (0,1 atü) und einen Durchmesser von 45 m hat.

Die Kreisläufe für organisches Kühlmittel sowie die zugehörigen Reinigungssysteme sind in fünf radial angeordneten Räumen im Nordteil des Sicherheitsbehälters untergebracht. Die Schwerwasser-Kreisläufe haben ihren Platz im Südteil, die Brennstoffhandhabungseinrichtungen auf der Ost-West-Achse im Fahrbereich der Handhabungsmaschinen.

Westlich außerhalb des Sicherheitsbehälters ist das wassergefüllte Lagerbecken zur Aufnahme aktiver Brennelemente angeordnet. ORGEL-Elemente werden von dort

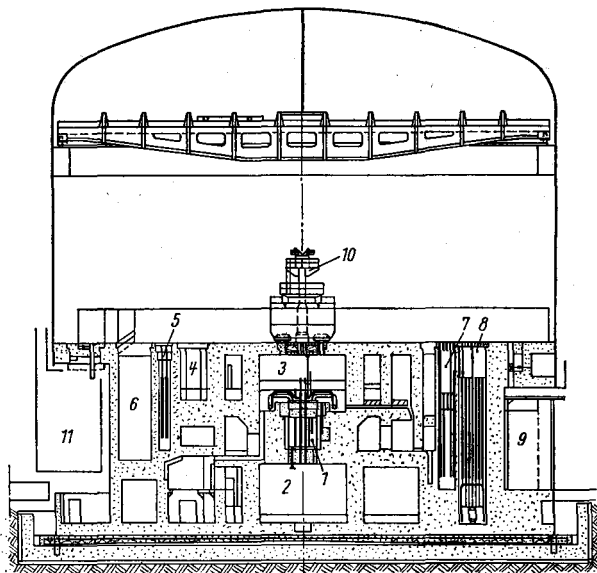


Abb. 9: Ost-West-Schnitt durch den Sicherheitsbehälter.

- 1 Reaktor
- 2 Untere Kammer
- 3 Obere Kammer
- 4 Beobachtungsraum
- 5 Zwischenlagerung
- 6 Demontage- und Verpackungsstation für ORGEL-Zonen-Brennelemente
- 7 Lagerschächte für Druckrohre
- 8 Abklingpositionen
- 9 Schleuse für Druckrohre
- 10 Wechselmaschine für Nährzone
- 11 Schleuse für Sicherheitsbehälter-Abklingbecken

nach längerer Abklingzeit an die anschließende heiße Zerlegungszelle weitertransportiert. Nährzonenelemente werden im Abklingbecken teilweise zerlegt und für den Abtransport verpackt.

Gleichfalls im Westen befinden sich ferner ein Montage- und Raum für neue Brennelemente, der H<sub>2</sub>O-Pumpenraum, eine Wasseraufbereitungsstation, eine Stickstoffstation sowie eine Kompressorstation für Druckluft und die Wasservorratsbehälter der Feuerlöschanlage.

Die im Osten liegende heiße Zelle für bestrahlte Druckrohre ist durch eine Schleuse mit dem Sicherheitsbehälter verbunden.

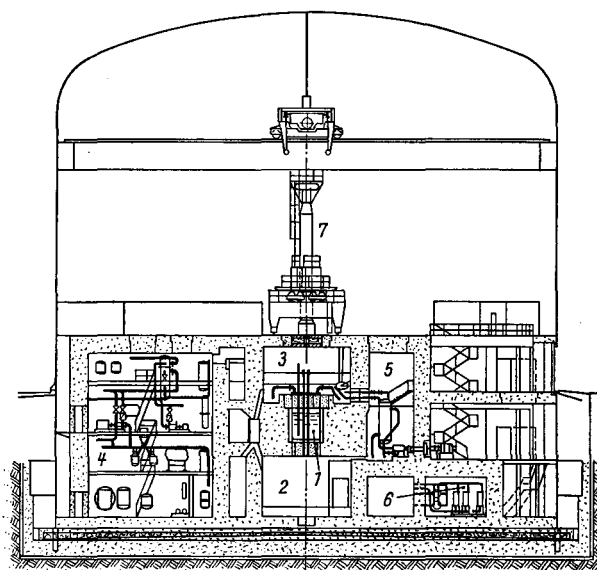


Abb. 10: Nord-Süd-Schnitt durch den Sicherheitsbehälter.

- 1 Reaktor
- 2 Untere Kammer
- 3 Obere Kammer
- 4 Kreislaufraum für organisches Kühlmittel
- 5 Kreislaufraum für Schwerwasser-Nährzone
- 6 Kreislaufraum für Schwerwasser-Moderator
- 7 Wechselmaschine für ORGEL-Zone



Im Südosten angrenzend an den Sicherheitsbehälter liegt oberhalb des Kabelverteilungsraumes die Hauptschaltwarte. Die Personenschleuse ermöglicht den direkten Zugang von dort in die Reaktorhalle.

Elektrische Schalträume, Werkstätten und Lager befinden sich im Südteil des Gebäudes.

Getrennt vom Hauptgebäude, jedoch in unmittelbarer Nähe von diesem liegen:

die Notstromdieselanlage im Süden,  
die Kühlturmstation (Rückkühlung Schwerwasser-Kreisläufe) im Westen,  
der Abgasschornstein im Nordwesten,  
die Luftkühlstation (Rückkühlung organische Kreisläufe) im Norden.

(Eingegangen am 18. 3. 1963)

DK 621.039.52.024.46.034.7.072(45)

