

KFK-397

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

Oktober 1965



KFK 397

Institut für Reaktorentwicklung

Sicherheitsbericht für FR2-Abbrandloop
(FR2-Projekt 26)

zusammengestellt von

H. Reiser



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Oktober 1965

KFK 397

Institut für Reaktorentwicklung

Sicherheitsbericht für FR2-Abbrandloop
(FR2-Projekt 26)

zusammengestellt von

H. Reiser

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

Diese Arbeit wurde im Rahmen der Assoziation zwischen der
EUROPÄISCHEN ATOMGEMEINSCHAFT und der GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG
auf dem Gebiet der schnellen Reaktoren durchgeführt.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite:</u>
<u>1. Aufgabe der Versuchseinrichtung</u>	1
<u>2. Bestrahlungsprogramm</u>	2
<u>3. Auslegung der Versuchseinrichtung</u>	3
3.1 Brennstoffprüflinge	3
3.2 Kühlung bei Normalbetrieb	4
3.3 Aufgabe der Gasreinigung	5
<u>4. Beschreibung der Versuchseinrichtung</u>	7
4.1 Aufbau der Anlage und ihre Funktion bei Normalbetrieb	7
4.2 Einzelkomponenten des Kreislaufes	10
4.2.1 Normaler Loopeinsatz	10
4.2.2 Verdichter	11
4.2.3 Hauptwärmetauscher	12
4.2.4 Halogenabscheider	12
4.2.5 Tritiumreinigung	13
4.2.6 Tieftemperatur-Adsorber	14
4.2.7 Notkühlung und Auffangsystem	14
4.2.8 Staubfilter	16
4.2.9 Sicherheitsventile	16
4.3 Räumliche Anordnung der Einzelkomponenten	17
4.4 Auswechsellvorrichtung	18
4.5 Regelung	20
4.6 Steuerung	21
4.7 Wasser- und Energiebedarf	22
<u>5. Vorversuche und Erprobungen</u>	24
5.1 Out of pile-Test	24
5.2 Dichtheitsmessung	27
5.3 Sonstige Vorversuche	27
<u>6. Auswechsellvorgänge</u>	30
6.1 Übersicht	30
6.2 Die einzelnen Auswechsellvorgänge	30
6.2.1 Einbau des Druckrohres	30
6.2.2 Einbau des Versuchseinsatzes	32

	<u>Seite:</u>	
6.2.3	Ausbau des Versuchseinsatzes	33
6.2.4	Auswechseln der Bestrahlungsproben	34
6.2.5	Ausbau des Druckrohres	35
<u>7.</u>	<u>Betriebsablauf</u>	37
7.1	Normaler Betrieb	37
7.2	Maßnahmen nach Zerstörung der Testelemente	38
<u>8.</u>	<u>Sicherheitsbetrachtungen</u>	40
8.1	Aktivitäten im Kreislauf	40
8.2	Strahlengefährdung während des Betriebes	45
8.3	Strahlengefährdung beim Auswechseln der Loopeinsätze	47
8.4	Austritt von Aktivitäten aus dem Kreislauf	50
8.4.1	Betrieb bei normaler Leckrate des Kreislaufes	50
8.4.2	Betrieb bei undichtem Kreislauf	51
8.5	Nachweis von Aktivitäten	53
8.6	Gefährdung durch Plutonium	54
8.7	Sicherheitsmaßnahmen	55
<u>9.</u>	<u>Bewertung der wichtigen Störfälle</u>	59
<u>10.</u>	<u>Literaturhinweise</u>	61

Abbildungen und Zeichnungen im Anhang

- Abb. 1: Maximal erreichbare Stableistung für nicht gekapselte Proben
 - Abb. 2: Maximal erreichbare Stableistung für gekapselte Proben
 - Abb. 3: Durchsatzmengen bei Vollast
 - Abb. 4: Kennlinien der Verdichter
 - Abb. 5: Abfall der Prüflingsleistung nach Abschalten des Reaktors
 - Abb. 6: Druck im Auffangtanksystem während des Notkühlvorganges
 - Abb. 7: Ventil-Steuertabelle
 - Abb. 8: Grundprogramm
 - Abb. 9: Notprogramm
 - Abb. 10: Reinigungsprogramm
 - Abb. 11: Zeitabhängigkeit der Edelgasaktivität während der Entspannung
 - Abb. 12: Zeitabhängigkeit der Edelgasaktivität während des Reinigungs-
betriebes.
-
- TA2-PSB-40.01-0-00 Kreislaufschema
 - TA2-PSB-40.02-ü-470 Druckrohr mit Versuchseinsatz
 - TA2-PSB-40.05-0-716 Auswechselmaschine, Aufbau II.

1. Aufgabe der Versuchseinrichtung

Für die Brennelemententwicklung im Rahmen des Projektes "Schneller Brüter" sind Bestrahlungsversuche notwendig. Dafür wurde neben verschiedenen Kapselversuchseinsätzen eine Experimentieranlage mit Druckgas-Kreislauf zum Betrieb im FR2 erstellt. Letztere Anlage - kurz Abbrandloop genannt - ist Gegenstand dieses Berichtes. Sie hat die Aufgabe, Bestrahlungs- bzw. Abbrandversuche mit ummantelten Brennstabproben im Core des FR2 zu ermöglichen.

Das Loopsystem ist als fest installierte Grundeinrichtung zu betrachten. Die Bestrahlungseinsätze im Zentralkanal des FR2 werden dem jeweiligen Versuchszweck angepaßt. Für die erste Gruppe der Bestrahlungsversuche soll der normale Bestrahlungseinsatz eingesetzt werden, der für Langzeitbestrahlungen von mindestens 1 Periode Dauer konstruiert wurde. Ein weiterer Versuchseinsatz ist im Bau, der speziell für Kurzzeitbestrahlungen an einem einzelnen Prüfling geeignet ist. Für diese - und eventuell noch folgende - Erweiterungen der Versuchseinrichtung wird jeweils ein eigener Sicherheitsbericht angefertigt.

Wenn auch bei dem Betrieb des Abbrandloops im allgemeinen kein Canbruch auftreten wird, so muß doch - besonders bei hohen Abbränden und Leistungsdichten - mit einer Verseuchung des Kreislaufes mit Spaltprodukten gerechnet werden. Die Versuchseinrichtung hat also im wesentlichen nicht nur mit der Wärmestromdichte an der Probenoberfläche (max. über 300 W/cm^2), sondern auch mit radioaktiven Verunreinigungen im Kreislauf fertig zu werden, und zwar derart, daß die Wahrscheinlichkeit einer Personengefährdung äußerst gering ist.

Als Kühlmedium ist Helium gewählt worden, da es günstige thermodynamische, neutronenphysikalische und chemische Eigenschaften aufweist sowie praktisch jede gewünschte Proben-Oberflächentemperatur erlaubt, und da man mit diesem, auch für einen Schnellen Brutreaktor durchaus möglichen Kühlgas Betriebserfahrungen gewinnen möchte. Das Sammeln von Erfahrungen wird überhaupt als wichtiger Nebenzweck betrachtet - insbesondere im Hinblick auf die recht aufwendige Gasreinigungsanlage.

Für die Wahl des Bestrahlungsortes im FR2-Core waren maßgebend: ein möglichst hoher Neutronenfluß, ein Durchmesser von mindestens 100 mm und die Möglichkeit, den Loopeinsatz von unten zu montieren. Deshalb ist das Zentral-Looprohr für diese Versuche vorgesehen. Es wird nur etwas mehr als zur Hälfte ausgefüllt, so daß im oberen Teil noch Raum für andere Experimente übrig bleibt.

2. Bestrahlungsprogramm

Das vorläufige Bestrahlungsprogramm sieht folgende Versuchsgruppen vor:

Versuchsgruppe 1:

Versuchszweck: Erprobung des Loops, Untersuchung des Verhaltens der Prüflinge im Loop bei geringem Abbrand

Art und Anzahl der Proben: Je 4 Proben mit UO_2

Bestrahlungsdauer: Einsatz 1.1 A: 1 Reaktorzyklus
Einsatz 1.1 B: 1 Reaktorzyklus
Einsatz 1.2 : 1 Reaktorzyklus
Einsatz 1.3 : 3 Reaktorzyklen

Versuchsgruppen 2 und 3:

Die Versuche der Versuchsgruppen 2 und 3 werden mit dem Spezialeinsatz für Kurzzeitbestrahlungen durchgeführt. Es wird darüber gesondert berichtet.

Versuchsgruppe 4:

Versuchszweck: Bestrahlung von UO_2 - PuO_2 -Proben bis zu hohem Abbrand. Kontrolle der Hüllwandtemperatur und des Spaltgasdruckaufbaues.

Art und Anzahl der Proben: Einsatz 4.1: 4 Proben mit UO_2 - PuO_2
Einsatz 4.2: 4 Proben mit UO_2 - PuO_2 ,
Auswahl nach bereits erfolgten Experimenten

Bestrahlungsdauer: Einsatz 4.1: ca. 7 Monate
Einsatz 4.2: ca. 18 Monate.

3. Auslegung der Versuchseinrichtung

3.1 Brennstoffprüflinge

Die Eigenschaften der Brennstoffprüflinge und die Versuchsdurchführung im FR2 müssen so abgestimmt werden, daß die Versuche möglichst wertvolle Informationen für die Entwicklung neuer Brennelemente erbringen.

Wie schon erwähnt, werden die Abbrandversuche an stabförmigen Brennstäben durchgeführt, die mit einem Can versehen sind. Der äußere Durchmesser der Testelemente wird zwischen 6,5 mm und 12 mm liegen. Als Brennstoff kommt UO_2 in Frage, das zunächst mit U 235 angereichert und später mit PuO_2 gemischt wird. Die Anreicherung des Brennstoffes wird so variiert, daß Stableistungen von 300 W/cm bis maximal 1000 W/cm auftreten. Als Material für das Canning der Prüflinge kommen nach dem heutigen Stand der Kenntnisse vor allem Chrom-Nickel-Stähle in Frage.

Die Oberflächentemperatur der Prüflinge wird $500^{\circ}C$ bis $600^{\circ}C$ betragen.

Bei kleinen Prüflingsabmessungen (Durchmesser $\leq 7,4$ mm) können die Kühlverhältnisse verbessert werden, wenn die Prüflinge nicht direkt im Kühlgasstrom stehen, sondern mit einer Natrium-gefüllten dichten Kapsel umgeben sind.

Diese Ausführung, die evtl. für Versuchsgruppe 4 in Frage kommt, würde auch Vorteile bei der Bestimmung der Prüflings-Oberflächentemperatur bieten.

Ein wichtiger Punkt des Versuchsprogrammes sind Langzeitversuche, bei denen man Abbrände bis zu 100 000 MWd/to erreichen möchte und bei denen man die Möglichkeit eines Hüllenschadens in Kauf nimmt.

Zur Auswertung der Versuche sind verschiedene Messungen an den Testelementen erforderlich. Die Oberflächentemperatur wird bei allen Versuchen an mehreren Stellen jedes Testelementes gemessen.

Bei einzelnen Experimenten der Versuchsgruppen 2, 3 und 4 soll zusätzlich der freie Spaltgasdruck im Innern der Brennstabhülle und eventuell auch die Zentraltemperatur gemessen werden. Für die Messung des Spaltgasdruckes ist ein spezieller Gasdrucktransmitter vorgesehen, der mit dem Innern des Teststabes durch ein Kapillarrohr verbunden ist. Die Druckmeßeinrichtung wird zur Zeit entwickelt und ausführlichen Tests unterzogen.

Die bestrahlten Prüflinge werden in Heißen Zellen untersucht. Vor dem Aufschneiden des Cans wird ermittelt, welche Maßänderungen am Prüfling während der Bestrahlung eingetreten sind. Weiterhin ist vorgesehen, von verschiedenen Querschnitten Schiffe anzufertigen. Die Spaltprodukte sollen analysiert und

deren räumliche Verteilung festgestellt werden. Ferner sollen im wesentlichen untersucht werden: die vorhandenen Spaltgasmengen als freies Gas, in geschlossenen Poren und interkristallin, sowie die mikroskopische und makroskopische Entmischung. Außerdem sind gegebenenfalls am Versuchseinsatz selbst solche Untersuchungen anzustellen, die für die Weiterentwicklung von Reaktor-Einsätzen interessant sind.

3.2 Kühlung bei Normalbetrieb

Bei der Auslegung der Kühlung wurde von folgenden Annahmen ausgegangen: Es sind gleichzeitig 4 stabförmige Brennstab-Prüflinge zu bestrahlen. Der Durchmesser der Prüflinge liegt zwischen 12 mm und 6,5 mm. Die Gesamtleistung aller 4 Prüflinge ist auf maximal 30 kW begrenzt. Der Gasdurchsatz durch den Versuchseinsatz soll $80 \text{ m}^3/\text{h}$, bezogen auf Eintritts-Temperatur bei 30 ata Kreislaufdruck, nicht überschreiten. Es ist mit folgenden Kühlgastemperaturen zu rechnen (unter Berücksichtigung der γ -Aufheizung des Versuchseinsatzes):

am Eintritt in den Versuchseinsatz	50°C
am Eintritt in den Gasspalt zwischen Prüfling und Hüllrohr	100°C
in Prüflingsmitte	130°C

Prüflinge größeren Durchmessers sollen direkt vom Gasstrom gekühlt, dünne Prüflinge mit einer von Natrium gefüllten Kapsel umgeben sein, deren Außenfläche durch Helium gekühlt wird.

Jedes Brennelement bzw. jede Kapsel ist von einem Gasführungsrohr (Hüllrohr) umgeben. Bei direkter Kühlung der Prüflinge müssen die Thermoelemente zur Messung der Cantemperatur zwischen Prüfling und Hüllrohr verlegt werden; der Kühlpalt muß dick genug zur Aufnahme von Thermoelementen mit 1 mm Außendurchmesser sein. Bei den gekapselten Prüflingen dagegen kann die Temperatur in der Natrium-Zwischenschicht gemessen werden und der Kühlpalt kann ohne Rücksicht auf Meßleitungen dimensioniert werden.

a) Kühlung der Prüflinge direkt durch den Gasstrom

Voraussetzungen:

Prüflingsdurchmesser D_c	12 mm bis 7,4 mm
Gasspalt zwischen Prüfling und Hüllrohr	1,25 mm
Maximale Gasgeschwindigkeit im Gasspalt (bezogen auf $80 \text{ m}^3/\text{h}$ Gasdurchsatz)	107 m/s
Maximale Wärmeübergangszahl α (ermittelt im out of pile-Test)	0,60 W/cm ² °C
Gastemperatur in Prüflingsmitte t_{gm}	130°C

Unter diesen Voraussetzungen lassen sich als Funktion des Prüflings-Außendurchmessers D_c und der Cantemperatur t_c in der Mitte des Prüflings die maximal erreichbaren Stableistungen s_{\max} gemäß Abb. 1 errechnen.

b) Kühlung des gekapselten Prüflings

Voraussetzungen:

Prüflingsdurchmesser D_c	6,5 und 7,4 mm
Gasspalt zwischen Kapsel und Hüllrohr	1,1 mm
Kapsel-Außendurchmesser D_{Ka}	14,5 mm
Kapsel-Wandstärke	1 mm
Kapselwerkstoff	10 Cr Mo 9 10-Nb
Maximale Gasgeschwindigkeit im Gasspalt	102 m/s
Maximale Wärmeübergangszahl α	ca. $0,60 \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Gastemperatur in Prüflingsmitte t_{gm}	130°C

Abb. 2 zeigt die unter diesen Voraussetzungen ermittelten, maximal erreichbaren Stableistungen s_{\max} als Funktion des Prüflings-Außendurchmessers D_c und der Cantemperatur t_c in Prüflingsmitte.

Kühlung des Druckrohroberteiles

Das Druckrohroberteil wird durch Wasser aus dem Experimentier-Kühlkreislauf des FR2 gekühlt, um die durch γ -Aufheizung entstehende Wärme von max. 1 W/g abzuführen. Bei einer insgesamt abzuführenden Wärmemenge von ca. 12 kW beträgt die Kühlwassermenge ca. 260 l/h.

Mit den Werten

Kühlwasser-Eintrittstemperatur:	30°C
Kühlwasser-Austrittstemperatur:	70°C

ergibt sich eine maximale Druckrohr-Wandtemperatur von ca. 75°C . Bei Ausfall der Wasserkühlung des Druckrohres wird der Reaktor durch das Sicherheitssystem automatisch abgeschaltet.

3.3 Aufgabe der Gasreinigung

Zur kontinuierlichen Reinigung des Kreislaufgases von Tritium, sowie für die Entfernung der flüchtigen Spaltprodukte nach einem Canbruch, ist eine umfangreiche Gasreinigungsanlage vorhanden. Ihre Aufgabe ist es, die Aktivitätskonzentration im Kreislauf bei normalem Betrieb des Loops und kurze Zeit nach einem Canbruch auf einem Wert zu halten, der selbst bei einem größeren Leck des Kreislaufs zu keiner Gefährdung der Umgebung führt.

Die Reinigungsanlage ist für die unmittelbare Aufnahme aller flüchtigen Spaltprodukte der 4 Prüflinge nach maximaler Bestrahlungsdauer ausgelegt.

Tritium-Reinigung

Tritium, das durch die Reaktion $\text{He}^3(n,p)\text{T}$ laufend im Strahlenfeld gebildet wird, muß während der gesamten Betriebszeit des Loops kontinuierlich entfernt werden. Die Tritium-Aktivitätsproduktion beträgt bei dem max. thermischen Neutronenfluß von $\phi = 1,5 \cdot 10^{14} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ und 10 Liter Gasvolumen im Corebereich ca. $3,8 \cdot 10^{-1} \mu\text{C/sec}$. Unter Berücksichtigung der Entspannung des Kreislaufgases und eines Verdünnungsfaktors von 10 beim Ausströmen des Gases durch ein Leck kann eine Konzentration von $6 \cdot 10^{-3} \mu\text{C/cm}^3$ (bei 30 ata) im Kreislauf zugelassen werden. Bei dem gewählten Reinigungsverfahren (siehe Abschnitt 4.2.5) wird dieser Wert unterschritten bei einer Temperatur von $\leq 161^\circ\text{K}$ in der Reinigungsanlage.

Spaltprodukt-Reinigung

Flüchtige Spaltprodukte sind nur nach einem Canbruch im Kühlgas vorhanden. Für ihre Entfernung sind Halogen-Adsorber und ein Tieftemperatur-Adsorber (für Edelgase) eingebaut. Die Halogenfilter befinden sich im Hauptstrom, das erste schon im Loopeinsatz und die weiteren dicht dahinter. Die Filter sind ständig betriebsbereit, da die Halogene schnell gebunden werden sollen, um den Hauptteil des Kreislaufes weitgehend frei von Halogenen zu halten. Das Filter im Loopeinsatz hat speziell die Aufgabe, die austretende Halogen-Aktivität so weit zu erniedrigen, daß bei einem größeren Leck hinter dem Versuchseinsatz keine unzumutbar hohe Aktivität nach außen gelangen kann.

Das Filter im Versuchseinsatz, H-Fi 104, besteht aus einem mechanischen Feinfilter und einem Silberwollefilter. Es besitzt einen Abscheidegrad für Halogene $> 99 \%$. Die beiden außerhalb des Versuchseinsatzes liegenden Halogenfilter, der Halogen-Abscheider H-Fi 101 (Silberkontaktmasse) und der Halogen-Adsorber H-Fi 102 (Aktivkohle), haben zusammen einen Filterfaktor von mindestens 10^{-4} .

Der Tieftemperatur-Adsorber für die Edelgase befindet sich im Bypass und wird erst nach einem Canbruch dem Kreislauf hinzugeschaltet. Er ist jedoch ständig einsatzbereit, so daß er sofort die Edelgase Xe und Kr adsorbieren kann. Sein Wirkungsgrad beträgt praktisch 100 % bei einem Durchsatz von ca. $400 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

In der vorgesehenen Reinigungszeit von etwa 2 Stunden (Hauptreinigung) sollen die nach einem Canbruch freiwerdenden Aktivitäten so weit durch die Reinigungsanlage gebunden werden, daß im Kreislaufgas eine tolerierbare Konzentration erreicht wird. Die Folgeprodukte der Halogene erfordern eine längere Nachreinigung.

4. Beschreibung der Versuchseinrichtung

4.1 Aufbau der Anlage und ihre Funktion bei Normalbetrieb

Zeichnung Nr. 40.01-0-00 zeigt ein Fließschema der Versuchseinrichtung. Die wichtigsten Teile der Anlage sind der Hauptkreislauf, der Reinigungskreislauf, das Sicherheitssystem und Hilfsaggregate. Der Hauptkreislauf enthält neben dem Versuchseinsatz H-Le 101 zwei Verdichter H-Gb 101 und H-Gb 102, einen Hauptwärmeaustauscher H-Wt 101, die Halogenabscheider H-Fi 104, H-Fi 101 und H-Fi 102 und die Staubfilter H-Fi 104, H-Fi 105 und H-Fi 103.

Das von den Brennelement-Prüflingen kommende heiße Gas durchströmt zunächst das im Loopeinsatz untergebrachte kombinierte Staub- und Halogenfilter H-Fi 104. Dieses Filter hält bei einer Zerstörung der Prüflinge den Hauptteil der Brennstoff-Partikel, der festen Spaltprodukte und der radioaktiven Halogene im Loopeinsatz zurück. Unmittelbar hinter dem Loopeinsatz liegt das erste Schwebestoff-Feinstfilter H-Fi 105. Danach folgen die Meßstellen zur Überwachung der γ -Aktivität A 101, A 102 und A 103 und der Halogenabscheider H-Fi 101.

Hier wird das nach Canbruch im Gas enthaltene Jod und Brom an Silberkontaktmasse gebunden. Vor Eintritt in den Halogenadsorber H-Fi 102 passiert das Gas den Hauptwärmeaustauscher H-Wt 101. Der Halogenadsorber H-Fi 102 besitzt eine Füllung aus Aktivkohle, die Halogene und Halogenverbindungen adsorbiert. Der Adsorber kann regeneriert werden, indem die Halogene bei hoher Temperatur desorbiert und nach Abkühlung im Zusatzadsorber R-Fi 203 aufgefangen werden. Vor die Verdichter, bzw. vor den Loopeinsatz sind in den Hauptkreis weitere Schwebestoff-Feinstfilter H-Fi 103 und H-Fi 106 geschaltet, um evtl. aus der Reinigungsanlage mitgerissene Stäube von den Verdichtern und dem Loopeinsatz fernzuhalten. Die beiden Verdichter wurden in Reihe geschaltet, wodurch größtmögliche Anpassungsfähigkeit an wechselnde Betriebsverhältnisse und größte Betriebssicherheit gewonnen wird. Ein besonderer Reinigungskreislauf ist zur kontinuierlichen Beseitigung des Tritium sowie zur Beseitigung der einmalig bei Canbruch auftretenden edelgasförmigen Spaltprodukte an den Hauptkreislauf angeschlossen. Bei Normalbetrieb wird dieser Reinigungskreislauf zur kontinuierlichen Reinigung des Gases von Tritium im Bypass zur Prüfstrecke betrieben. Das Tritium wird in einem CuO-Katalysator R-Fi 201 oxydiert und das gebildete Tritium-Oxyd anschließend in dem Wärmetauscher R-Wt 203 ausgefroren.

Nach Canbruch wird durch Schließen von Ventil R-Ve 201 und Öffnen des Ventils R-Ve 209 der Gasstrom derart umgesteuert, daß das eben genannte CuO-Bett umgangen wird. Gleichzeitig schaltet man einen Tieftemperaturadsorber R-Fi 202 zu. In diesem Adsorber werden edelgasförmige Spaltprodukte bei tiefen

Temperaturen an Silicagel gebunden. Er kann nach Beladung regeneriert werden. Das anfallende aktive Gas wird durch einen Hochdruckkompressor R-Gb 201 in abgeschirmte Flaschen R-Bh 201 abgedrückt. Zur Erzeugung der in der Reinigungsanlage benötigten tiefen Temperaturen steht eine eigene Kälteanlage zur Verfügung. Die Anlage erzeugt max. 50 l flüssigen Stickstoff pro Stunde. Der Bedarf der Reinigungsanlage beträgt bei stationärem Betrieb etwa 30 l/h.

Das Sicherheitssystem der Bestrahlungseinrichtung greift ein, wenn aus einem Brennelement-Prüfling Aktivität in das Kreislaufgas gelangt, wenn die vorgegebene Brennelement-Oberflächentemperatur überschritten wird, oder wenn die Wasserkühlung des Loopeinsatzes ausfällt.

Sobald die Aktivitätsmesser Canbruch anzeigen, wird der Reaktor abgeschaltet, der oben erwähnte Tieftemperaturadsorber R-Fi 202 zugeschaltet und der Kreislaufinhalt in einen Auffangbehälter S-Bh 401 entspannt.

Beim Überschreiten der vorgegebenen maximalen Temperatur der Prüflingsoberfläche wird der Reaktor abgeschaltet und die Nachwärme der Prüflinge durch Gas abgeführt, das aus Hochdruckflaschen A-Bh 303 und 304 entnommen und in den oben erwähnten Auffangbehälter S-Bh 401 geleitet wird.

Zwei Hochdruckflaschenbatterien A-BH 301 und A-Bh 302 versorgen den Kreislauf automatisch mit Frischhelium, sobald der Kreislaufdruck unter 30 ata absinkt. Nach oben hin ist der Druck auf ca. 33 ata begrenzt. Wenn dieser Wert erreicht wird, öffnet automatisch ein Abblaseventil R-Ve 210 und läßt so lange Gas in den Auffangbehälter überströmen, bis der Druck auf ca. 32 ata gesunken ist.

Der Hauptkreislauf sowie alle Kreislaufteile, die vom Gesamtsystem abgetrennt werden können, und in denen eine unkontrollierte Drucksteigerung über den maximal zulässigen Betriebsdruck hinaus denkbar ist, werden durch Sicherheitsventile abgesichert, und zwar sind jeweils 2 wechselweise zuschaltbare Sicherheitsventile vorgesehen. Der Abblasedruck im Hauptkreis beträgt 40 atü. In den einzelnen Zweigen der Reinigungsanlage wurde der Abblasedruck auf 44 atü festgelegt, um zu verhindern, daß zugleich mit dem Sicherheitsventil im Hauptkreis mehrere Sicherheitsventile ansprechen. Der Abblasedruck der Sicherheitsventile des Auffangbehälters wird auf 20 atü eingestellt werden.

Das Regelsystem des Kreislaufes gestattet, die Temperatur der Prüflingsoberfläche im Bereich von 100 % bis etwa 20 % der Reaktornennleistung konstant zu halten. Dazu wird einmal der Kühlmitteldurchfluß durch ein Drosselventil H-Ve 102 im Hauptkreis in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur der Prüflinge geregelt. Durch einen weiteren Regler wird eine entsprechende Gasmenge über ein zweites Drosselventil H-Ve 101 durch den Bypass geleitet, so daß

die Fördermenge der Verdichter annähernd konstant bleibt. Alle für den Betrieb des Kreislaufes und für die Auswertung der Versuche wichtigen Geräte und Instrumente sind in einem zentralen Bedienungspult zusammengefaßt.

Neben den bisher erwähnten Kreislaufteilen sind zum Betrieb des Versuches verschiedene Hilfseinrichtungen notwendig. So wird zum Auswechseln der Loopeinsätze einschließlich der Prüflinge eine Auswechselmaschine benötigt. Der wichtigste Teil der Maschine ist ein schwerer Abschirmbehälter, der gleichzeitig zum Transport des Loopeinsatzes mit den bestrahlten Prüflingen zu den Heißen Zellen dient.

Die in den einzelnen Kreislaufteilen bei Vollast zu erwartenden Gasmengen sind in das Schema der Abb. 3 eingetragen.

Bei der Herstellung aller Behälter, Apparate, Armaturen, Meßgeräte usw. werden grundsätzlich die Forderungen erfüllt, bzw. die Daten eingehalten, die in den entsprechenden DIN-Blättern, Stahl-Eisen-Werkstoffblättern, Stahl-Eisen-Lieferbedingungen, AD-Merkblättern, den Regeln für Druckbehälter und den gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheitsbestimmungen, insbesondere für den Bau von Landdampfkesseln, niedergelegt sind. Darüber hinaus gilt für Kreislaufkomponenten, in denen während des Betriebes Aktivitäten auftreten können, folgendes:

Für gasführende Teile ist Werkstoff 4541 oder gleichwertiges Material sowie im in pile-Teil zusätzlich Zircaloy und AlMg 3 vorgesehen. Die Güteeigenschaften des Materials werden von den Herstellern durch die erforderlichen Zeugnisse nachgewiesen. Die mit Helium in Berührung stehenden Oberflächen aller Einzelteile müssen weitgehend frei von Anlauffarben, Schmutz, Fremdrost, Fremdmaterialien und anderen Verunreinigungen sein. Die Rohre ab NW 20 besitzen polierte Innenoberfläche.

Alle Schweißungen an gasführenden Teilen, auch die Montageschweißungen, werden unter weitgehender Vermeidung von Anlauffarben im Innern ausgeführt. Alle Schweißnähte des Drucksystems werden - soweit möglich - geröntgt. Für die Ventile werden keine Gußgehäuse, sondern nur Schmiedestücke verwendet. Alle Teile des Kühlsystems, die zwischen dem Gaseintritt in den Loopeinsatz und dem Hauptwärmeaustauscher liegen, sind für eine maximale Betriebstemperatur von 200°C berechnet, die übrigen Teile, soweit sie nicht beheizt oder sehr tiefen Temperaturen ausgesetzt sind, sind für 100°C ausgelegt.

4.2 Die Einzelkomponenten des Kreislaufes

4.2.1 Normaler Loopeinsatz (Zeichn.Nr. TA2-PSB-40.02-ü-470)

Der Loopeinsatz wurde als Fingerhut ausgebildet, der vom Raum R 111 her nach oben in das Zentrallooprohr 130 mm \varnothing des FR2 eingeschoben werden kann. Er besteht aus einem Druckrohr und einem Versuchseinsatz mit Prüflingshalterung. Das Druckrohr nimmt den Betriebsdruck auf. Während des Auswechselns der Prüflinge bleibt es normalerweise im Reaktor. Der Versuchseinsatz dagegen wird kaum vom Gasdruck beansprucht. Er wird zum Auswechseln der Bestrahlungsproben aus dem Reaktor ausgebaut und in die Heiße Zelle gebracht.

Das Druckrohr besteht aus einem Oberteil im Corebereich, das aus Zircaloy gefertigt ist, und dem Unterteil aus Werkstoff Nr. 4541. Druckrohrober- und unterteil sind durch einen Flansch mit Ring-Joint-Dichtung verbunden. Das Druckrohroberteil besitzt einen Kühlmantel. Die durch γ -Aufheizung entstehende Wärme wird durch Wasser aus dem vorhandenen Experimentier-Kühlkreislauf des FR2 abgeführt.

Der Versuchseinsatz bildet mit dem unteren Deckel des Druckrohres eine Einheit. Das Gas strömt im Versuchseinsatz durch einen äußeren Ringkanal nach oben und wird im inneren Gasführungsrohr zurückgeleitet. Die Prüflinge werden von oben nach unten umströmt, damit bei einer Zerstörung die Bruchstücke durch den Gasstrom schnell aus dem Core herausbefördert werden. Die 4 stabförmigen Prüflinge von maximal 250 mm Länge hängen in einem Käfig, der auf das obere Ende des Versuchseinsatzes aufgeschraubt ist. In der Heißen Zelle kann entweder der gesamte Käfig mit allen 4 Prüflingen oder jeder Prüfling allein zusammen mit dem zugehörigen Meßgeber für die Spaltgasdruckmessung entfernt und durch neue, inaktive Teile ersetzt werden. Von den Prüflingen können insgesamt 8 Thermoelemente und 4 Kapillarrohre zur Spaltgasdruckmessung nach unten weggeführt werden. Die Kapillarrohre enden in Gasdrucktransmittern, die unterhalb des Cores angebracht sind; alle Meßleitungen werden über druckdichte Stecker im unteren Deckel aus dem Druckrohr herausgeführt.

In Höhe des Reflektors ist im Versuchseinsatz ein kombiniertes Staub- und Halogenfilter eingebaut (H-Fi 104). Das Oberteil des Versuchseinsatzes mit dem Filter kann leicht vom übrigen Einsatz abgetrennt und als geschlossenes Ganzes beseitigt werden. Die einzelnen Rohrteile des Einsatzes sind so gasdicht miteinander verschraubt, daß beim Auswechseln keine Kontaminierung der Umgebung und der Auswechselwerkzeuge zu erwarten ist. Aus dem gleichen Grund sind am Gasein- und-austritt selbsttätig schließende Plattenventile

eingebaut. Der Ringraum zwischen Versuchseinsatz und Druckrohr wird nicht vom Hauptkühlgasstrom durchströmt. Ein geringer Gasstrom jedoch durchspült diesen Raum von oben nach unten. Dabei nützt man das Druckgefälle des Hauptstromes im Versuchseinsatz aus.

Der Loopeinsatz ist für einen Gasdruck von 40 atü bei einer Betriebstemperatur von 200°C ausgelegt. Der Kühlmantel des Druckrohroberteiles ist für einen maximalen Betriebsdruck von 10 atü bei 250°C berechnet. Für alle Teile des Druckrohres - mit Ausnahme des Kühlmantels - werden die Güteeigenschaften durch Werksabnahmezeugnis nach DIN 50049, Abs. 3C nachgewiesen. Das ganze Rohrsystem des Loopeinsatzes ist so konstruiert, daß durch Temperaturschwankungen keine unzulässigen Spannungen in Längsrichtung auftreten können. Der äußere Durchmesser des Loopeinsatzes überschreitet an keiner Stelle das Maß 348 mm.

4.2.2 Verdichter

Zum Umwälzen des Gases im Hauptkreis werden gasgelagerte Zentrifugalverdichter der Fa. Rateau verwendet. Motor und Laufrad sind in einem völlig geschlossenen, druckfesten Gehäuse untergebracht. Die Gaslager sind nach Angaben der Herstellerfirma gegen staubförmige Verunreinigungen des Fördergases bis 20 µ Korngröße unempfindlich.

Die Drehzahl der Verdichter ist im Bereich zwischen 3000 und 23 200 Upm stufenlos regelbar. Dazu ist für beide Maschinen gemeinsam eine Frequenzumformeranlage vorhanden. Sie besteht aus einem 50 KVA-Drehstrom-Synchrongenerator, einem 48 kW-Gleichstrom-Nebenschlußmotor, einem 60 KVA-Drehstrom-Zwillingsdrehtransformator, einem Hauptschaltschrank und einem fahrbaren Steuerpult. Die Anlage ist luftgekühlt.

Die beiden Verdichter arbeiten normalerweise mit Drehzahlen um 16 000 Upm. Sollte 1 Verdichter ausfallen, so wird der Förderstrom etwa um den Faktor 1,4 absinken. Diese Fördermenge reicht sicher aus, um die Nachwärme der Prüflinge abzuführen. Der alte Betriebspunkt wird wieder erreicht, wenn der zweite Verdichter auf eine Drehzahl von etwa 21 200 Upm hochgefahren wird. Das heißt also, daß der Versuchsbetrieb auch bei Ausfall eines Verdichters voll weitergeführt werden kann. Abb. 4 zeigt die auf dem Prüfstand aufgenommenen Kennlinien der Verdichter.

4.2.3 Hauptwärmeaustauscher

Der Hauptwärmeaustauscher zur Abfuhr der Prüflingsleistung an Wasser ist ein Wickelrohr-Wärmeaustauscher. Er ist für folgende Betriebsverhältnisse berechnet:

Gasmenge	ca. 1970 Nm ³ /h Helium (bei 30 ata)
Eintrittstemperatur des Gases	120°C
Austrittstemperatur des Gases	30°C
Kühlwasserverbrauch	2,7 m ³ /h
Kühlwasser-Eintrittstemperatur	25°C.

4.2.4 Halogenabscheider

Das Abscheiden von Halogenen bei hohen Temperaturen scheint nur durch Chemosorption durchführbar zu sein, jedoch nicht mit sehr hohem Wirkungsgrad. Wesentlich bessere Reinheitsgrade lassen sich dagegen durch Adsorption an Aktivkohle bei niedrigen Temperaturen erreichen. Deshalb wurde folgendes Verfahren zur Beseitigung der Halogene gewählt:

Im Loopeinsatz bzw. kurz hinter dem Loopeinsatz liegen Filter H-Fi 104 bzw. H-Fi 101, in denen Halogene an Silberkontaktmasse gebunden werden. Die Abscheidegrade der Filter liegen, wie ein Versuch zeigte (Abs. 5.3), bei der Betriebstemperatur (ca. 120 bis 200°C) sicher über 99 %. Aufgabe der Filter ist es, nach einem Canbruch den Halogengehalt des Kühlgases vor Eintritt in den Kreislauf bzw. in den Hauptwärmeaustauscher so weit wie möglich zu reduzieren. Eine Regenerierung der Filter ist nicht vorgesehen; das Filter H-Fi 104 kann im Bedarfsfall in der Heißen Zelle ausgewechselt werden; das Filter H-Fi 101 hat eine so große Kapazität, daß es über lange Zeit einsetzbar bleibt. Ein weiteres Halogenfilter ist hinter dem Hauptwärmetauscher angebracht. Dieses Filter H-Fi 102 adsorbiert in dem günstigen Temperaturbereich von 30 bis 50°C Halogene mit hohem Wirkungsgrad (ca. 10⁻⁴) an Aktivkohle.

Da dieser Halogenadsorber ständig von dem gesamten Helium-Strom durchflossen wird, ist seine Laufzeit nach einem Canbruch begrenzt. Die Beladung sitzt zunächst in der Nähe des Gaseintrittes, wird aber im Laufe der Zeit durch den Spüleffekt des Helium-Gasstromes zum Ausgang hin verschoben. Der Adsorber muß daher nach jedem Canbruch regeneriert werden. Dazu durchspült man ihn mit Stickstoff, der in Heizung R-Hz 202 vorgewärmt und durch Heizstäbe im Halogenadsorber weiter auf 300°C aufgeheizt wird. Das mit Halogenen angereicherte Stickstoffgas wird im Wärmeaustauscher R-Wt 205 durch Wasser auf

eine Temperatur von ca. 20°C zurückgekühlt und über Zusatzadsorber R-Fi 203 und die Meßstellen Q 402 und A 402 in das System für stark radioaktive Abgase geführt. Der Zusatzadsorber hat ein Vielfaches der Kapazität des Adsorbers H-Fi 102. Er kann notfalls zusammen mit seinem Bleimantel abgeflanscht und wegtransportiert werden. Die Heizungselemente in Apparat H-Fi 102 werden nach oben ausgebaut. Sie sind so konstruiert, daß zum Ausbau keine Verbindung von Hand gelöst werden muß. Gegen Überhitzung sind die Heizstäbe durch einen Regler geschützt, der auf 400°C eingestellt wird. Die Heizleistung beträgt insgesamt 5 kW bei 18 Volt Spannung.

4.2.5 Tritiumreinigung

Da die Tritiumkonzentration im Kreislaufgas einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten darf, mußte eine Reinigungsanlage zur Beseitigung von Tritium aus dem Kreislaufgas vorgesehen werden. Die Reinigungsanlage liegt im Bypass zur Prüfstrecke. Mit Hilfe von Kupferoxyd wird Tritium zu Wasser oxydiert und dieses ausgefroren. Auf Grund der Forderung nach einem Tritiumpegel im Kreislauf von max. $6 \cdot 10^{-3} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ ergaben sich folgende Auslegungsdaten für die Reinigungsanlage:

Gasdurchsatz	$\geq 225 \text{ Nm}^3/\text{h}$
Temperatur des Kupferoxydbettes	ca. 350°C
Wasserdampfdruck im kalten Teil der Anlage	$\leq 10^{-6} \text{ Torr}$
Temperatur des kalten Anlagenteiles	$\leq 161^\circ\text{K}$

Der Teilstrom wird im Gegenströmer R-Wt 201 auf 330°C und im Erhitzer R-Hz 201 weiter auf 350°C, also auf die Temperatur des CuO-Kontaktes in Apparat R-Fi 201 erwärmt. Er kühlt sich im Gegenstrom in R-Wt 201 und anschließend im Wasserkühler R-Wt 202 wieder auf Umgebungstemperatur ab. Die weitere Abkühlung geschieht in den Apparaten R-Wt 203 und R-Wt 204 mit Hilfe von flüssigem Stickstoff.

Der CuO-Kontakt muß in größeren Zeitabständen regeneriert werden. Speist man Luft oder besser reinen Sauerstoff ein, so reagiert dieser mit eventuell entstandenem Kupfer und bildet neues Kupferoxyd. Die dafür notwendige Temperatur von 350°C erzeugt eine Zusatzheizung im Apparat R-Fi 201.

Das ausgefrorene Wasser läßt sich nach Erwärmung der Wärmetauscher auf Umgebungstemperatur flüssig oder dampfförmig abziehen.

Die Heizleistung des Anwärmers R-Hz 201 beträgt 5 kW, die des Apparates R-Fi 201 1,5 kW bei 18 Volt. In beiden Apparaten wird ein Temperaturfühler angebracht. Bei Überschreiten von 350°C schaltet die Heizung automatisch ab.

Alle Heizstäbe können nach oben - ohne Lösen einer Verbindung von Hand - ausgebaut werden.

4.2.6 Tieftemperatur-Adsorber

Als zweckmäßigstes Verfahren, die inerten Gase Krypton und Xenon abzuscheiden, hat sich die Adsorption an Silicagel erwiesen. Um bei den verlangten kleinen Konzentrationen eine erträgliche Adsorbergröße zu erreichen, wurde als Betriebstemperatur die Temperatur des flüssigen Stickstoffes gewählt, also 80 - 85°K. Der Tieftemperaturadsorber R-Fi 202 liegt im Bypass. Er wird ständig durch flüssigen Stickstoff kalt gehalten, aber nur nach Canbruch von Helium durchströmt.

Bei der genannten Temperatur von 80 bis 85°K liegt die Konzentration edelgasförmiger Spaltprodukte im austretenden Gasstrom unter der zulässigen Konzentration in Atemluft. Die Kapazität des Adsorbers ist so groß, daß er die Menge an Xe und Kr aufnehmen kann, die bei einem Canbruch aus 4 Prüflingen max. anfällt. Da der Tieftemperaturadsorber während des normalen Betriebes kalt gehalten, nicht aber durchströmt wird, können Aktivitäten lange Zeit darin festgehalten werden. Er läßt sich regenerieren, indem er durch Stickstoff von außen auf ca. 50°C angewärmt und danach mit einem geringen Heliumstrom durchspült wird. Der Membrankompressor R-Gb 201 fördert dabei ständig das stark mit Spaltprodukten angereicherte Gas in abgeschirmte Hochdruckflaschen R-Eh 201. Nach Abkühlung ist der Adsorber wieder betriebsbereit.

4.2.7 Notkühlung und Auffangtanksystem

Notkühlung

Wenn die Cantemperatur einen vorgegebenen Wert überschreitet, wird durch das Sicherheitssystem der Reaktor abgeschaltet, der Kreislauf entspannt sich in den Auffangbehälter S-Eh 401 und die Nachwärme der Prüflinge wird durch Gas abgeführt, das aus Hochdruckflaschen entnommen und im Auffangbehälter gespeichert wird. Es sind 2 einzeln zuschaltbare Flaschenbatterien vorgesehen, die ständig gefüllt sind, und deren Inhalt jeweils nur für einen Notkühlvorgang ausreicht. Damit ist Sicherheit gegen Überschreiten der errechneten Drücke im Auffangtanksystem gegeben.

Für die Berechnung des Notkühlsystems wurde ein Verlauf der Prüflingsleistung nach Abschalten des Reaktors gemäß Abb. 5 angenommen. Für die erste Sekunde wurde volle Leistung angenommen, da die Versuche zeigten, daß während

der ersten Sekunde auch die volle Prüflingsleistung in keinem Fall einen unzulässig hohen Temperatursprung im Prüfling bewirken kann.

Die Leistung der Prüflinge nach einer Abschaltzeit von 3,5 Stunden und mehr ist für die Betrachtung der Notkühlung ebenfalls nicht mehr interessant.

Durch einen Nachwärmerversuch konnte nachgewiesen werden, daß nach ca. 3,5 Stunden Nachkühlzeit natürliche Konvektion ausreicht, um die in den Prüflingen freiwerdende Wärmemenge bei max. 700°C Cantemperatur abzuführen. Um die für einen Notkühlvorgang benötigten Gasmengen gering zu halten, wird die eingespeiste Menge während der Notkühlzeit stufenweise herabgesetzt. Eine Überschlagsrechnung ergab folgende Aufteilung (für $N_0 = 30 \text{ kW}$, $\alpha_0 = 0,6 \text{ W/cm}^2\text{C}$):

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Zeitdauer	0. bis 2.Min	2. bis 30.Min	30. bis 210.Min
maximale Prüflingsleistung	6 kW	1,2 kW	0,51 kW
Gasdurchsatz (mit 20 % Sicherheit)	55,5 kg/h	6,6 kg/h	2,8 kg/h

Bei dieser Aufteilung ist zu jedem Zeitpunkt gewährleistet, daß einmal die Cantemperatur, die bei Vollast erreicht wurde, nicht überschritten wird, und daß zum andern die Temperatur des austretenden Gases den zulässigen Wert von 200°C nicht übersteigt.

Auffangtanksystem

Der Inhalt des Auffangtanks beträgt $7,2 \text{ m}^3$, sein maximaler Betriebsdruck 20 atü. Er nimmt in folgenden Fällen Gas auf:

- Wenn im Hauptkreis der Druck über 33 ata ansteigt, öffnet automatisch das Ventil R-Ve 210 und es strömt so lange Gas in den Auffangbehälter, bis der Druck im Kreislauf unter 32 ata abgesunken ist. Sobald der Druck im Auffangtanksystem 1 atü erreicht, wird dies am Kontrollpult angezeigt, und der Tankinhalt muß entweder durch den Hochdruckkompressor R-Gb 201 in Flaschen abgedrückt, oder in die Abgasleitung entlassen werden.
- Nach Canbruch strömt zum Zwecke der Druckentlastung Gas aus dem Kreislauf in den Tank über. Dabei steigt der Druck maximal von 1 atü auf 7,5 atü an.
- Während der Notkühlung muß der Behälter zusätzlich das gesamte Kühlgas speichern, das zur Abfuhr der Nachwärme aus Hochdruckflaschen eingespeist wird.

Den Druckverlauf während des Notkühlvorganges zeigt Abb. 6 für die ungünstigsten Verhältnisse.

4.2.8 Staubfilter

Im gesamten Kreislaufsystem sind mehrere Staubfilter so angeordnet, daß aktive staubförmige Verunreinigungen möglichst nahe ihrer Entstehungsstelle aufgefangen und daß Stäube von den Verdichtern und vom Loopeinsatz ferngehalten werden.

Das erste Staubfilter befindet sich im Loopeinsatz auf der Gasaustrittsseite (H-Fi 104). Sein Abscheidegrad beträgt für Korngrößen um $0,5 \mu$ ca. 98 %. Unmittelbar hinter dem Loopeinsatz liegt ein weiteres Filter (H-Fi 105) mit einem Filterfaktor von ca. $3 \cdot 10^{-4}$ für Korngrößen bis herunter zu $0,3 \mu$. Diese Filter haben die Aufgabe, bei einer Zerstörung der Testelemente feste Partikel im bzw. nahe dem Loopeinsatz abzuscheiden.

Aktivkohle- bzw. Silicagel-Abrieb aus der Reinigungsanlage wird - soweit seine Korngröße 10μ oder mehr beträgt - in Filtern aufgefangen, die direkt in den Adsorbergehäusen eingebaut sind. Zur Abscheidung der feineren Stäube sind im Hauptkreis hinter der Reinigungsanlage, bzw. vor dem Loopeinsatz zusätzlich die "Absolutfilter" H-Fi 103 und H-Fi 106 vorgesehen, die auch Stäube um $0,3 \mu$ mit hohem Wirkungsgrad abscheiden.

4.2.9 Sicherheitsventile

Alle Kreislaufteile, in denen eine Drucksteigerung über den maximal zulässigen Betriebsdruck hinaus denkbar ist, sind durch Sicherheitsventile abgesichert. Der Abblasedruck der Sicherheitsventile im Hauptkreislauf beträgt 40 atü und der Ventile im Auffangtanksystem 20 atü. Die Ventile sind für eine Abblasemenge von 90 kg/h Helium ausgelegt. Damit kann eine Leistung von 30 kW dem Gas in dem abgesicherten Kreislaufteil zugeführt werden, ohne daß eine Druckerhöhung über den Abblasedruck hinaus eintritt.

Alle Sicherheitsventile sind federbelastet. Die Ventile sollen im Sitz hohe Dichtheit aufweisen und man entschied sich daher für Foliensicherheitsventile der Fa. Babcock und Wilcox.

Wie die Versuche zeigten, bleiben diese Ventile auch nach Unterschreiten des Abblasedruckes noch undicht. Alle Sicherheitsventile sind daher doppelt angeordnet, so daß das undichte Ventil außer Betrieb gesetzt und das Reserveventil zugeschaltet werden kann. Bei Ansprechen eines Sicherheitsventiles wird Alarm gegeben; das undichte Ventil wird zusätzlich am Kontrollpult durch Blinklicht bezeichnet.

An anderer Stelle (Abschn. 8.7) wird dargelegt, daß eine große Anzahl von Sicherheitsvorkehrungen getroffen wurde, um ein Ansprechen irgendeines Sicherheitsventiles zu vermeiden.

4.3 Räumliche Anordnung der Einzelkomponenten

Für die Aufstellung der Versuchseinrichtung sind folgende Räume im FR2-Gebäude vorgesehen:

a) Raum R 111

Hier wird für die Dauer der Versuche die Auswechsellvorrichtung mit Abschirmflasche auf den vorhandenen Wagen der Looprohr-Auswechsellmaschine montiert. Weiterhin müssen die notwendigen Rohre und Meßleitungen, die vom Loopeinsatz nach Raum R 207 führen, verlegt werden.

b) Raum R 207

Im Raum R 207 werden im wesentlichen Kreislaufteile aufgestellt, die nach einer Zerstörung der Testelemente plötzlich größere Mengen an Aktivität enthalten können. Dies sind alle Teile des Hauptkreislaufes mit den Hauptverdichtern, allen Armaturen sowie den Staubfiltern und die gesamte Reinigungsanlage einschließlich des Zusatzfilters R-Fi 203. Außerdem sollen in Raum R 207 alle Sicherheitsventile, Teile der Stickstoff-Erzeugungsanlage und die Vakuumpumpe untergebracht werden.

c) Raum R 210

Der östliche Teil von Raum R 210 ist für die Schaltschränke und das zentrale Bedienungspult der Versuchseinrichtung vorgesehen. Dieser Standort wurde gewählt, da er günstig zu R 207 liegt, in dem praktisch alle wichtigen Meßstellen und fernbetätigten Armaturen liegen.

d) Raum 112

Im nordöstlichen Teil des Raumes R 112 besteht die Möglichkeit, die Bauteile aufzustellen, die keine Aktivitäten enthalten werden. Dies sind einmal die Maschinensätze für die Stickstoff-Erzeugungsanlage, die Heliumvorräte für Notkühlung und zur Deckung der Leckverluste und der regelbare Antrieb für die Hauptverdichter sowie alle zu diesen Kreislaufteilen gehörenden Verbindungsleitungen, Armaturen usw.

e) Raum R 011

In Raum R 011 sind untergebracht der 7 m³-Auffangbehälter, der Hochdruckkompressor R-Gb 201, die Hochdruckflaschen R-Bh 201 und eine Glovebox zur Entnahme von Gasproben.

4.4 Auswechselforrichtung

Allgemeines

Die Auswechselforrichtung dient zur Aufnahme und zum Transport aller für das Projekt erforderlichen Einsätze bzw. Stopfen aus dem vertikalen Zentralkanal, wie Versuchseinsätze, Druckrohr, Druckrohrstopfen und auch Looprohrstopfen. Sie ermöglicht insbesondere den Transport der Versuchseinsätze mit den Brennelement-Proben zwischen dem Reaktorgebäude und den Heißen Zellen in Bau 32.

Der Looprohrstopfen, der normalerweise im Stopfenlager im unteren biologischen Schirm untergebracht ist, verschließt den leeren vertikalen Zentralkanal, während der Druckrohrstopfen das Druckrohr der Versuchseinrichtung dann verschließt, wenn kein Versuchseinsatz eingebaut ist.

Die Beschickung des Bestrahlungskanals geschieht von unten, also von Raum R 111 aus.

Die Hauptteile der Auswechselforrichtung sind:

- 1.) Die Wechselmaschine mit der Bleiflasche
- 2.) Das Hakengeschirr 1
- 3.) Der Flaschenbock mit Wagen
- 4.) Das Hakengeschirr 2
- 5.) Das Schutzhemd
- 6.) Der Looprohrabschirmbehälter

Zeichnung Nr. TA2-PSB-40.05-ü-716 bietet einen Überblick über den Auswechselfvorgang des Loopeinsatzes und zeigt die wesentlichen Teile der Auswechselforrichtung.

Beschreibung und Funktionsweise der einzelnen Teile

Die Hauptteile der Wechselmaschine sind: das Fahrwerk, das Drehwerk, die Bleiflasche mit dem Hubkolben, das hydraulische Hubwerk und die Schutzhemdlagerposition. Mit dem Fahrwerk wird die Maschine im Raum R 111 in folgende Positionen fernbedient verfahren und verriegelt: vertikaler Zentralkanal, Stopfenlager, runde Luke und nördliche Hälfte der zweiteiligen Luke. Durch das Drehwerk kann wahlweise die Bleiflasche, das Hubwerk oder die Schutzhemdlagerposition unter die Mitte der entsprechenden Positionen gebracht werden. Die Wechselmaschine kann ferngesteuert bedient werden.

Die Bleiflasche ist für die Aufnahme des Versuchseinsatzes bestimmt. Ihr Bleimantel hat im oberen Teil eine Dicke von 245 mm und im unteren Teil eine

Dicke von 175 mm. Sie kann (durch Hubwerk II) bis Unterkante biologischer Schirm hochgefahren werden. Die Bleiflasche kann ohne Lösen einer Verbindung aus der Drehplattform herausgehoben werden.

Der Hubkolben im Innern der Bleiflasche (Hubwerk III) dient zum Einziehen und Ausstoßen des Versuchseinsatzes und des Druckrohres. Er enthält einen elektrischen Antriebsmotor und ein Untersetzungsgetriebe. Zwei Antriebszahnäder dieses Getriebes greifen in die beiden Zahnstangen am inneren Stahlmantel der Bleiflasche ein.

Die vom Getriebe ausgeübte Kraft beträgt maximal 1000 kg. Sollte diese Kraft einmal nicht ausreichen, weil ein Einsatz aus irgendwelchen Gründen schwerer zu ziehen ist, so kann diese mittels Winde und Zugseil, das am Kolben befestigt ist, wesentlich vergrößert werden. Zugseil und Winde kommen auch zum Einsatz, wenn der normale Antrieb des Hubkolbens während des Auswechsellvorganges aussetzt.

Durch eine im Getriebe eingebaute Drehmukupplung kann der Hubkolben mit Anschlag gegen den Loopeinsatz fahren. Die formschlüssige Verbindung zwischen Hubkolben und Loopeinsatz erfolgt durch die selbsttätig schließende Klemmvorrichtung, die mit dem Hubkolben eine Einheit bildet. Das Lösen erfolgt durch Fernbetätigung und im Störfall in der obersten Endstellung von Hand. Als oberer Verschluß der Bleiflasche ist ein ca. 270 mm dicker Bleischieber vorgesehen, der im Normalfall fernbetätigt geöffnet und geschlossen werden kann. Bei Störfällen können diese Funktionen mit einer Handkurbel ausgeführt werden.

Das hydraulische Hubwerk (Hubwerk I) dient zum Wechseln des Looprohrstopfens und des Druckrohrstopfens. Es ist wie die Bleiflasche auf dem Drehgestell der Wechselmaschine montiert. Der Teleskopzylinder des Hubwerks trägt am oberen Ende eine Klemmvorrichtung, so daß im Falle eines Klemmens der Stopfen mit Kraft herausgezogen werden kann. Die jeweilige Höhenstellung des Hubstempels wird durch elektrische Fernübertragung angezeigt. Durch einen Kraftanzeiger kann die Einhaltung der zulässigen Druckkraft überwacht werden.

Das Schutzhemd wird über den in die Bleiflasche eingebrachten Versuchseinsatz gestülpt und dient erstens zur zusätzlichen Strahlenabschirmung und zweitens mit den an seinem äußeren Mantel angebrachten Laufrollen zum Einfahren des Versuchseinsatzes aus der horizontalgelegten Bleiflasche in die Heiße Zelle. In der Heißen Zelle wird der Versuchseinsatz durch Abnehmen von Teilstücken des Schutzhemdes freigelegt.

Mit Hilfe des Hakengeschrirs 1 wird die ca. 6 m lange Bleiflasche von Raum R 111 durch die Luke in die Reaktorhalle gehoben und in die Horizontale geschwenkt.

Der Flaschenbock nimmt die horizontal gelegte Bleiflasche im Heißen Zellen-Gebäude auf. Er ist in der Vertikalen und Horizontalen von Hand verstellbar, wodurch das Ausrichten der Flaschenachse auf die Öffnung der Heißen Zelle möglich ist.

Der normalerweise für den Looprohrwechsel vorgesehene Looprohr-Abschirmbehälter dient zur Aufnahme des Druckrohrstopfens, des Druckrohres oder des Schutzhemdes. Er ist zur Strahlenabschirmung mit einem 180 mm dicken Bleimantel versehen. Die untere Öffnung kann durch einen handbetätigten Bleischieber verschlossen werden. Im Innern des Behälters befindet sich an einem Stahlseil hängend eine elektromagnetisch betätigte Greifvorrichtung. Die den Kugelzapfen des Druckrohres, des Druckrohrstopfens oder des Schutzhemdes umfassende Greifvorrichtung ist so gesichert, daß ein unbeabsichtigtes Lösen der Verbindung nicht möglich ist.

4.5 Regelung

Eine Forderung, die an die Versuchseinrichtung gestellt wird, ist die, daß die Temperatur der Brennelementoberflächen trotz wechselnder Betriebsbedingungen auf einem vorgegebenen Wert gehalten wird. Diese Forderung sollen die folgenden 3 Verfahrensregelungen erfüllen:

- a) Die Regelung Re 101 hat die Aufgabe, die Druckdifferenz über den Hauptkreis konstant zu halten und die Verdichter vor dem "Pumpen" zu schützen.
- b) Die Regelung Re 601 regelt den Wasserdurchfluß durch den Hauptwärmetauscher H-Wt 101 so, daß die Gastemperatur am Eintritt zum Loopeinsatz etwa konstant ist.
- c) Die Regelung Re 102 regelt den Gasdurchsatz durch den Loopeinsatz so, daß bei wechselnder Reaktorleistung die Temperatur der Prüflingsoberflächen konstant bleibt.

Zu Regelung Re 101

Als Istwertgeber für diese Druckregelung wird die Meßstelle Q 101 verwendet, da infolge der flachen Kennlinie der Verdichter zu kleinen Druckänderungen verhältnismäßig große Mengenänderungen gehören. Die Regelung auf konstanten Vordruck (bezogen auf das Regelventil H-Ve 102) wird somit als Durchflußregelung mit konstantem Sollwert realisiert. Die einzige bedeutende Störgröße für die Regelung Re 101 ist die Änderung des Durchflusses durch das Ventil H-Ve 102.

Mit der Regelung Re 601 soll eine annähernd konstante Eintrittstemperatur des Gases von 50°C in die Prüfstrecke erreicht werden. Als Istwertgeber dient

die Meßstelle T 114. Dieser Meßort ermöglicht auch bei großen Durchflüssen durch den Bypass mit dem Ventil H-Ve 101, die Eintrittstemperatur konstant zu halten. Die durch die Transportzeit des Gases vom Wärmetauscher bis zum Meßort eintretende Totzeit ist klein gegenüber der Zeitkonstante des Wärmetauschers. Stellglied ist ein Regelventil im Wasserzufluß des Wärmetauschers H-Wt 101.

Die Regelung Re 102 soll die Einhaltung einer konstanten Oberflächentemperatur der Brennelementprüflinge von 500 bis 700°C im Bereich von ca. 20 % bis 100 % der Reaktornennleistung gewährleisten. Dazu wird die Oberflächentemperatur durch aufgeschweißte Thermoelemente mit den Meßstellen T 103 bis T 106 gemessen. Zur Regelung der Oberflächentemperatur wird vom Regler der Durchfluß mit dem Ventil H-Ve 102 geändert. Nachdem der Vordruck vor dem Regelventil H-Ve 102 durch die Bypass-Regelung Re 101 konstant gehalten wird, tritt als wesentliche Störgröße nur noch die Reaktorleistung auf. Die Gaseintrittstemperatur in dem Loopeinsatz bleibt durch die oben beschriebene Regelung Re 601 annähernd konstant. Durch konstruktive Maßnahmen wird erreicht, daß das Regelventil H-Ve 102 nicht ganz geschlossen werden kann.

4.6 Steuerung

Solange sich ein Prüfling im Loopeinsatz befindet, besteht jederzeit die Möglichkeit, daß große Mengen von flüchtigen Spaltprodukten in das Kreislaufsystem gelangen. Der größte Teil der Anlage - wie z.B. der Hauptkreislauf, die Reinigungsanlage usw. - wurde deshalb in einem Raum (R 207) untergebracht, der während des Betriebes nicht betreten wird. Alle Anlagenteile, die sich in diesem Raum befinden, und die während des Betriebes oder unmittelbar nach einem Canbruch betätigt oder automatisch gesteuert werden müssen, können von einem zentralen Bedienungspult aus ferngesteuert werden. Von allen wichtigen Ventilen des Kreislaufes wird die Stellung im Blindschaltbild auf dem Steuerpult signalisiert und alle für den Betrieb des Loops wichtigen Meßwerte werden angezeigt.

Die folgenden Störsignale lösen eine Sicherheitsoperation automatisch aus:

Störsignal:	Sicherheitsoperationen:	Signalauswahl:
zu hohe Cantemperatur	Reaktorschnellschluß Notkühlprogramm N	1 v. 4
Verdichterstörung	Reaktorschnellschluß	1 v. 1
Canbruch	Reaktorschnellschluß Reinigungsprogramm R	2 v. 3
Druckrohrkühlung gestört	Reaktorschnellschluß	1 v. 2

Daneben werden eine große Anzahl von Störsignalen, die kein sofortiges Eingreifen erfordern, optisch und akustisch an das Bedienungspersonal gegeben (siehe Abschn. 8.7). Zur Beseitigung der Störursache bzw. zum Abschalten des Reaktors stehen dabei etwa 15 Minuten zur Verfügung. Von den Störsignalen wird eine Summenmeldung in die Hauptschaltwarte des FR2 geleitet.

Ventile, die häufig gemeinsam betätigt werden, oder die automatische Steuerbefehle erhalten, sind zu Programmen zusammengefaßt. Zunächst sind 3 Programme vorgesehen:

Das Grundprogramm G (Abb. 8) wird von Hand eingeschaltet; das Notprogramm N (Abb. 9) und das Reinigungsprogramm R (Abb. 10) werden von Hand oder automatisch ausgelöst. Die Ventilsteuertabelle, Abb. 7, gibt eine Übersicht über alle automatischen Programm- und Einzelbefehle.

Automatische Programmbefehle sind bevorrechtigt gegenüber Hand-Programmbefehlen. Erst nach Erlöschen des automatischen Befehls oder nach Betätigen eines Schlüsselschalters kann an das ganze Programm oder ein einzelnes zum Programm gehörendes Ventil ein Gegenbefehl gegeben werden.

Die Ventile werden einzeln überwacht. Sobald die Stellung eines Ventiles nicht mit dem gegebenen Steuerbefehl übereinstimmt, wird das Ventil als gestört gemeldet.

Die Magnetventile für die Notkühlungs-Einspeisung und für die direkte und indirekte Kreislaufentspannung öffnen bei Spannungsausfall selbsttätig. Das Magnetventil der Normaleinspeisung schließt bei Spannungsausfall.

4.7 Wasser- und Energiebedarf

Wasserbedarf

Bei Vollastbetrieb werden maximal folgende Kühlwassermengen benötigt:

1.) Vollentsalztes Wasser aus dem Sekundärkreislauf des FR2

a) Wärmetauscher H-Wt 101	2,7 m ³ /h
b) Wärmetauscher R-Wt 202	0,2 m ³ /h
c) Verdichter H-Gb 101 u. H-Gb 102	0,6 m ³ /h
d) Wärmetauscher H-Wt 102	1,5 m ³ /h
	<hr/>
	5,0 m ³ /h

2.) Frischwasser

a) Luftzerlegungsanlage	13 m ³ /h
b) Kompressor R-Gb 201	0,3 m ³ /h
	<hr/>
	13,3 m ³ /h

Zum Regenerieren des Halogenadsorbers H-Fi 102
nach Abschalten des Kreislaufes

d) Wärmeaustauscher R-Wt 205 4,6 m³/h

3.) Wasser aus dem Experimentierkreislauf des FR2
Kühlwasser für Loopeinsatz 260 l/h

Energiebedarf

Das Abbrandloop hat bei Vollastbetrieb maximal den folgenden Strombedarf:

a) N ₂ -Kompressor der Luftzerlegungsanlage	120 kW (ständig)
b) Verdichter H-Gb 101 und H-Gb 102	38 kW "
c) Kompressor R-Gb 201	3 kW (zeitweise)
d) Vakuumpumpe Z-Gb 501	1,1 kW "
e) Heizung H-Fi 102	5 kW "
f) Heizung R-Hz 201	5 kW (ständig)
g) Heizung R-Fi 201	1,5 kW (zeitweise)
h) Heizung R-Hz 202	7 kW "
i) Steuerstrom N ₂ -Erzeugung	ca. 2 kW
k) Steuerstrom Helium-Kreislauf	ca. 7 kW
l) Steuerstrom Frequenzwandler (für H-Gb 101 und H-Gb 102)	ca. 0,5 kW

5. Vorversuche und Erprobungen

5.1 Out of pile-Test

Der gesamte Helium-Versuchskreislauf mit komplettem Regelungs- und Steuersystem einschließlich der Luftzerlegungsanlage war zur Erprobung in der Technikumshalle des Institutes für Heiße Chemie aufgebaut. Neben der Erprobung der Anlage sollten verschiedene Funktionsprüfungen durchgeführt und die erforderlichen Meßwerte und Betriebserfahrungen gewonnen werden.

An Stelle der Bestrahlungsproben wurden elektrisch beheizte Prüflinge mit 12 mm Außendurchmesser eingesetzt. Der Kühlgasspalt betrug 1,25 mm. Die Anordnung der 4 Heizstäbe gegeneinander war dieselbe wie sie für den späteren Betrieb vorgesehen ist. Die Messung der Prüflingstemperatur erfolgte über Thermoelemente.

Im folgenden werden die Ergebnisse der wichtigsten Versuche kurz aufgeführt.

Wärmeübergangsmessung

Im Auslegungspunkt der Anlage ($80 \text{ m}^3/\text{h}$ Kühlmedium über den Loopeinsatz) wird eine Wärmeübergangszahl von $0,60 \text{ W/cm}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht. Damit ist es möglich, Proben von z.B. 10 mm \varnothing bei einer mittleren Cantemperatur von 550°C und einer Stableistung von 800 W/cm zu bestrahlen. Das entspräche einer mittleren Leistungsdichte im Brennstoff von ca. 1380 W/cm^3 .

Temperatursprünge an den Prüflingen

Bei Laständerungen und schlagartigen Änderungen des Kühlgasstromes treten Abweichungen der Prüflingstemperaturen vom Regelsollwert auf.

Die durch Hochfahren des Reaktors von 10 % auf 100 % der Nennleistung innerhalb von 72 sec,

durch Auslösen des Reinigungsprogrammes,

durch Ausfall eines Gebläses,

durch Ansprechen eines Sicherheitsventiles im Hauptkreis hervorgerufenen Temperatursprünge betragen, z.B. bei einer Stableistung von 1000 W/cm , maximal etwa 55°C . Der Grenzwert für das Eingreifen des Notkühlprogramms muß um einen erforderlichen Betrag, der von den jeweiligen Experimentierbedingungen abhängig ist, über den möglichen maximalen Temperatursprung gelegt werden.

Nach Auslösen des Notkühlprogrammes

durch Ausfall beider Gebläse,

durch Schließen von Ventil H-Ve 110,

durch Schließen des Regelventils H-Ve 102 (mit Stellwegbegrenzung) tritt über den eingestellten Grenzwert hinaus ein Überschwingen der Cantemperatur auf. Der größte Wert ergab sich beim Schließen von H-Ve 102 (bei 1000 W/cm Stabileistung) mit etwa 70°C.

Überprüfung der Temperaturen im "kalten Teil" der He-Reinigungsanlage

Im Normalbetrieb wurde bei einem Durchsatz von ca. 300 Nm³/h eine tiefste Temperatur von etwa -116°C an den Gegenstrom-Wärmetauschern erreicht. Diese Temperatur ist für die Tritiumabscheidung ausreichend. Konstante Temperaturverhältnisse stellten sich je nach Anfahrzustand nach 24 - 36 Stunden ein.

Nach dem Auslösen des Reinigungsprogrammes sinkt der Druck auf etwa 6,5 atü und die Gastemperatur im "kalten Teil" (T 206) schlagartig auf ca. -180°C ab. Das Reinigungsprogramm konnte mit einem Durchsatz von 80 Nm³/h gefahren werden, wobei die Temperatur nach dem Tieftemperatur-Adsorber etwa -185°C (T 206) betrug. Nach geringfügigen Änderungen wird etwa ein Durchsatz von 175 Nm³/h zu erwarten sein.

Da die gemessenen Werte für Temperatur und Durchsatz weit unter den vom Hersteller garantierten Werten liegen, wurden die Gegenstromwärmetauscher R-Wt 203 und R-Wt 206 gegen eine Neukonstruktion ausgetauscht. Im FR2 werden noch Messungen am neuen Gegenstromwärmetauscher durchgeführt, wobei mit wesentlich günstigeren Werten gerechnet werden kann, d.h. es ist zu erwarten, daß die vorgesehene Zeit von max. 2 Stunden für die völlige Reinigung des Kreislaufgases ausreicht.

Kurzzeitiger Stromausfall der Verdichter

Die Verdichter-Antriebe (ELCO-Frequenzumformer) waren ohne weiteres in der Lage, einen Stromausfall bis zu 1sec aufzufangen. Voraussetzung ist jedoch, daß die getrennte Steuerspannungsversorgung nicht unterbrochen wird.

Fördermengenverluste, die durch das Abfallen der Gebläsedrehzahl in jedem Falle auftraten, wurden durch die Regelung ausgeglichen. Ein nennenswerter Temperaturanstieg an den Prüflingen ist daher nicht aufgetreten.

An dem im Reaktor einzusetzenden Frequenzumformer, Fabrikat Bitter, werden noch entsprechende Versuche durchgeführt. Es sind dabei keineswegs schlechtere Ergebnisse zu erwarten.

Ausfall der Steuerspannung

Bei Ausfall der Steuerspannung öffnen die Ventile der Notkühlung, d.h. das Kreislaufvolumen entspannt in den Behälter und gleichzeitig wird Helium über den Loopeinsatz in den Kreislauf gespeist. Da alle anderen Ventile in ihrer

Stellung verbleiben, außer der Normaleinspeisung, die stromlos geschlossen ist, wird für eine ausreichende Abfuhr der Nachwärme durch die Notkühlung gesorgt.

Da nach Rückkehr der Steuerspannung sämtliche Motorventile schließen, wird ein zusätzlicher Schalter in die Stromversorgung der Steueranlage eingebaut, der bei Spannungsausfall abfällt und nur von Hand wieder eingeschaltet werden kann.

Kühlwasserausfall im Heliumkreislauf

Der Versuch zeigte, daß die Verdichter bei annähernd voller Leistung (20 000 Upm) ca. 15 min. ohne Kühlung gefahren werden können, ohne die maximal zulässige Temperatur von 90°C in den Wicklungen und Lagern zu erreichen.

Der Hauptwärmetauscher H-Wt 101 war bei 18,5 kW Prüflingsleistung insgesamt 30 Minuten ohne Kühlwasserversorgung. Die maximale Gastemperatur im Kreislauf betrug danach ca. 80°C.

Durch entsprechende Maßnahmen wird dafür gesorgt, daß die Wasserräume der Apparate nie völlig abgesperrt werden können.

Druckverlauf im Kreislauf bei Ausfall der Kälteversorgung

Nach Abschalten der N₂-Zufuhr steigen die Temperaturen in der Reinigungsanlage und der Kreislaufdruck relativ langsam an. Aus den Versuchsergebnissen läßt sich ein max. Druckanstieg von 1 bis 1,5 Atmosphären pro Stunde angeben.

Durch das Auswechseln der Wärmetauscher R-Wt 203 und R-Wt 206 gegen einen Wärmetauscher mit kleinerem Gesamtvolumen wird der Druckanstieg noch geringer werden.

Gesamtbeurteilung der Anlage

Die Verdichter liefen während der gesamten Versuchsdauer störungsfrei. Die Drehzahlregelung arbeitete gut.

Als stör anfällig erwiesen sich die ELCO-Frequenzumformer. Sie werden ersetzt durch einen Frequenzumformer der Fa. Bitter, der z.Z. in Probetrieb läuft. Die Ventilsteuerung funktionierte einwandfrei, sowohl bei automatischer als auch bei Hand-Auslösung.

Das Meßsystem genügte nicht ganz den Anforderungen, notwendige Änderungen wurden durchgeführt. Die Transmitter der Differenzdruck-Meßstellen und der Durchflußmesser erfordern ein gelegentliches Nachjustieren hinsichtlich Nullpunkt und Linearität.

Ventile, Stellantriebe und Druckminderer arbeiten einwandfrei, ebenso der Membrankompressor.

Die Ringplattenventile im Loopeinsatz zeigten keinerlei Störanfälligkeit. Ein geringes Flattergeräusch trat erst bei Durchsatzmengen $< 10 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 30 ata auf.

Die Luftzerlegungsanlage hat während des Versuchsbetriebes zufriedenstellend gearbeitet. Die Stickstofferzeugung für den "kalten Teil" der Anlage ist ausreichend.

Abschließend kann gesagt werden, daß die Anlage hinsichtlich Thermodynamik und Regelung richtig ausgelegt ist. Es ist auf Grund der bisherigen Versuchsergebnisse ein sicherer Dauerbetrieb der Anlage zu erwarten.

5.2 Dichtheitsmessung

Alle angelieferten Kleinbauteile bis zu einem Volumen von ca. 30 Liter wurden vor dem Einbau einem sog. Hüllentest bei Betriebsdruck unterzogen. Die größeren Bauteile wie Behälter, Rohrleitungen und größere Ventile wurden z.T. schon bei den Herstellern durch Abschnüffeln der kritischen Stellen (Schweißnähte, Verschraubungen, Durchführungen) überprüft. Alle vor der Montage zum out of pile-Test abgenommenen Apparate und Ventile des Kreislaufs hatten eine gemessene Leckrate von $\leq 10^{-6}$ Torr.l/sec, mit Ausnahme des Wärmeaustauschers R-Wt 203 mit einem Leck von $1 \cdot 10^{-4}$ Torr.l/sec und des Tieftemperatur-Adsorbers mit einem Leck von 10^{-5} Torr.l/sec (Helium- gegen Stickstoffraum). Diese Lecks wurden akzeptiert, da der Stickstoffraum dieser Apparate in jedem Betriebszustand in ein geschlossenes Abgassystem entlüftet wird.

Im Anschluß an die Endmontage im FR2-Gebäude findet nochmals eine Leckprüfung statt. Dabei werden insbesondere alle Montage-Verbindungsstellen sowie eingeschweißte Rohrstutzen an den Behältern, die durch den Transport gelitten haben könnten, geprüft. Abschließend ist die Bestimmung der Leckrate der gesamten Anlage gegenüber den Kreislaufräumen vorgesehen.

5.3 Sonstige Vorversuche

Messung der Cantemperaturen

Die Prüflingstemperatur wird mit Thermoelementen gemessen. Nach verschiedenen Versuchen ergab sich, daß Chromel-Alumel-Miniatur-Mantelthermoelemente mit 1 mm Manteldurchmesser gut geeignet sind.

Das Verhältnis vom Meßwert zum wahren Wert lag bei Messungen im out of pile-Test relativ gut, und zwar zwischen 1,12 und 1,30. Eine Abhängigkeit des Meßfehlers von der Stabileistung bzw. Gasgeschwindigkeit ließ sich infolge der geringen Anzahl von Meßstellen und aufgenommener Meßpunkte nicht erkennen.

Zur Zeit werden noch eingehende Untersuchungen durchgeführt, wobei einmal verschiedene Befestigungsarten der Thermoelemente auf ihre Haltbarkeit geprüft und zum anderen verschiedene Anordnungsarten der Meßstellen hinsichtlich der Meßwertabweichung und Reproduzierbarkeit untersucht werden.

Conoseal-Flansch am Loopeinsatz

Der Versuchseinsatz ist mit dem Druckrohr durch eine Conoseal-Flanschverbindung der Fa. Aeroquip verbunden. Zur Erteilung einer Einbaugenehmigung durch den TÜV Mannheim mußte eine Verfahrensprüfung durchgeführt werden. Der Versuch zeigte, daß die Biegebeanspruchung mit 776 kg/cm^2 bei 1,5-fachem max. Betriebsdruck weit unter der zulässigen Spannung von 2000 kg/cm^2 (bei 100°C) für Werkstoff Nr. 4541 liegt.

Die bei verschiedenen Drücken mit dem CEC-Lecksuchgerät gemessenen Leckraten waren stets kleiner als $5 \cdot 10^{-6} \text{ Torr.l/sec}$.

Halogenfilter H-Fi 104

Das im Loopeinsatz untergebrachte Filter besteht aus Vorfilter, Feinfilter und Silberwollepackungen. In einem Vorversuch wurde der Abscheidegrad für Halogene dieses Filters bestimmt. Die Versuchsbedingungen wurden den Betriebsbedingungen des Loops weitgehend angepaßt. Der experimentiell ermittelte Abscheidegrad für Joddampf in Helium ist größer als 99 %.

Abfuhr der Nachwärme

Durch einen besonderen Versuch (5/2) wurde ermittelt, nach welcher Zeit nach Abschalten des Reaktors die in den Prüflingen noch entstehende Nachwärme ohne besondere Kühlung abgeführt werden kann. Die Versuchsergebnisse zeigen, daß bei einer zulässigen Cantemperatur von 700°C ca. 3,5 Stunden nach Abschalten des Reaktors die Abfuhr der Nachwärme von ca. 1 % der ursprünglichen Leistung ohne Zwangskühlung möglich ist. Zugrunde gelegt wurde eine Betriebsleistung von 30 kW bei einer Stableistung von 1000 W/cm.

Erprobung der Auswechselmaschine

Die Auswechselmaschine wurde im Kaltversuch am FR2 mit den erforderlichen Einbauten für den Zentralkanal erprobt. Die Maschine war für die notwendigen Positionen genau ausgerichtet und konnte diese Positionen einwandfrei anfahren.

Im einzelnen wurden folgende Vorgänge erprobt:

1. Aufnahme des Druckrohres mit Druckrohrstopfen in die Bleiflasche und Erprobung der Klemmvorrichtung.

2. Aus- und Einbau des Looprohrstopfens mit dem Hubwerk I und Transport des Looprohrstopfens zur Lagerposition.
3. Ein- und Ausbau des Druckrohres in das Looprohr mit dem Hubwerk III der Wechselmaschine.
4. Aus- und Einbau des Druckrohrstopfens mit dem Hubwerk III und mit dem Hubwerk I.
5. Ein- und Ausbau des Versuchseinsatzes mit dem Hubwerk III.
6. Hubwerk II wurde soweit erforderlich mit erprobt.

Für sämtliche Operationen war die Genauigkeit der Anlage voll ausreichend.

Erprobung der Heiße Zellen-Einrichtung

a) Einbringen des Versuchseinsatzes in die Heiße Zelle.

Im Kalt-Versuch wurden folgende Operationen durchgeführt:

1. Transport der Bleiflasche von der FR2-LKW-Schleuse zum Bau 32 und Abladen der Bleiflasche vor der Zelle 1.
2. Einjustieren der Bleiflasche auf die Drehschleusenöffnung in der Zellentür der Zelle 1.
3. Beschicken des Führungsbettes in der Heißen Zelle mit dem Versuchseinsatz und dem Schutzhemd aus der Bleiflasche.
4. Fernbediente Demontage und Montage des Schutzhemdes in der Heißen Zelle.
5. Beschicken der Bleiflasche mit dem Versuchseinsatz und Schutzhemd aus der Heißen Zelle.

Alle aufgeführten Erprobungen verliefen weitgehend zufriedenstellend.

Einige aufgetretene Mängel werden noch behoben.

b) Arbeiten am Versuchseinsatz

Alle wichtigen Erprobungen am Versuchseinsatz - wie Zerlegung des Versuchseinsatzes, Ein- und Ausbau der Prüflinge, Aus- und Einbau des Filters usw. - konnten zufriedenstellend durchgeführt werden. Weitere Erprobungen sind vorgesehen.

6. Auswechselforgänge

6.1 Übersicht

Die im Zentralkanal des FR2 bestrahlten Brennstoffproben müssen in den Heißen Zellen im Bau 32 ausgewertet werden. Dazu muß nach Beendigung der Bestrahlung der Versuchseinsatz zusammen mit den Prüflingen aus dem Reaktor ausgebaut und nach Bau 32 gebracht werden. Dort wird die Prüflingshalterung mit allen 4 Bestrahlungsproben oder 1 Probe allein aus dem Versuchseinsatz entfernt und durch entsprechende inaktive Teile ersetzt. Nach Einbau des Versuchseinsatzes in den Reaktor kann die nächste Bestrahlung beginnen.

Das Druckrohr bleibt ständig im Reaktor. Es kann - z.B. nach Beendigung einer Versuchsserie - ausgebaut, im Absetzblock des FR2 gelagert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder in den Zentralkanal des Reaktors eingebaut werden.

Im folgenden sind alle notwendigen Wechseloperationen aufgeführt. Die dazu notwendige Auswechselforrichtung wurde in Abschn. 4.4 beschrieben.

- a) Einbau des Druckrohres mit dem Druckrohrstopfen in den Zentralkanal, Transport des Looprohrstopfens vom Zentralkanal in das Stopfenlager im unteren biologischen Schirm.
- b) Einbau des Versuchseinsatzes mit Prüflingen in den Zentralkanal, Transport des Druckrohrstopfens aus dem Zentralkanal in den Looprohrabschirmbehälter.
- c) Ausbau des Versuchseinsatzes mit Bestrahlungsproben aus dem Zentralkanal, Einbau des Druckrohrstopfens in den Zentralkanal.
- d) Transport des Versuchseinsatzes mit Bestrahlungsproben nach Bau 32, Auswechseln der Bestrahlungsproben, Transport des Versuchseinsatzes zum FR2.
- e) Ausbau des Druckrohres mit Druckrohrstopfen aus dem Zentralkanal, Transport des Druckrohres zum Absetzblock, Einbau des Looprohrstopfens in den Zentralkanal.

6.2 Die einzelnen Auswechselforgänge

Für alle Wechseloperationen wird vorausgesetzt, daß der Reaktor abgeschaltet, das Core voll beladen und mit D₂O gefüllt ist.

6.2.1 Einbau des Druckrohres

Es wird angenommen, daß sich der Looprohrstopfen im Zentralkanal befindet und daß der Druckrohrstopfen im Druckrohr befestigt ist. Beim erstmaligen

Einbau eines nicht aktivierten Druckrohres soll das Druckrohr frei am Rundlaufkran hängen. Falls das Druckrohr schon aktiviert ist, hängt es im Looprohrabschirmbehälter, der über der runden Luke 460 Ø in der Reaktorhalle positioniert ist.

Es sollen die einzelnen Vorgänge in chronologischer Reihenfolge aufgezählt werden:

1. Bleiflasche unter die runde Luke 460 Ø fahren, Schieber der Bleiflasche öffnen. (Bei aktiviertem Druckrohr Raum R 111 verlassen.)
2. Druckrohr mit Druckrohrstopfen am Kugelzapfen des Druckrohres mit Hilfe des elektromagnetischen Greifers und des Rundlaufkrans bzw. des Looprohrabschirmbehälter-Hubwerkes in die Bleiflasche einsetzen.
3. Greifer lösen und hochfahren. Flaschenschieber schließen. (R 111 betretbar)
4. Hydraulisches Hubwerk der Wechselmaschine unter den vertikalen Zentralkanal fahren.
5. Kühlluftleitung vom Looprohrstopfen trennen und Führungszapfen an den Looprohrstopfen anschrauben.
6. Hydraulischen Hubstempel bis zum Anschlag am Looprohrstopfen hochfahren. Dabei Kraftanzeige beobachten.
7. Verbindung zwischen Looprohrstopfen und Ringstopfen lösen.
R a u m R 111 v e r l a s s e n
8. Hubstempel mit Looprohrstopfen absenken.
9. Hubstempel unter Loopstopfenlager fahren, Looprohrstopfen in das Stopfenlager einfahren und verriegeln.
10. Hubstempel wieder absenken, Drehgestell der Wechselmaschine um 180° drehen und Bleiflasche unter den Zentralkanal fahren.
11. Flaschenschieber öffnen, Druckrohr mit Stopfen in den Zentralkanal einfahren.
R a u m R 111 b e t r e t b a r
12. Druckrohr am Ringstopfen befestigen (6 Knaggen).
13. Klemmvorrichtung entriegeln, Hubkolben absenken und Flaschenschieber schließen.

6.2.2 Einbau des Versuchseinsatzes

Bei Behandlung dieser Operation geht man davon aus, daß der aktivierte Versuchseinsatz mit neuen Prüflingen sich zusammen mit dem Schutzhemd in der Bleiflasche befinden und daß diese horizontal auf einem Tieflader in der LKW-Schleuse liegt. Im Normalfalle nimmt die Flasche den Einsatz mit dem Bleihemd im Heißen Zellenbau auf, beim ersten Einsetzen kann er dagegen in der LKW-Schleuse oder in der Reaktorhalle eingeschoben werden. Ferner wird vorausgesetzt, daß das Druckrohr mit Druckrohrstopfen im Zentralkanal eingebaut ist. Die nördliche Hälfte des 2-teiligen Lukendeckels nach Raum R 111 ist entfernt. Die Luke 460 Ø ist geöffnet und der Looprohrabschirmbehälter auf dieser Luke positioniert.

Die einzelnen Auswechselfvorgänge sind:

1. Bleiflasche mit Hilfe des Hakengeschirrs 1 des 60 t-Zuges und des 5 t-Zuges vom Tieflader abheben, von der Horizontalen in die Vertikale schwenken und durch die Luke (1400 x 3000 mm) auf der Wechselmaschine absetzen.
2. Hakengeschirr abnehmen, Luke schließen.
3. Flasche unter die runde Luke (Looprohrabschirmbehälter) fahren, elektromagnetischen Greifer bis Oberkante Bleiflasche absenken.

R a u m R 111 v e r l a s s e n

4. Flaschenschieber öffnen und das Schutzhemd mit dem elektromagnetischen Greifer in den Looprohrabschirmbehälter hochziehen und Flaschenschieber schließen.

R a u m R 111 b e t r e t b a r

5. Schutzhemdlager-Position in der Drehplattform unter der runden Luke positionieren und Schutzhemd absenken.
6. Die Schwenkfinger für die Conoseal-Dichtung auf die Bleiflaschen-Stirnfläche montieren und den Conoseal-Dichtring auflegen.
7. Hydraulisches Hubwerk unter den Zentralkanal fahren, Hubstempel bis zum Anschlag am Druckrohrstopfen hochfahren (dabei Kraftanzeige beobachten) und Verbindung zwischen Druckrohrstopfen und Druckrohr entriegeln.

R a u m R 111 v e r l a s s e n

8. Druckrohrstopfen absenken und unter die runde Luke 460 Ø fahren.
9. Druckrohrstopfen an seinem Kugelzapfen mit dem elektromagnetischen

Greifer in den Looprohrabschirmbehälter einziehen. Schieber des Looprohrabschirmbehälters schließen.

10. Bleiflasche unter den Zentralkanal fahren.
11. Flaschenschieber öffnen und Versuchseinsatz mit Hilfe des Hubkolbens in den Zentralkanal einfahren.

R a u m R 111 b e t r e t b a r

12. Versuchseinsatz mit Druckrohr verbinden (Conoseal-Verbindung).

6.2.3 Ausbau des Versuchseinsatzes

Der Ausbau des Versuchseinsatzes beginnt im allgemeinen 24 Stunden nach Abschalten des Reaktors und nachdem sichergestellt ist, daß das Kreislaufgas und damit das Gas im gesamten Loopeinsatz mit Hilfe der Reinigungsanlage bis zum erforderlichen Maß von Aktivitäten befreit ist. Außerdem muß der Loopeinsatz vom Hauptsystem mit den Ventilen H-Ve 104 und H-Ve 105 abgetrennt und über Ventil S-Ve 410 druckentlastet werden.

Der Auswechsellvorgang kann in folgender Reihenfolge ablaufen:

1. Bleiflasche unter Zentralkanal fahren.
2. Flaschenschieber öffnen und Hubkolben bis an den Versuchseinsatz hochfahren.
3. Conoseal-Verbindung zwischen Versuchseinsatz und Druckrohr lösen, Versuchseinsatz um ca. 100 mm absenken und Dichtring entfernen.
4. Hubkolben weiter um ca. 300 mm absenken, Bleiflasche um 360 mm anheben.

R a u m R 111 v e r l a s s e n

5. Versuchseinsatz in die Flasche aufnehmen, Schieber schließen und Flasche absenken.
6. Hydraulisches Hubwerk unter die runde Luke 460 Ø fahren.
7. Druckrohrstopfen aus dem Looprohrabschirmbehälter auf das hydraulische Hubwerk aufsetzen und elektromagnetischen Greifer lösen.
8. Hydraulisches Hubwerk unter Zentralkanal fahren und Druckrohrstopfen in das Druckrohr einschieben (dabei Kraftanzeige beachten).

R a u m R 111 b e t r e t b a r

9. Druckrohrstopfen am Druckrohr befestigen und Hubstempel absenken.
10. Schutzhemdlagerposition unter runde Luke 460 Ø fahren und Schutzhemd in Looprohrabschirmbehälter hochziehen.

11. Bleiflasche unter runde Luke 460 Ø fahren.

R a u m R 111 v e r l a s s e n

12. Flaschenschieber öffnen, Schutzhemd über den Versuchseinsatz in der Bleiflasche absenken, Greifer lösen und hochziehen, Flaschenschieber schließen.

R a u m R 111 b e t r e t b a r

13. Bleiflasche unter die rechteckige Luke 1400 x 3000 fahren.
14. Luke öffnen, Bleiflasche mittels Hakengeschirr 1 und Rundlaufkran in die Reaktorhalle heben.
15. Bleiflasche mit 5 t-Kranhaken in die horizontale Lage bringen und auf dem Tieflader absetzen.

6.2.4 Auswechseln der Bestrahlungsproben

1. Transport der Bleiflasche mit den radioaktiven Prüflingen von der FR2-LKW-Schleuse zu Bau 32 auf dem Tieflader.
2. Umladen der Bleiflasche vom Tieflader auf den Flaschenbock mit Hilfe des Kranes in Bau 32 vor der Zelle 1. (Auf dem Bleiflaschenbock wurde die Bleiflasche einmalig auf die Drehschleusenöffnung in der Zellentüre der Zelle 1 einjustiert.)
3. Öffnen des Flaschenschiebers, Einfahren des Versuchseinsatzes mit Schutzhemd auf ein Führungsbett in Zelle 1 mit Hilfe des Hubkolbens der Bleiflasche. (In der Endstellung des Kolbens Einsetzen eines Zwischenstückes.)
4. Fernbediente Demontage der Halbschalen des Schutzhemdes in Zelle 1.
5. Lösen der Thermoelement- und Druckgeber-Steckverbindungen, Lösen der Thermoelement- und Druckgeberbefestigungen vom Loopeinsatz.
6. Lösen der Schrauben zwischen Prüflingshalterung und Versuchseinsatz (bzw. zwischen dem Flansch eines Gasführungsrohres und der Prüflingshalterung) und Entfernen der Prüflingshalterung (bzw. eines Gasführungsrohres) einschließlich der zugehörigen Prüflinge, Thermoelemente und Druckgeber.
7. Anbringen entsprechender inaktiver Teile, Verlegen und Befestigen der Thermoelemente und Druckgeber mit Zuleitung auf dem Versuchseinsatz und Herstellung der Steckverbindungen.
(Es ist möglich, im Anschluß an diese Arbeiten durch Lösen von Schraubverbindungen das kombinierte Staub- und Halogenfilter des Loopeinsatzes auszutauschen.)

8. Fernbediente Montage aller Halbschalen des Schutzhemdes.
9. Beschicken der Bleiflasche mit dem Versuchseinsatz und Schutzhemd aus der Zelle 1 mit Hilfe der in Zelle 1 aufgebauten Beschickungsvorrichtung.

6.2.5 Ausbau des Druckrohres

Vor Beginn der Operation soll der Looprohrabschirmbehälter über der runden Luke 460 Ø stehen. Der Loopeinsatz ist ausgebaut und das Druckrohr durch den Druckrohrstopfen strahlendicht verschlossen. Die Helium- und Kühlwasserleitungen sind vom Druckrohr abgeflanscht und die Kühlrohre vom Druckrohrstopfen entfernt.

Der Auswechsellvorgang läuft wie folgt ab:

1. Bleiflasche unter den Zentralkanal fahren und Schieber öffnen.
2. Hubkolben bis zum Anschlag am Druckrohrstopfen hochfahren und Verbindung zwischen Druckrohr und Ringstopfen lösen (6 Knaggen).
R a u m R 111 v e r l a s s e n
3. Druckrohr mit Druckrohrstopfen in die Flasche absenken und Schieber schließen.
4. Hydraulisches Hubwerk unter das Loopstopfenlager fahren.
5. Hubstempel bis zum Anschlag am Looprohrstopfen hochfahren. Dabei Kraftanzeige beobachten.
6. Stopfenriegel öffnen und Looprohrstopfen absenken.
7. Looprohrstopfen unter den Zentralkanal bringen und in den Zentralkanal einschieben.
R a u m R 111 b e t r e t b a r
8. Looprohrstopfen mit Ringstopfen verbinden und Hubstempel absenken.
9. Bleiflasche unter die runde Luke 460 Ø fahren.
R a u m R 111 v e r l a s s e n
10. Flaschenschieber öffnen und Hubgetriebe mit Druckrohr und Druckrohrstopfen um ca. 500 mm hochfahren.
11. Kugelzapfen des Druckrohres mit dem elektromagnetischen Greifer des Looprohrabschirmbehälters fassen und Klemmvorrichtung zwischen Druckrohrstopfen und Hubkolben der Bleiflasche lösen, gleichzeitig Hubkolben nach unten fahren.
12. Druckrohr in den Looprohrabschirmbehälter einziehen und Behälterschieber schließen.

R a u m R 111 b e t r e t b a r

13. Looprohrabschirmbehälter über Lagerposition auf dem Absetzblock positionieren.
14. Flaschenschieber öffnen, Druckrohr mit Druckrohrstopfen absenken, Greifer lösen und in den Abschirmbehälter hochziehen.
15. Looprohrabschirmbehälter entfernen, Lagerposition mit Hilfe des 5 t-Zuges durch Stopfen verschließen.

7. Betriebsablauf

Vor Beginn eines jeden Bestrahlungsversuches müssen alle wichtigen Angaben über die Bestrahlungsproben, die thermodynamischen Daten, die Neutronenflußverteilung im und um den Zentralkanal sowie der Reaktivitätsbeitrag des Experimentes bekannt sein. Für die Versuchsgruppe 1 wurden diese Berechnungen in dem Anhang "Erste Bestrahlungs-Versuchsgruppe" zusammengefaßt, der diesem Bericht beiliegt. Im folgenden sollen nur die wichtigsten Operationen während des Betriebsablaufes angegeben werden. Eine detaillierte Darstellung erfolgt im Betriebshandbuch.

7.1 Normaler Betrieb

Voraussetzung für den Beginn eines Bestrahlungsversuches ist ein abschließender Funktionstest aller Kreislaufkomponenten nach dem Einbau in den Reaktor. Dabei ist insbesondere zu kontrollieren: Die Dichtheit der Gesamtanlage, die Funktion der Meßgeräte, die richtige Einstellung der Grenzwerte, der zeitliche Ablauf des Notprogrammes, das Regelverhalten des Systems und die erreichbaren Temperaturen in der Reinigungsanlage. Voraussetzung für den Beginn eines Bestrahlungsversuches ist jeweils auch, daß das gesamte Kreislaufsystem mit Ausnahme des Loopeinsatzes unter Vakuum oder Helium-Atmosphäre steht, daß Druckrohr und Druckrohrstopfen in den Zentralkanal eingebaut sind, daß sich der Versuchseinsatz mit den Bestrahlungsproben in der Bleiflasche befindet, und daß die Stickstofferzeugungsanlage wenigstens 30 l/h flüssigen Stickstoff liefert.

Die Operationen sind:

1. Füllen des Kreislaufsystems mit Helium aus der Einspeisung A-Bh 301/302. Dabei ist der Loopeinsatz durch die Ventile H-Ve 104 und H-Ve 105 abgesperrt. Ventil H-Ve 106 ist geöffnet.
2. Inbetriebnahme des Kreislaufes bei Nenndurchsätzen gemäß Abb. 3 bis zum Erreichen konstanter Betriebsverhältnisse. Dazu Steuerung des Durchflusses Q 102 über den Loopeinsatz von Hand. Beseitigung aller evtl. anstehenden Störsignale.
3. Beladen des Zentralkanals mit Testelementen wie unter Abschn. 6.2.2 beschrieben. Anschließend Evakuieren des Loopeinsatzes durch die Vakuumpumpen C-Gb 800/801.
4. Kontrollbetrieb über Loopeinsatz nach Öffnen der Ventile He-Ve 104 und H-Ve 105 und Schließen von H-Ve 106. Dabei Ermittlung des Differenzdruckes P 105 über den Loopeinsatz bei Nenndurchsatz und damit

Funktionskontrolle des Loopeinsatzes. Abschließend Einstellen der Soll- und Grenzwerte für die Cantemperatur der Testelemente und Schaltung von H-Ve 102 auf automatische Regelung.

5. Starten des Reaktors. Nach Erreichen der maximalen Leistung - falls notwendig - Nachstellen des Grenzwertes von P 105 dicht über den tatsächlichen Wert.
6. Normaler Bestrahlungsbetrieb mit regelmäßiger Kontrolle aller wichtigen Meßwerte.
7. Vorbereitungen zum Ausbau der Testelemente. Nach Abschalten des Reaktors unveränderte Aufrechterhaltung der Kühlung über ca. 24 h. Danach Abschalten der Kühlung durch Öffnen von H-Ve 106 und Schließen von H-Ve 104 und H-Ve 105. Dabei Kontrolle der Prüflingstemperatur ($\cong 500^{\circ}\text{C}$). Ablassen der Heliumfüllung des Loopeinsatzes über S-Ve 410 in das Abgassystem für stark aktive Gase.
8. Ausbau des Versuchseinsatzes aus dem Zentralkanal und Ausbau der Testelemente aus dem Loopeinsatz wie unter Abschn. 6.2.3 und 6.2.4 beschrieben.

7.2 Maßnahmen nach Zerstörung der Testelemente

Bei einer Beschädigung oder Zerstörung der Testelemente wird automatisch der Reaktor abgeschaltet, und das Kreislaufgas über die Reinigungsanlage in den Auffangbehälter S-Bh 401 entspannt.

Danach sind folgende Operationen durchzuführen:

1. Einstellen von $400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Durchsatz durch die Reinigungsanlage (Q 201) durch Betätigen von H-Ve 102 und H-Ve 101 zur Hauptreinigung (ca. 2 bis 3 Stunden lang). Entnahme von Gasproben aus dem Hauptkreislauf zur Kontrolle des Reinigungseffektes.
2. Langfristige Nachreinigung des Hauptkreises mit reduziertem Gasdurchsatz (ca. 4 Tage lang).
3. Nach Abschalten der Kühlung (durch Schließen von H-Ve 104 und H-Ve 105) Evakuieren (durch Vakuumpumpe C-Gb 800/801) und Durchspülen des Loopeinsatzes mit Frischhelium (Kontrolle durch A 401).
4. Manipulationen am Loopeinsatz während des Ausbaues aus dem Zentrallooprohr und während des Einschleusens in die Heiße Zelle sind mit Atemschutzgeräten durchzuführen.
5. Das Filter H-Fi 104 ist in der Heißen Zelle nach Ausbau der Testelemente auszuwechseln. Das aktive Filter und eventuell die kontaminierten Gasführungs-

rohroberteile (nach entsprechender Zerkleinerung in der Heißen Zelle) werden in das Abfallager der GfK transportiert.

6. Reinigen des Auffangbehälter-Inhaltes bis auf ausreichend geringe Konzentration. Kontrolle von Gasanalysen.
7. Regenerieren des Halogenadsorbers. Dabei ständige Kontrolle der Beladung von H-Fi 102 und R-Fi 203 durch A 106 bzw. A 201.
8. Regenerieren des Filters Fi 202. Dabei ständige Kontrolle der Beladung durch A 202.
9. Zurückfördern des gereinigten Gases vom Auffangbehälter S-Bh 401 durch Kompressor R-Gb 201 in den Hauptkreis, Reinigen des Kreislaufes bis zum Beginn des weiteren Bestrahlungsbetriebes von radioaktiven Halogen-Folgeprodukten.
10. Nach Beginn des nächsten Bestrahlungsversuches ist die Aktivitätskonzentration im Kreislaufgas periodisch zu überwachen, da weiterhin aus den Halogenfiltern bzw. anderen Anlageteilen edelgasförmige Folgeprodukte in das Kreislaufgas gelangen können. Falls nötig, ist in kürzeren Zeitabständen oder ständig der Tieftemperaturadsorber R-Fi 202 zuzuschalten.
11. Falls es notwendig sein sollte, einzelne Kreislaufteile (Filter, Verdichter) nach einer Zerstörung der Prüflinge auszubauen, so sind beim Öffnen des Kreislaufes besondere Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, z.B. Absaugen der Montagestelle von innen und außen und Gebrauch von Atemschutzgeräten. Da eine Dekontaminierung des geschlossenen Kreislaufsystems nicht möglich ist, ist - falls notwendig - jedes ausgebaute Teil vor der Weiterbehandlung einzeln entsprechend zu reinigen.

8. Sicherheitsbetrachtungen

8.1 Aktivitäten im Kreislauf

Die bei der Durchführung der Loopversuche auftretenden Aktivitäten lassen sich in 3 Gruppen einteilen:

1. Radioaktive Spaltprodukte in den Prüflingen, von denen die flüchtigen in den Kreislauf gelangen können,
2. Aktivitäten im Kreislaufgas,
3. Aktivitäten der im Strahlenfeld liegenden Strukturmaterialien.

Spaltprodukte

Die Aktivität der 4 Prüflinge wurde auf den maximalen Abbrand von 100 000 MWd/t bei 30 kW Gesamtleistung der Prüflinge bezogen. Die Aufteilung der Prüflingsaktivität in Edelgase, Halogene und sonstiges zeigt nachstehende Tabelle 8/1 [8/1], [8/2].

Tabelle 8/1: Prüflingsaktivitäten in Curie

Aktivitätsanteil	Abklingzeit τ [sec]				
	0	10^3	10^4	10^5	10^6
Xe+Kr+Folgepr.	$1,4 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$
J+Br+Folgepr.	$1,3 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^3$	$5,4 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^2$
Sonstiges	$9 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
Gesamt	$11,7 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$

Die folgende Aufstellung gibt die Zusammensetzung der Halogen- und Edelgasaktivitäten zur Abklingzeit $\tau = 0$ an.

Halogene

J-129 : $1,66 \cdot 10^{-5}$ C
 130 : $2,53 \cdot 10^2$ "
 131 : $8,96 \cdot 10^2$ "
 132 : $1,36 \cdot 10^3$ "
 133 : $2,00 \cdot 10^3$ "
 134 : $2,26 \cdot 10^3$ "
 135 : $1,77 \cdot 10^3$ "

Br-82 : $3,82 \cdot 10^1$ C
 83 : $1,48 \cdot 10^2$ "
 84 : $3,20 \cdot 10^2$ "
 85 : $4,36 \cdot 10^2$ "
 87 : $7,83 \cdot 10^2$ "
 88 : $7,34 \cdot 10^2$ "

J-136 : $9,00 \cdot 10^2$ C
 138 : $8,64 \cdot 10^2$ "
 139 : $5,04 \cdot 10^2$ "

Edelgase

Xe-131m : 8,65 C	Kr-83m : $1,57 \cdot 10^2$ C
133 : $1,89 \cdot 10^3$ "	85 : 4,68 "
133m : $4,64 \cdot 10^1$ "	85m : $4,35 \cdot 10^2$ "
135 : $7,74 \cdot 10^2$ "	87 : $7,84 \cdot 10^2$ "
135m : $5,23 \cdot 10^2$ "	88 : $1,07 \cdot 10^3$ "
137 : $1,74 \cdot 10^3$ "	89 : $1,33 \cdot 10^3$ "
138 : $1,59 \cdot 10^3$ "	90 : $1,51 \cdot 10^3$ "
139 : $1,59 \cdot 10^3$ "	92 : $6,61 \cdot 10^2$ "
140 : $1,07 \cdot 10^3$ "	
141 : $5,23 \cdot 10^2$ "	

Die Tabelle 8/2 zeigt das γ -Spektrum der 4 Prüflinge (Leistungserzeugung 30 kW) nach unendlich langer Bestrahlungsdauer und 24 h nach Abschalten des Reaktors [8/3] sowie das γ -Spektrum der flüchtigen Spaltprodukte nach 0 und 2,4 h Abklingzeit [8/1].

Tabelle 8/2: γ -Spektrum der Prüflinge und der flüchtigen Spaltprodukte.

E-Gr.	E-Bereich [MeV]	\bar{E} [MeV]	Prüflinge A_{24h} [γ /sec]	Edelgase A_0 [γ /sec]	Halogene A_0 [γ /sec]	Edelgase $A_{2,4h}$ [γ /sec]	Halogene $A_{2,4h}$ [γ /sec]
1	0,1-0,4	0,4	$9,75 \cdot 10^{13}$	$6,29 \cdot 10^{13}$	$4,78 \cdot 10^{13}$	$4,54 \cdot 10^{13}$	$3,88 \cdot 10^{13}$
2	0,4-0,9	0,8	$2,82 \cdot 10^{14}$	$1,27 \cdot 10^{14}$	$4,15 \cdot 10^{14}$	$1,64 \cdot 10^{13}$	$1,96 \cdot 10^{14}$
3	0,9-1,35	1,3	$2,54 \cdot 10^{12}$	$1,59 \cdot 10^{12}$	$1,24 \cdot 10^{14}$	$1,59 \cdot 10^{12}$	$5,03 \cdot 10^{13}$
4	1,35-1,8	1,7	$5,30 \cdot 10^{13}$	$1,73 \cdot 10^{13}$	$4,88 \cdot 10^{13}$	$5,46 \cdot 10^{12}$	$2,68 \cdot 10^{13}$
5	1,8-2,2	2,2	$1,09 \cdot 10^{12}$	$8,03 \cdot 10^{12}$	$4,54 \cdot 10^{12}$	$9,91 \cdot 10^{12}$	$3,96 \cdot 10^{11}$
6	2,2-2,6	2,5	$3,24 \cdot 10^{12}$	$2,03 \cdot 10^{13}$	$7,20 \cdot 10^{12}$	$9,43 \cdot 10^{12}$	$5,04 \cdot 10^{10}$
7	> 2,6	2,8	$8,56 \cdot 10^{10}$	-	$3,04 \cdot 10^{13}$	$1,24 \cdot 10^{12}$	$7,20 \cdot 10^9$

Bei Canbruch an allen 4 Prüflingen und 100 %-iger Freisetzung der flüchtigen Spaltprodukte gelangen maximal $1,4 \cdot 10^4$ Curie Edelgase und $1,3 \cdot 10^4$ Curie Halogene in das Kreislaufgas. Beim 1. Durchgang durch die Filter der Halogen-Reinigung wird die Halogenaktivität etwa um den Faktor 10^6 geschwächt, während die Edelgasaktivität nur unwesentlich zurückgehalten wird. Mit der

Annahme-einer gleichmäßigen Verteilung der nach dem 1. Filterdurchgang verbleibenden Aktivität auf die gesamte Kühlgasmenge erhält man bei etwa 8 kg Kreislaufgas folgende Aktivitätskonzentrationen:

Edelgasaktivität: 1,75 C/g
Halogenaktivität: $1,65 \cdot 10^{-6}$ C/g

Nach einer Reinigungszeit von ca. 2 Stunden sind die Aktivitäten soweit in den Filtern gebunden, daß im Kreislauf etwa Toleranzkonzentration vorliegt.

Die Zeitabhängigkeit der Edelgasaktivität im Kreislauf während der Entspannung und während des Reinigungsbetriebes zeigen die Abb. 11 und 12. In der Abb. 11 ist der Prozentsatz P^1 der noch im Kreislauf vorhandenen Edelgasaktivität über der Zeit aufgetragen. Dieses entspricht gleichzeitig dem Druckverlauf während der Entspannung. Alle hinter dem Edelgasfilter liegenden Komponenten führen keine Aktivität mehr.

Setzt das Reinigungsprogramm ein, so verläuft die weitere Abnahme der Aktivität nach Abb. 12. Da sich während des Reinigungsbetriebes eine Umlaufzeit von ca. 100 sec einstellt, liegt die Aktivität innerhalb des schraffiert gezeichneten Bandes.

Aktivitäten im Kreislaufgas

Von den im Kreislaufgas erzeugten Aktivitäten ist nur das Tritium von besonderer Bedeutung. Es wird durch die Reaktion $\text{He}^3 (n,p) \text{T}$ laufend im Corebereich gebildet.

Die Tritium-Aktivitätsproduktion beträgt bei einem max. thermischen Neutronenfluß von $\phi_{\text{th}} = 1,5 \cdot 10^{14}$ n/cm²sec und 10 Liter Gasvolumen im Corebereich etwa $3,8 \cdot 10^{-1}$ µC/sec. Durch die Tritium-Reinigungsanlage wird mit Sicherheit ein Anwachsen der Tritiumkonzentration im Kreislauf über $6 \cdot 10^{-3}$ µC/cm³ verhindert.

Aktivität der Strukturmaterialien

Als Strukturmaterialien (Druckrohr, Gasführungsrohre) wurden Zircaloy-2, AlMg 3 und Edelstahl Werkst. Nr. 4541 verwendet. Die Aktivitäten dieser Materialien nach 3 Jahren Bestrahlungsdauer in einem thermischen Neutronenfluß von $\phi_{\text{th}} = 1 \cdot 10^{14}$ n/cm²sec und 0,1, 1 und 10 Tagen Abklingzeit zeigt Tabelle 8/3. In der Tabelle 8/4 ist das γ -Spektrum der Strukturmaterialien angegeben.

Tabelle 8/3: Aktivität der Strukturmaterialien

Material	$A_{2,4h}$ [C/g]	A_{24h} [C/g]	A_{240h} [C/g]
Zircaloy-2	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$5,2 \cdot 10^{-1}$	$4,6 \cdot 10^{-1}$
AlMg 3	$8,9 \cdot 10^{-1}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$
W-Nr.4541	10	5,9	5,0

Tabelle 8/4: γ -Spektrum der Strukturmaterialien

Material	Abklingzeit [d]	γ -Aktivität [γ /sec g] aufgeteilt in Energiebereiche [MeV]						
		0,1-0,4	0,4-0,9	0,9-1,35	1,35-1,8	1,8-2,2	2,2-2,6	> 2,6
Zircaloy-2	0,1	$3,7 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$5,3 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^6$	-	-	-
	1	$3,7 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^{10}$	$4,5 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^3$	-	-	-
	10	$3,4 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^{10}$	$4,0 \cdot 10^6$	-	-	-	-
AlMg 3	0,1	$2,4 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^{10}$	$5,7 \cdot 10^7$	-	$1,3 \cdot 10^{10}$	-	$6,9 \cdot 10^8$
	1	$2,3 \cdot 10^8$	$7,2 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^7$	-	$3,3 \cdot 10^7$	-	$1,7 \cdot 10^6$
	10	$1,8 \cdot 10^8$	$6,2 \cdot 10^1$	$5,3 \cdot 10^7$	-	-	-	-
W-Nr.4541	0,1	$1,6 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$8,5 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^8$	$6,6 \cdot 10^{10}$	-	$3,4 \cdot 10^9$
	1	$1,6 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^9$	$8,8 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^8$	-	$8,4 \cdot 10^6$
	10	$1,3 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^9$	-	-	-	-

Über die zu erwartenden Gesamtaktivitäten der Strukturmaterialien unter Berücksichtigung des Flußverlaufes im Zentralkanal, 3 Jahre Bestrahlungsdauer und 1 Tag Abklingzeit, gibt die Tabelle 8/5 Auskunft.

Tabelle 8/5: Gesamtaktivitäten der Strukturmaterialien

Bezeichnung	Material	Gewicht [kg]	Aktivität [C]
Prüflingshalterung	W-Nr. 4541	ca. 0,65	ca. 5000
	AlMg 3	0,35	30
Druckrohr:			
a) Oberteil	Zircaloy-2	22	8000
b) Unterteil	W-Nr. 4541		1600
Äußeres Gasführungsrohr:			
a) Oberteil	AlMg 3	5	210
b) Unterteil	W-Nr. 4541		230
Inneres Gasführungsrohr:			
a) Oberteil	W-Nr. 4541	0,25	1800
	AlMg 3	2,5	80
b) Unterteil mit Stopfen	W-Nr. 4541		85
	AlMg 3		$1 \cdot 10^{-2}$

8.2 Strahlengefährdung während des Betriebes

In diesem Abschnitt wird nur eine Gefährdung durch die im Kreislauf vorhandenen Aktivitäten betrachtet. Das Austreten von Aktivitäten kommt im Abschnitt 8.4 zur Sprache.

Im Normalbetrieb ohne Hüllschaden bilden die Aktivitäten keine Gefahr für das Bedienungspersonal, weil die Prüflingsaktivität und die Aktivität der Loop-einbauten sich konzentriert im Zentralkanal befinden. Die Tritium-Aktivität im Kreislaufgas wird durch die Reinigungsanlage auf einen tragbaren Wert gehalten.

Betrieb nach einem Hüllschaden

Den folgenden Ausführungen liegt im wesentlichen der PSB-Bericht Nr. 86/64 [8/4] zugrunde.

Für die Verteilung der Aktivitäten auf die Kreislaufräume sind folgende Fälle zu betrachten:

- a) Canschaden durch Störung während des normalen Betriebs
- b) Notkühlung und Canschaden fallen zeitlich zusammen
- c) Operationen mit radioaktiven Gasen nach Canbruch
- d) Störung im Ablauf des Reinigungsprogrammes.

a) Canschaden durch Störung während des normalen Betriebs

Es wird angenommen, daß nach wenigen Umläufen des Gases im Kreislauf sich die gesamte Halogenaktivität im Filter H-Fi 102 befindet (Halogen-Abscheidung im Loopeinsatz nicht berücksichtigt), während die Edelgasaktivität gleichmäßig über die im Kreislauf vorhandene Gasmenge verteilt sein soll. Entsprechend den thermodynamischen Zuständen des Gases in den einzelnen Kreislaufabschnitten wird die Edelgasaktivität auf die einzelnen Behälter und Rohrleitungen im Kreislauf verteilt. Die gesamten freiwerdenden Aktivitäten sind nach diesen Voraussetzungen in Kreislaufteilen, die sich im wesentlichen im Raum R 207 befinden.

Die Abschirmung der wichtigsten Kreislaufkomponenten ist so ausreichend bemessen, daß in den an Raum R 207 angrenzenden Räumen, in denen sich ständig Personen aufhalten können (R 209, R 210, R 112, R-Halle), die Dosisleistung < 30 mr/h ist. Für den nördlichen Teil des Raumes R 111 wurde eine Dosisleistung von ca. 200 mr/h errechnet, unmittelbar nach Canbruch tritt hier jedoch kurzzeitig höhere Dosisleistung auf. Im oberen Teil des Raumes R 108 wird kurzzeitig eine Dosisleistung von max. 1000 mr/h

auftreten. Es ergibt sich daraus die Konsequenz, den Raum R 111 und die Zugänge zu der Arbeitsbühne im Raum R 108, von der gelegentlich Ventile in Höhe der auftretenden max. Dosisleistung bedient werden müssen, allgemein zu sperren und nur im Bedarfsfall kurzfristig freizugeben. Im unteren Teil des Raumes R 108 dürfte die Dosisleistung 10 mr/h nicht übersteigen.

Der Raum R 207, der alle Kreislaufteile enthält, die unmittelbar nach Canbruch hochaktive Gase führen, ist während des Betriebs nicht betretbar. Lediglich im Schutze der 15 cm dicken Bleiwand vor dem Eingang können notwendige Operationen durchgeführt werden.

Nach Abschluß des Reinigungsprogrammes ist der Raum R 207 betretbar.

An den ungünstigsten zugänglichen Punkten in Nähe der Filter treten Dosisleistungen von ≤ 40 mr/h auf. In den angrenzenden Räumen ergibt sich keine erhöhte Dosisleistung mehr.

b) Notkühlung und Canschaden fallen zeitlich zusammen

Für die Räume R 207, R 111, R 108, R 209, R 210 und R-Halle ergeben sich im ungünstigsten Fall die gleichen Verhältnisse wie unter a).

Wird erst die Notkühlung ausgelöst und dann tritt Canbruch auf, so liegen die Verhältnisse für die genannten Räume günstiger, weil die Edelgase gar nicht erst in den Hauptkreis gelangen. Die Edelgase und die, um den Filterfaktor der Halogenfilter verminderten, Halogene fließen in den Auffangtank im Raum R 011.

Im Raum R 112 kann kurzzeitig in 1 m Abstand von der zum Raum R 011 führenden abgeschirmten Rohrleitung eine Dosisleistung von max. 600 mr/h auftreten.

Die Abschirmungen im Raum R 011 sind so ausgelegt, daß die Dosisleistungen an den begehbaren Stellen bei 50 - 100 mr/h liegen. Die Dosisleistungen in den angrenzenden Räumen R 010, R 012 und R 009 betragen max. 20 mr/h.

c) Operationen mit radioaktiven Gasen nach Canbruch

Die nach einem Canbruch in Frage kommenden weiteren Operationen mit radioaktiven Gasen - Regenerieren der Filter, Reinigen des Tankinhalts - werden zu einem genau definiertem Zeitpunkt durchgeführt, so daß entsprechende Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden können. Die Aktivität ist außerdem dann schon merklich abgeklungen.

Die auftretenden Dosisleistungen liegen in jedem Fall unterhalb der bei Notkühlung zu erwartenden. Bei Betrachtung des sich als am ungünstigsten erweisenden Falles, beim Regenerieren des Edelgasfilters, herrscht im Raum R 011 eine Dosisleistung von ca. 20 mr/h.

d) Störung im Ablauf des Reinigungsprogrammes

Bei einer Störung, die darin bestehen soll, daß sich das Edelgasfilter nicht automatisch zum Reinigungskreislauf hinzuschalten läßt, muß jemand in den Raum R 207, um die entsprechenden Ventile von Hand zu betätigen. Eine Abschätzung ergibt, daß 8 Stunden nach Canbruch in der Nähe der Ventile noch eine Dosisleistung von etwa 500 mr/h herrscht. Der genaue Zeitpunkt für das Betreten des Raumes sollte jedoch durch direkte Dosisleistungsmessung bestimmt werden.

8.3 Strahlengefährdung beim Auswechseln der Loopeinsätze

Diesem Abschnitt liegt der PSB-Bericht Nr. 91/64 [8/5] zugrunde, wobei jedoch Änderungen in der Aktivierung der Loopeinbauten durch höheren Neutronenfluß im Zentralkanal berücksichtigt wurden. Das Auswechseln der Loopeinsätze wurde auf 24 Stunden nach Abschalten des Reaktors festgelegt.

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Auswechselvorgänge wurde im Abschnitt 6 gegeben. Beim Be- und Entladen der Bleiflasche, beim Verfahren der Loopeinsätze und Absenken des Schutzhemdes hält sich im Normalfall niemand im Raum R 111 auf, da alle diese Operationen fernbedient durchgeführt werden. Nur zum Lösen und Befestigen der Loopeinsätze am Ringstopfen des Zentralkanals muß der Raum R 111 kurzfristig betreten werden; dabei befinden sich die Prüflinge und der aktivierte Teil des Einsatzes vollständig im Zentralkanal. Wir können uns deshalb darauf beschränken, im allgemeinen nur die bei den Wechseloperationen in den benachbarten Räumen und an der Oberfläche der Abschirmbehälter auftretenden Dosisleistungen anzugeben.

Einbau des Druckrohres

Es wird vorausgesetzt, daß sich der Looprohrstopfen im Zentralkanal befindet und daß Druckrohr mit Druckrohrstopfen in der Bleiflasche sind.

Die beim Transport des Looprohrstopfens in den an Raum R 111 angrenzenden Räumen auftretenden Dosisleistungen liegen unter 2,5 mrem/h. Berücksichtigt werden muß jedoch auch die Strahlung aus dem offenen Zentralkanal etwa für R 009. Beim Einfahren des Druckrohres in den Zentralkanal treten in den angrenzenden Räumen keine erhöhten Dosisleistungen auf.

Einbau des Versuchseinsatzes

Man geht davon aus, daß der aktivierte Versuchseinsatz mit unbestrahlten Prüflingen - umgeben vom Schutzhemd - in der Bleiflasche im Raum R 111 ist.

Die Dosisleistung an der Oberfläche der Bleiflasche mit und ohne Schutzhemd ist kleiner als 200 mrem/h. Die beim Entfernen des Schutzhemdes in der Reaktorhalle in der Nähe des Looprohrabschirmbehälters auftretende Dosisleistung liegt unter 2,5 mrem/h.

Während des Transportes des Druckrohrstopfens vom Zentralkanal unter die runde Luke 460 \varnothing ergibt sich in den Nachbarräumen keine Dosisleistung über 2,5 mrem/h. Bei der Aufnahme des Druckrohrstopfens in den Looprohrabschirmbehälter erhält man an den Spaltausgängen der Schieber vom Looprohrabschirmbehälter etwa $3 \cdot 10^3$ mrem/h. Es sollte deshalb eine 10 - 15 cm dicke Bleiabschirmung um den Sockel des Looprohrabschirmbehälters aufgebaut werden, um die Dosisleistung genügend herabzusetzen. An der Oberfläche des beladenen Looprohrabschirmbehälters ist die Dosisleistung < 50 mrem/h.

Beim eigentlichen Einbau des Versuchseinsatzes in den Zentralkanal wird in den benachbarten Räumen keine erhöhte Dosisleistung erwartet.

Ausbau des Versuchseinsatzes

Wird der Versuchseinsatz mit bestrahlten Prüflingen aus dem Zentralkanal in die Bleiflasche gezogen, so kann durch die Strahlung der Prüflinge, wenn sie sich in Höhe des verbleibenden Spaltes zwischen biologischem Schirm und Bleiflasche befinden, eine erhöhte Dosisleistung in den angrenzenden Räumen auftreten. Es muß in den Räumen R 206 und R 207 mit etwa 500 mrem/h und in R 210 und R 113 mit ca. 65 mrem/h gerechnet werden. Im Raum R 107 in der Ecke zwischen biologischem Schirm und Bleiwand zum Raum R 111 erhält man ca. 2000 mrem/h. Diese hohen Dosisleistungen treten jedoch nur kurzzeitig auf. Die entsprechenden Räume können u.U. während dieser Zeit gesperrt werden.

Beim Absenken des Schutzhemdes aus dem Looprohrabschirmbehälter über den Versuchseinsatz in der Bleiflasche ergeben sich in der Reaktorhalle auf einer Kreisringfläche mit einem äußeren Radius von ca. 150 cm um den Looprohrabschirmbehälter etwa 200 mrem/h. Es kann zur Abschwächung etwa 5 bis 10 cm Blei ausgelegt werden. An der Oberkante (außen) des Looprohrabschirmbehälters sind während dieser Operation etwa 170 mrem/h zu erwarten.

Die Dosisleistung vom aktiven Versuchseinsatz mit aktiven Prüflingen wird bei Verwendung des Schutzhemdes an der Oberfläche der Bleiflasche 200 mrem/h und in 1 m Abstand 10 mrem/h nicht übersteigen. Ohne Schutzhemd kann am unteren Ende der Bleiflasche eine Dosisleistung bis zu ca. 800 mrem/h auftreten.

Sind die Prüflinge durch einen schweren Störfall abgeschmolzen und befinden sich auf dem Filter im Versuchseinsatz, so wird in dieser Höhe an der

Oberfläche der Bleiflasche eine Dosisleistung von ca. 300 mrem/h auftreten. Ist das Schutzhemd übergezogen, so liegt die Dosisleistung an der Oberfläche unter 200 mrem/h. Muß der Versuchseinsatz zusammen mit dem Druckrohr gezogen werden, dann erhält man max. 450 mrem/h an der Oberfläche der Bleiflasche.

Beim Einbringen des Versuchseinsatzes in die Heiße Zelle (Bau 32) treten am Schieberspalt und am Spalt zwischen Bleiflasche und Zellentür Dosisleistungen von ca. $3 \cdot 10^4$ mrem/h auf. Diese sind jedoch nur kurzzeitig vorhanden, wenn sich die Prüflinge in Höhe der Spalte befinden. Vom Bedienungspersonal hat sich niemand in der Nähe der Spalte aufzuhalten.

Ist der Versuchseinsatz so weit in die Heiße Zelle eingefahren, daß das erforderliche Zwischenstück eingesetzt werden muß, so erhält man an der entsprechenden Stelle noch etwa 90 mrem/h.

Ausbau des Druckrohres

Das Druckrohr wird im Normalfall erst nach Abschluß des gesamten Versuchsprogrammes ausgebaut. Es ist für den Ausbau mit dem Druckrohrstopfen verschlossen.

Beim Einziehen des Druckrohres in die Bleiflasche können in den angrenzenden Räumen R 207 und R 206 etwa 50 mrem/h auftreten. Die Dosisleistung an der Oberfläche der Bleiflasche wird 200 mrem/h nicht übersteigen.

Während der Aufnahme des Druckrohres in den Looprohrabschirmbehälter ist mit erhöhten Dosisleistungen in den benachbarten Räumen zu rechnen. Im Raum R 210 ergeben sich etwa 85 mrem/h und im Raum R 208 ca. 50 mrem/h. In der Reaktorhalle neben dem Looprohrabschirmbehälter erhält man kurzzeitig etwa 330 mrem/h. Die größte Dosisleistung tritt jedoch an den Schieberspalten des Looprohrabschirmbehälters auf, und zwar ca. $9,4 \cdot 10^5$ mrem/h. Es sind zur ausreichenden Schwächung dieser Strahlung ca. 20 cm Blei um die Schieber aufzubauen.

Die Dosisleistung an der Oberfläche des beladenen Looprohrabschirmbehälters liegt wesentlich unter 200 mrem/h. Der höchste Wert wird am oberen Ende des Behälters erreicht.

8.4 Austritt von Aktivitäten aus dem Kreislauf

8.4.1 Betrieb bei normaler Leckrate des Kreislaufes

Normalbetrieb

Es wird eine Gesamt-Leckrate für die Teile, die radioaktive Gase führen können, von 1 Torr.l/sec zugrunde gelegt, obgleich angenommen werden kann, daß die tatsächliche Leckrate wesentlich kleiner ist. Zur Zeit laufen in RB Versuche, ein Verfahren zu entwickeln, mit dessen Hilfe der genannte Grenzwert von 1 Torr.l/sec für alle Anlagenteile, die in R 207 aufgebaut sind, nachgewiesen werden kann. In den anderen Loopräumen (R 111, R 112, R 011) können durch Abschnüffeln der wenigen leckverdächtigen Verbindungsstellen wesentlich geringere Leckraten nachgewiesen werden.

Bei einer Tritium-Konzentration im Kreislauf von $6 \cdot 10^{-3} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ entweichen maximal $2,8 \cdot 10^{-4} \mu\text{C}/\text{sec}$. Befindet sich das Leck im Raum R 207, der ein Volumen von ca. 165 m^3 besitzt, so ergibt sich selbst bei einem Lüftungsausfall über 24 Stunden erst eine Tritium-Konzentration von ca. $1,5 \cdot 10^{-7} \mu\text{C}/\text{cm}^3$, d.h. weniger als 1/10 der Toleranzkonzentration in Atemluft.

Betrieb nach einem Hüllschaden

Bei einem Hüllschaden können die im Abschnitt 8.1 aufgeführten flüchtigen Spaltprodukte an das Kreislaufgas abgegeben werden. Es wird vorausgesetzt, daß der Kreislauf eine Leckrate ≤ 1 Torr.l/sec aufweist.

Mit der Annahme einer schnellen, gleichmäßigen Verteilung der Edelgase über die vorhandene Heliummenge sowie konstante Edelgaskonzentration über eine Zeit von etwa 10 Minuten (danach macht sich die Reinigung schon stark bemerkbar) erhält man, unter Berücksichtigung des Druckabfalles im Kreislauf, während dieser Zeit einen Aktivitätsaustritt von ca. $1,3 \cdot 10^{-1}$ Curie Edelgase. Der am schlechtesten belüftete Raum hat in 10 Minuten einen Luftdurchsatz von etwa 500 m^3 . Es ergibt sich bei dieser Menge Spülluft eine Edelgas-Aktivitätskonzentration in der Raumluft von ca. $2,6 \cdot 10^{-4} \mu\text{C}/\text{cm}^3$.

Für das Ausströmen von Halogenen muß berücksichtigt werden, daß die Gesamthalogenaktivität schon im Versuchseinsatz um den Faktor 100 geschwächt wird. Nimmt man eine Verteilung der Halogenaktivität auf 20 Liter Kreislaufvolumen an, so steht die Aktivität etwa 1 Sekunde an einem Leck vor den Halogen-Hauptfiltern. In dieser Zeit entweichen etwa $2,8 \cdot 10^{-4}$ Curie Halogene, davon sind ca. $19 \mu\text{C}$ J-131. Hinter den Halogen-Hauptfiltern ist die Halogenaktivität nochmals um den Faktor 10^4 abgesunken, so daß dann keine nennenswerten Aktivitäten in die Raumluft gelangen. Verteilt man die $2,8 \cdot 10^{-4}$ Curie Halogene auf die Raumluft von R 207, so ergibt sich die Halogenkonzentration kurzzeitig

zu ca. $1,8 \cdot 10^{-6} \mu\text{C}/\text{cm}^3$, davon nur $1,2 \cdot 10^{-7} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ vom Jod 131.

Die nach einem Hüllschaden u.U. auftretenden Aktivitäts-Konzentrationen liegen über der Toleranzkonzentration. Sie sind jedoch nur kurzzeitig vorhanden und treten in Räumen auf, die während des Betriebes nicht betretbar sind. In anderen Räumen des Reaktorgebäudes steigt die Aktivitätskonzentration nicht über Toleranzkonzentration an.

8.4.2 Betrieb bei undichtem Kreislauf

Auftreten eines größeren Lecks

Ein angenommenes größeres Leck wird durch ein Loch von 1 mm Durchmesser charakterisiert. Bei Normalbetrieb können dadurch max. $2,8 \mu\text{C}/\text{sec}$ Tritium aus dem Kreislauf entweichen.

Nach einem Canbruch verlassen bei eingeschaltetem Reinigungskreislauf innerhalb der 2 Stunden Reinigungszeit etwa 1000 Curie Edelgase den Kreislauf. Der Hauptanteil der Aktivität wird in den ersten Minuten abgegeben, danach macht sich die Reinigung schon stark bemerkbar.

Liegt das Leck vor den Halogen-Hauptfiltern, so kommt zu der Edelgasaktivität noch eine Halogenaktivität von ca. 3,0 Curie. Davon sind jedoch weniger als $2,4 \cdot 10^{-1}$ Curie Jod-131. Befindet sich das Leck hinter den weiteren Halogen-Adsorbentien, so ist die austretende Halogenaktivität etwa um den Faktor 10^{-4} geringer.

Um zu vermeiden, daß diese Aktivitäten in die Raumluft des FR2 gelangen, wurden alle leckverdächtigen oder gefährdeten Stellen über ein "Second Containment" mit der starkaktiven Abgasleitung verbunden. Durch ein in dieser Leitung liegendes Filter wird die Halogenaktivität um einen Faktor von ca. 10^{-4} geschwächt, so daß beim Undichtwerden des Kreislaufes über den Schornstein etwa 1000 Curie Edelgase und ca. $2,4 \cdot 10^{-5}$ Curie Jod-131 in die Atmosphäre abgegeben würden.

Die über den Schornstein abzugebenden Aktivitäten liegen mindestens um den Faktor 10 unter der nach [8/6] kurzzeitig zulässigen Aktivitätsabgabe.

Abblasen von Sicherheitsventilen

Blasen die Sicherheitsventile S-Ve 408/S-Ve 409 am Hauptkreis unmittelbar nach Canbruch ab, so werden im ungünstigsten Fall etwa $6,8 \cdot 10^3$ Curie Edelgase und weniger als $1,3 \cdot 10^{-2}$ Curie Halogene in die schwachaktive Abgasleitung gegeben. Von den Halogenen sind weniger als $9,0 \cdot 10^{-4}$ Curie Jod-131.

Beim Ansprechen der Sicherheitsventile K-Ve 711/K-Ve 712 wird etwa die gleiche Menge Edelgasaktivität abgegeben, jedoch eine um den Faktor 10^4 größere

Halogenaktivität. Diese Sicherheitsventile sind deshalb an die starkaktive Abgasleitung angeschlossen, in der Halogenfilter mit einem Filterfaktor von ca. 10^{-4} eingebaut sind.

Von den Sicherheitsventilen R-Ve 222/R-Ve 223, R-Ve 218/R-Ve 219 und S-Ve 402/S-Ve 403 können max. die gleichen Aktivitätsmengen wie von S-Ve 408/S-Ve 409 abgegeben werden.

Über das Sicherheitsventil der Stickstoffleitung in der Kältebox K-Ve 717 können selbst nach einem Canbruch keine Aktivitäten in die Abgasleitung gegeben werden. Erst wenn Canbruch, Druckerhöhung und ein Leck von der Heliumseite zur Stickstoffseite im kalten Teil auftritt, können max. die gleichen Aktivitäten wie von S-Ve 408/S-Ve 409 in die Abgasleitung gelangen.

Auswechseln des Versuchseinsatzes

Im Normalfall sind die beim Auswechseln des Versuchseinsatzes anfallenden gasförmigen Aktivitäten gering, da nach einem Canbruch der Versuchseinsatz erst nach abgeschlossenem Reinigungsprogramm ausgebaut wird. Die beim Spülen des vom Kreislauf abgetrennten Einsatzes noch freiwerdenden Aktivitäten gehen in die starkaktive Abgasleitung. Die aus den Halogenen im Filter H-Fi 104 entstehenden Edelgasaktivitäten liegen dabei etwa um den Faktor 10 über den beim Regenerieren des Halogen-Adsorbers H-Fi 102 anfallenden (siehe folgenden Abschnitt "Regenerieren der Filter").

Regenerieren der Filter

Der Halogen-Adsorber H-Fi 102 und der Tieftemperatur-Adsorber R-Fi 202 sind regenerierbar. Der Zeitpunkt für das Regenerieren kann in Grenzen frei gewählt werden.

Beim Regenerieren des Halogen-Adsorbers ergibt sich, wenn 4 Tage nach Canbruch mit dem Regenerieren begonnen wird, ein max. Aktivitätsausstoß von ca. $5 \cdot 10^{-5}$ C/sec Edelgase und $4 \cdot 10^{-10}$ C/sec Halogene. Dabei wurde vorausgesetzt, daß 10 % der gesamten Halogenaktivität in den Halogen-Adsorber H-Fi 102 gelangen. Für den Zusatzadsorber wurde mit einem Filterfaktor von 10^{-4} gerechnet. Die angegebenen Aktivitäten gehen in die starkaktive Abgasleitung, wo die Halogene nochmals etwa um den Faktor 10^{-4} geschwächt werden, bevor sie den Kamin verlassen.

Die in die Abgasleitung eingespeiste Gesamtaktivität wird durch die Meßstellen QI 717 und A 402 erfaßt.

Legt man die zulässigen kontinuierlichen Aktivitätsabgaben nach [8/6] von $2,5 \cdot 10^{-6}$ C/sec J-131 und 1,0 C/sec Xe-135 zugrunde und nimmt an, daß es sich nur um diese beiden abzugebenden Aktivitäten handelt, so wird die zulässige Aktivitätsabgabe keineswegs voll ausgeschöpft. Es bleibt ein Sicherheitsfaktor von über 10^3 .

Das Regenerieren des Tieftemperaturadsorbers nach einem Canbruch erfolgt derart, daß die gesamte gesammelte Edelgasaktivität in abgeschirmte Hochdruckflaschen gepumpt wird. Erst nach genügend langer Abklingzeit wird die Aktivität dosiert in die starkaktive Abgasleitung gegeben.

8.5 Nachweis von Aktivitäten

Aktivitätsmeßstellen A 101, A 102 und A 103

Diese 3 einander gleichen Meßstellen befinden sich an der Heliumleitung vom Loopeinsatz zum Halogenabscheider. Sie dienen zur Anzeige eines Canschadens an den Brennstoffproben. Die Meßkanäle bilden ein 2v3-System und lösen bei Überschreiten eines vorgegebenen Schwellwertes ein Reaktorabschalt-Signal aus.

Als Detektor werden selbstlöschende Halogen-Auslösezählrohre für γ -Strahlen eingesetzt. Die Meßgeräte sind lineare Ratemeter für 0 bis 10^6 Imp/min, in mehreren Bereichen umschaltbar. Sie sind mit unterem und oberem Schwellwertkontakt ausgerüstet. Beide Schwellen sind über den ganzen Bereich verschiebbar.

Bei Inbetriebnahme des Loops nach einem vorangegangenen Canschaden kann der Nullpegel am Meßort durch Edelgasaktivitäten, die aus restlichen Halogenaktivitäten im Kreislauf entstehen, über den normalen Nullpegel ansteigen. Ein gelegentliches Reinigen des Kreislaufgases über den Tieftemperaturadsorber kann u.U. erforderlich werden, um die Zählrate nicht über 1000 Imp/min anwachsen zu lassen.

Aktivitätsmeßstellen A 104 bis A 107, A 201 bis A 203 und A 403

Die 8 Meßstellen sind einander gleich. Sie dienen zur Feststellung der Aktivitätsverteilung im Kreislauf nach einem Canbruch und beim Regenerieren der Filter.

Ausrüstung: GM-Zählrohre für γ -Strahlung, log. Ratemeter für 2 bis $2 \cdot 10^4$ Imp/sec in 2 Bereichen, Schreiber für 6 Meßstellen.

Aktivitätsmeßstellen A 401 und A 402

Diese Meßstellen erfassen die Aktivität des aus dem Kreislauf in die starkaktive Abgasleitung gehenden Gases.

A 401:

Durchflußionisationskammer mit Schwingkondensator-Vorverstärker. 3 umschaltbare Meßbereiche. Nachweisempfindlichkeit ca. $10^{-5} \mu\text{C}/\text{cm}^3$ Helium.

A 402:

Durchflußionisationskammer mit Strahlungstransmitter. Meßbereich: $10^{-4} \text{C}/\text{m}^3$ bis $10^2 \text{C}/\text{m}^3$ in 2 Bereichen.

Gasprobenentnahme-Einrichtung

Über diese Einrichtung können in einer Glovebox dem Kreislauf an verschiedenen Stellen Gasproben entnommen werden. Sie wird im Normalbetrieb zum Analysieren der inaktiven Verunreinigungen und der Tritiumaktivität eingesetzt. Nach einem Canbruch können die Filter im Kreislauf auf Durchbruch überwacht und die Endreinheit des Kreislaufgases an Hand der Probenaktivität ermittelt werden.

8.6 Gefährdung durch Plutonium

Es ist vorgesehen, in den Prüflingen auch ein Gemisch von Uran und Plutoniumoxyd zu verwenden. Beim Bruch oder Abschmelzen der Cans kann Plutonium in den Heliumkreislauf gelangen. Noch im Loopeinsatz werden in einem Filter die größeren Partikel abgefangen, während der Abscheidegrad für den feinen Staub ($0,3 \mu$ Korngröße) als unzureichend angesehen werden muß. Dieser tritt also teilweise in das Hauptvolumen des Kreislaufes ein. Solange der Kreislauf geschlossen ist, kann eine Gefährdung außerhalb nicht auftreten. Diese ist nur denkbar, wenn entweder ein größeres Leck entsteht, oder wenn der Kreislauf, z.B. zum Auswechseln der Prüflinge, absichtlich geöffnet wird. Der erste Fall wird in Abschnitt 9 erwähnt, während zum zweiten Fall folgendes gesagt werden kann:

Das beabsichtigte Öffnen des Kreislaufes geschieht frühestens vier Tage nach Canbruch, nämlich dann, wenn das Reinigungsprogramm beendet ist. Während dieser Zeit hat das Kreislaufgas zwei Feinstfilter des Hauptkreislaufes mit einem Filterfaktor von etwa $3 \cdot 10^{-4}$ für Korngrößen bis herunter zu $0,3 \mu$ sehr oft durchlaufen. Man darf annehmen, daß das Gas danach praktisch plutoniumfrei und die Hauptmenge des Pu-Staubes in diesen Filtern versammelt sein wird. Es ist jedoch denkbar, daß sich ein Teil des feinen Staubes in toten Ecken, die von der Strömung nicht berührt werden, ablagert. Dies wäre beim Loopeinsatz selbst besonders kritisch, und deshalb wurden hier alle konstruktiven Möglichkeiten zur Vermeidung solcher toten Räume ausgeschöpft. Es besteht auch die Möglichkeit, den Loopeinsatz nach Beendigung des Reinigungsprogramms vom übrigen Kreislauf durch Ventile zu trennen und ihn mit sauberem Helium oder Stickstoff durchzuspülen. Mit diesem Gasstrom wird ein Teil des abgelagerten

Pu-Staubes aus dem Loopeinsatz entfernt und in das Abgassystem überführt, wo er in weiteren "Absolutfiltern" abgeschieden wird. Der Innenraum des Versuchseinsatzes mit den Prüflingen ist während des Auswechselns durch Platten-Rückschlagventile weitgehend staubdicht abgeschlossen.

Es ist außerdem möglich, die Raumbelüftung so zu schalten, daß der Raum R 111 gegenüber allen Nachbarräumen unter leichtem Unterdruck steht und daß die Abluft von R 111 direkt zum Absolutfiltersystem des FR2-Gebäudes gelangt. Bei Frischluftbetrieb wird damit kein anderer Raum kontaminiert. Das Bedienungspersonal, das zum Auswechseln des Versuchseinsatzes den Raum R 111 zu betreten hat, muß bei einer möglichen Plutoniumstaubgefährdung mit geeigneten Atemschutzgeräten ausgerüstet sein.

Dieselben Vorsichtsmaßnahmen werden beim Auswechseln einzelner Kreislaufteile ergriffen. In diesem Fall kann das Kreislaufsystem an die Abgasleitung angeschlossen und damit auf leichtem Unterdruck gehalten werden.

Über die normale Aktivitätsüberwachung in den Loopräumen hinaus können Luftstaubüberwachungsgeräte eingesetzt werden, mit denen auch Pu-Staubanteile zu messen sind. Es kann damit sichergestellt werden, daß das Bedienungspersonal nicht in unzulässiger Weise gefährdet wird.

8.7 Sicherheitsmaßnahmen

In der folgenden Betrachtung sollen nur die Maßnahmen zur Erhöhung der nuklearen Sicherheit der Anlage im Hinblick auf eine Gefährdung des Personals, des Reaktors und der Umgebung zusammengestellt werden. Die konventionelle technische Sicherheit soll gegeben sein durch Beachtung der verschiedenen herkömmlichen Bauvorschriften und Überwachung durch den TÜV.

1. Die erste Gruppe der Sicherheitsmaßnahmen zielt darauf ab, einen Canbruch zu vermeiden. Die wahrscheinlichste Ursache für einen Hüllschaden dürfte - neben den eventuell auftretenden Schäden am Testelement, die Gegenstand der Versuche sind - eine überhöhte Temperatur der Hülle sein. Die Sicherheitsmaßnahmen haben daher in ihrer Mehrzahl den Zweck, die Kühlung der Prüflinge - auch bei Störungen - in ausreichendem Maße aufrechtzuerhalten und damit die Hülltemperatur unter einem zur Beschädigung führenden Maximalwert zu halten.

Es sind folgende Maßnahmen getroffen, die als grundlegende Sicherheitsmaßnahmen zu betrachten sind:

- a) Es sind 2 Verdichter hintereinander geschaltet.

- b) Bei Ausfall eines Verdichters wird über die Meßstelle P 102 vom Sicherheitssystem der Reaktor abgeschaltet. Der 2. Verdichter übernimmt die Abfuhr der Nachwärme. Dabei tritt eine Temperaturerhöhung am Can der Prüflinge von 30°C kurzzeitig ein.
- c) Von jedem einzelnen Prüfling ist ein Thermoelement auf das Sicherheitssystem des Kreislaufes geschaltet und bei Überschreiten einer Grenztemperatur an der Hülle eines Prüflings (1v4-System) wird der Reaktor abgeschaltet und eine Notkühlung übernimmt die Abfuhr der Nachwärme.
- d) Der Kreislauf ist gegen schlagartigen Totalausfall der Normalkühlung geschützt. Dazu wurden im Hauptkreislauf nur handbetätigte Ventile mit Absperrvorrichtung, 1 langsam schließendes Motorventil und Hubbegrenzung am Regelventil vorgesehen.
- e) Die maximalen Temperatursprünge am Prüflings-Can infolge aller denkbaren Störursachen wurden im out of pile-Test ermittelt (Abschn. 5.1). Die Betriebstemperatur des Cans wird um einen entsprechenden Betrag unter die maximale kurzzeitig zulässige Cantemperatur gelegt (bei 1000 W/cm Stableistung z.B. um ca. 150°C).
- f) Alle Meß-, Schalt- und Steuergeräte sind mit unterbrechungslosem Notstrom versorgt, die Verdichter liegen an der Kraftschiene. Bei Ausfall der Spannung 1 sec werden sie nicht abgeschaltet. Die Versuche zeigten, daß bei 1 sec Spannungsausfall ein meßbarer Temperaturanstieg am Can nicht erfolgte (Abschn. 5.1).
Bei länger dauerndem Spannungsausfall schaltet das Sicherheitssystem über Meßstelle P 102 den Reaktor ab und löst danach beim Erreichen einer Grenztemperatur an der Prüflingshülle das Notprogramm aus.
- g) Bei Ausfall der Steuerspannung setzt automatisch Notkühlung ein.
- h) Eine Reihe von Störungen, die zwar kein sofortiges Eingreifen erfordern, die aber u.U. zu einer Gefährdung der Kühlung führen könnten, werden optisch und akustisch am Hauptsteuerpult angezeigt. Eine Summenmeldung wird in die Schaltwarte gegeben.
Es sind dies die Signale:
Der Druck im Hauptkreislauf ist zu gering.
Der Druck im Notkühlvorrat ist zu gering.
Der Druckverlust über den Loopeinsatz ist zu hoch.
Der Druck des Helium-Vorrates für die Normaleinspeisung ist zu gering.
Die Druckminderer im Notkühlsystem sind undicht.
Ein Ventil oder ein Verdichter ist gestört.
Die Wasserkühlung der Verdichter oder des Wärmetauschers ist gestört.

2. Eine weitere Gruppe von Sicherheitsmaßnahmen soll nach einer Zerstörung der Prüflinge eine weitere Ausbreitung unzulässig großer Aktivitätsmengen in Räume außerhalb des Kreislaufsystems, z.B. in die Raumlufte und die Reaktorabluft, verhindern und das Bedienungspersonal schützen.

Es sind dies im wesentlichen die folgenden Sicherheitsmaßnahmen:

a) Maßnahmen gegen Austritt von Aktivitäten in die Raumlufte oder die Reaktorabluft:

Messung und Erkennung eines Hüllschadens, sofortige automatische Abschaltung des Reaktors durch 2v3-System und Druckerniedrigung im Kreislauf.

Vorfilterung von Stäuben und Halogenen im Loopeinsatz und Feinreinigung im Hauptstrom unmittelbar nach dem Loopeinsatz.

Zuschaltung einer Reinigungsanlage für edelgasförmige Spaltprodukte.

Routinemäßige Kontrolle der Dichtheit des Kreislaufsystems, Schutz des Druckrohres vor thermischer Überlastung durch eine Wasserkühlung und automatische Abschaltung des Reaktors bei Ausfall der Wasserkühlung durch 1v2-System.

Einbau von Rückschlagventilen in den auswechselbaren Versuchseinsatz und damit Schaffung eines geschlossenen Gefäßes zum Auswechseln.

Verwendung von Folien-Sicherheitsventilen mit hohem Ansprechdruck (40 atü bei 30 at Kreislaufdruck).

b) Maßnahmen, die verhindern, daß der Ansprechdruck der Sicherheitsventile erreicht wird:

Abblasen von Gas aus dem Kühlsystem in das Auffangtanksystem bei geringer Drucksteigerung an Meßstelle P 104 auf 33 ata (Abschn. 4.2.7) und Alarmgabe über P 107 bei weiterem Druckanstieg auf 34 ata.

Alarmsignal bei 2 ata im Auffangtanksystem durch Meßstelle P 402.

Automatisches Schließen der Normaleinspeisung beim Entspannen des Kreislaufes in den Auffangtank.

Begrenzung des Helium-Vorrates für die Notkühlung, so daß der Abblasedruck des Auffangtanksystems nicht erreicht werden kann. Die Druckminderer in der Einspeise- und Notkühlleitung sind auf einen Nachdruck eingestellt, der deutlich unter dem Abblasedruck der Sicherheitsventile des Hauptkreislaufes liegt.

c) Maßnahmen zum Schutz des Bedienungspersonals vor direkter Strahlung:

Abschirmung einzelner Kreislaufteile in Räumen, die während des Betriebes zu betreten sind.

Unterbringung der nicht abgeschirmten Kreislaufteile in abgeschirmten Räumen und Verbot, diese Räume bei Betrieb des Reaktors zu betreten.

Die Abschirmung ist so ausreichend bemessen, daß bei Verteilung aller flüchtigen Spaltprodukte in das Kreislaufsystem in Räumen, in denen sich ständig Personen aufhalten können, die Dosisleistung < 30 mr/h beträgt.

3. Außer aus den Lecks, die unterhalb der Nachweisgrenze liegen, kann Aktivität durch größere undichte Stellen aus dem Kreislauf austreten. Diese Möglichkeit ist gegeben beim Auftreten von größeren Leckstellen im Kreislaufsystem oder beim Ansprechen eines Sicherheitsventiles gleichzeitig oder kurz nach einem Hülschaden. Es sind folgende Maßnahmen vorgesehen, um die Folgen eines solchen Zwischenfalles in tragbaren Grenzen zu halten:
- a) Alle gefährdeten oder leckverdächtigen Stellen (Faltenbälge, Flanschdichtungen) erhalten "Second Containments", welche an das Abgassystem mit Jodfiltern angeschlossen werden. Damit wird verhindert, daß bei Entstehung eines größeren Lecks unzulässig große Aktivitäten (insbesondere Jod 131) in die Raumluft des Reaktors gelangen.
 - b) Verwendung möglichst dichter Kreislaufteile, insbesondere stopfbuchslose Verdichter und Ventile.
 - c) Sicherheitsventile, die noch größere Mengen aktiver Halogene (z.B. Jod 131) abblasen können, werden an ein aktives Abgassystem mit Jodfilterung und Absolutfiltern angeschlossen.
 - d) Alle anderen Sicherheitsventile werden an ein aktives Abgassystem mit Absolutfiltern angeschlossen.

9. Bewertung der wichtigen Störfälle

Wie in Abschnitt 8.7 gezeigt wurde, sind eine große Zahl von Sicherheitsmaßnahmen getroffen, um bei jeder denkbaren Betriebsstörung eine Überhitzung und Beschädigung der Prüflinge zu verhindern.

Sollte bei einem besonderen Schadensfall das Sicherheitssystem ausfallen und die Notkühlung nicht oder mit Verzögerung einsetzen, dann würden die Prüflinge abschmelzen und der größte Teil der flüchtigen Spaltprodukte und Plutonium-Spuren in das Kreislaufgas gelangen. Damit ist, solange nicht gleichzeitig ein größeres Leck im Kreislauf auftritt, keine unmittelbare Gefährdung der Umgebung verbunden. Durch kleinere Lecks (Gesamtleckrate der Aktivitäten führenden Kreislaufteile ≤ 1 Torr.l/sec) tritt nach Canbruch max. eine Aktivität von $1,3 \cdot 10^{-1}$ C Edelgase und $2,8 \cdot 10^{-4}$ C Halogene (davon $19 \mu\text{C}$ Jod 131) aus. Diese Werte stellen, wie in Abschn. 8.4 gezeigt wurde, keine Gefährdung dar.

Eine Zerstörung der Prüflinge kann auch nicht zu einer Gefährdung des Reaktors führen, da sich zwischen Prüflingen und Moderatorraum mehrere feste Wandungen befinden.

Falls auch die Gasreinigungsanlage nicht in Betrieb genommen werden kann, können die flüchtigen Spaltprodukte zusammen mit dem Kreislaufgas über das stark aktive Abgassystem kontrolliert in den Schornstein gespült oder in Hochdruckflaschen übergepumpt werden. Durch diese Störung könnte unter Umständen eine gewisse Abschaltzeit des FR2 erzwungen werden.

Beim Bau des Loopsystems wurde mit äußerster Sorgfalt vorgegangen (Prüfung der Werkstoffe, Schweißnähte usw.), so daß beim Loopbetrieb ein Aufreißen oder sonstige Zerstörung von gasführenden Teilen so gut wie unmöglich ist. Eine Zerstörung durch besondere äußere Einflüsse wird ausgeschlossen. Es wird deshalb der schlagartige Ausfall der gesamten Kühlung durch ein Leck, der unmittelbar die Prüflingszerstörung verursacht - also eine einzige Ursache für Aktivitätsaustritt aus dem Kreislauf - nicht in Betracht gezogen.

Zum Austreten von Aktivitäten aus dem Kreislauf kann es also nur kommen, wenn mindestens zwei voneinander unabhängige Störungen (Canbruch und Auftreten einer größeren Undichtheit des Kreislaufsystems) zeitlich zusammenfallen. Tritt eine größere Undichtheit allein auf, so kann sie erkannt und Gegenmaßnahmen können schnell ergriffen werden. Ebenso wird ein Canbruch erkannt, und durch die Reinigungsanlage wird innerhalb kurzer Zeit der Hauptanteil der Aktivitäten aus dem Kreislaufgas entfernt.

Alle leckverdächtigen und besonders gefährdeten Stellen des Loopsystems, z.B. kalter Teil, Flansche, Faltenbalgventile, sind mit Second Containment mit Absaugung in das stark aktive Abgassystem des FR2 versehen.

Da das Kreislaufsystem durch Gasdruck und Temperatur nicht übermäßig beansprucht wird, ist ein Undichtwerden (auch kleinere Lecks) der übrigen Teile, wie Rohre, Ventilkörper und Behälter, im höchsten Grade unwahrscheinlich.

Auf Grund der oben angeführten Tatsachen - Notwendigkeit von mindestens 2 Störursachen und Absaugung aller gefährdeten Stellen - kann ein Austreten von unzulässig großen Aktivitäten in die Raumluft ausgeschlossen werden.

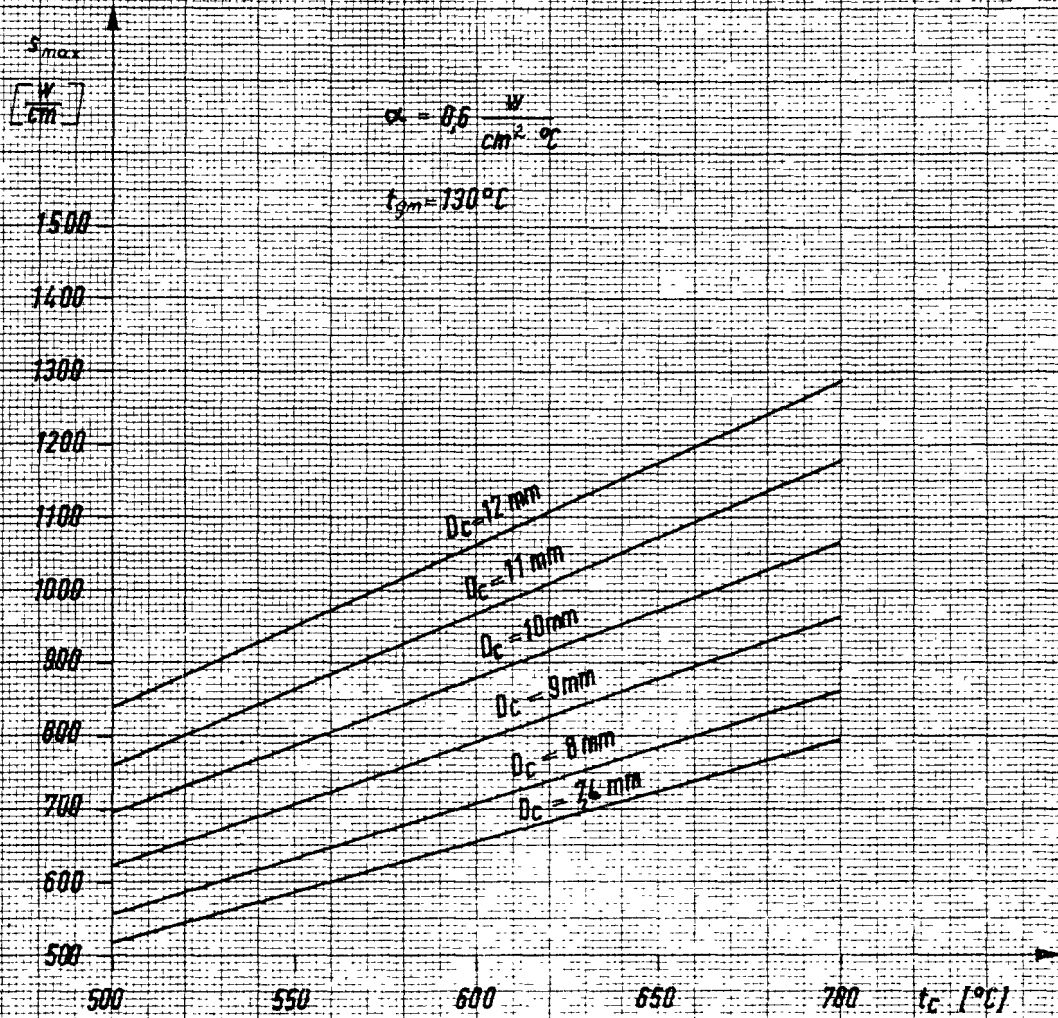
Als maximaler Störfall wird hier betrachtet, daß gleichzeitig mit einem Canbruch durch ein größeres Leck an einer mit Sicherheitsabsaugung versehenen Stelle oder über ein Sicherheitsventil Aktivitäten in das Abgassystem gelangen. Auch dazu ist es notwendig, daß mindestens zwei voneinander unabhängige Störungen auftreten müssen. Dabei können gemäß Abschnitt 8.4 im ersten Fall (Annahme eines Lecks von 1 mm \varnothing) max. 1000 C Edelgase und $3,0 \cdot 10^{-4}$ C Halogene (davon $2,4 \cdot 10^{-5}$ C J 131) und im zweiten Fall max. $6,8 \cdot 10^3$ C Edelgase und $1,3 \cdot 10^{-2}$ C Halogene (davon $9,0 \cdot 10^{-4}$ C J 131) in die Atmosphäre abgegeben werden. Außerdem könnten ca. $5 \cdot 10^{-8}$ C Plutonium austreten, wenn man annimmt, daß 1 mg Pu 239 staubförmig aus den Prüflingen in das Kreislaufgas gelangt.

Es ist zu beachten, daß für das Ansprechen eines Sicherheitsventils allein mindestens 2 voneinander unabhängige Störungen erforderlich sind, so daß Aktivitätsaustritt durch ein Sicherheitsventil nur durch das Zusammentreffen von mindestens 3 unabhängigen Ursachen möglich ist.

Nach dem Bericht von König und Zehme [8/6] ist eine kurzzeitige Abgabe an die Atmosphäre der oben angegebenen Aktivitäten bei der geringen Zahl der zu erwartenden Störfälle durchaus möglich, ohne die Umgebung unzulässig zu gefährden.

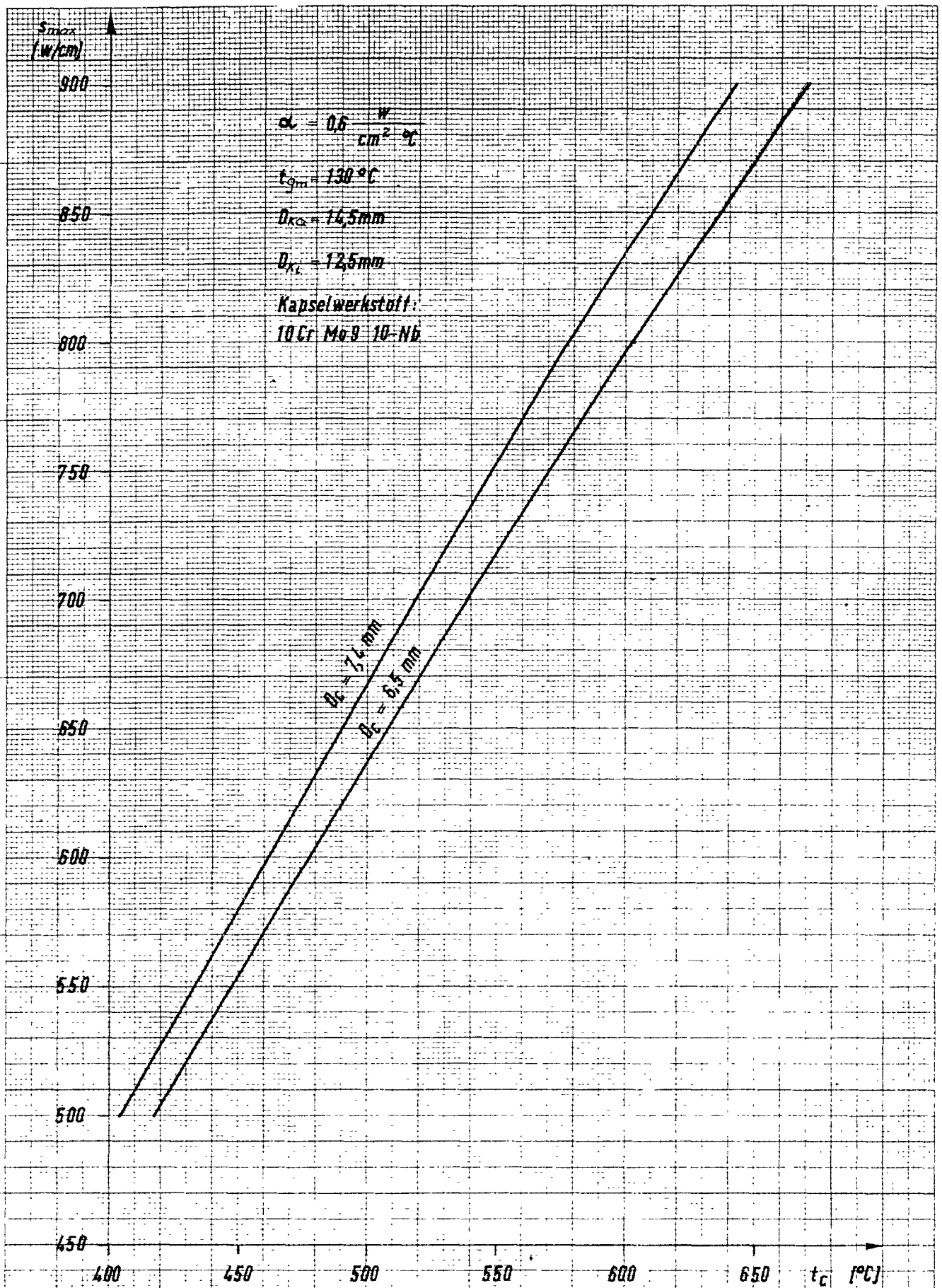
10. Literaturhinweise

- {5/2} H.Lehning "Versuch über die Abfuhr der Nachwärme am Prüflings-
G.Bork einsatz des Helium-Versuchskreislaufes Projekt 26"
PSB-Bericht Nr. 45, 1962
- {8/1} G.Bork "Berechnung der Aktivitäten flüchtiger Spaltprodukte"
A.Reymann PSB-Bericht Nr. 66, 1963
- {8/2} I.O.Blomeke "Uranium-235 Fission-Product Production as a Function
Mary F.Todd of Thermal Neutron Flux, Irradiation Time, and Decay
Time"
ORNL-2127, Part 1 Vol. 1 and 2
- {8/3} Rockwell "Reactor Shielding Design Manual"
Mac Millan, London, 1956
- {8/4} W.Därner "Betrachtungen zum FR2-Abbrandloop (Projekt 26)
Strahlengefährdung während des Betriebes"
PSB-Bericht Nr. 89/64
- {8/5} A.Reymann "Betrachtungen zum FR2-Abbrandloop (Projekt 26)
Strahlengefährdung beim Auswechseln der Loopeinsätze"
PSB-Bericht Nr. 91/64
- {8/6} L.A.König "Die maximal zulässige Aktivitätsabgabe über die
S.Zehme Abluft einer kerntechnischen Anlage"
Atompraxis, 11, Heft 4 und 5, 1965

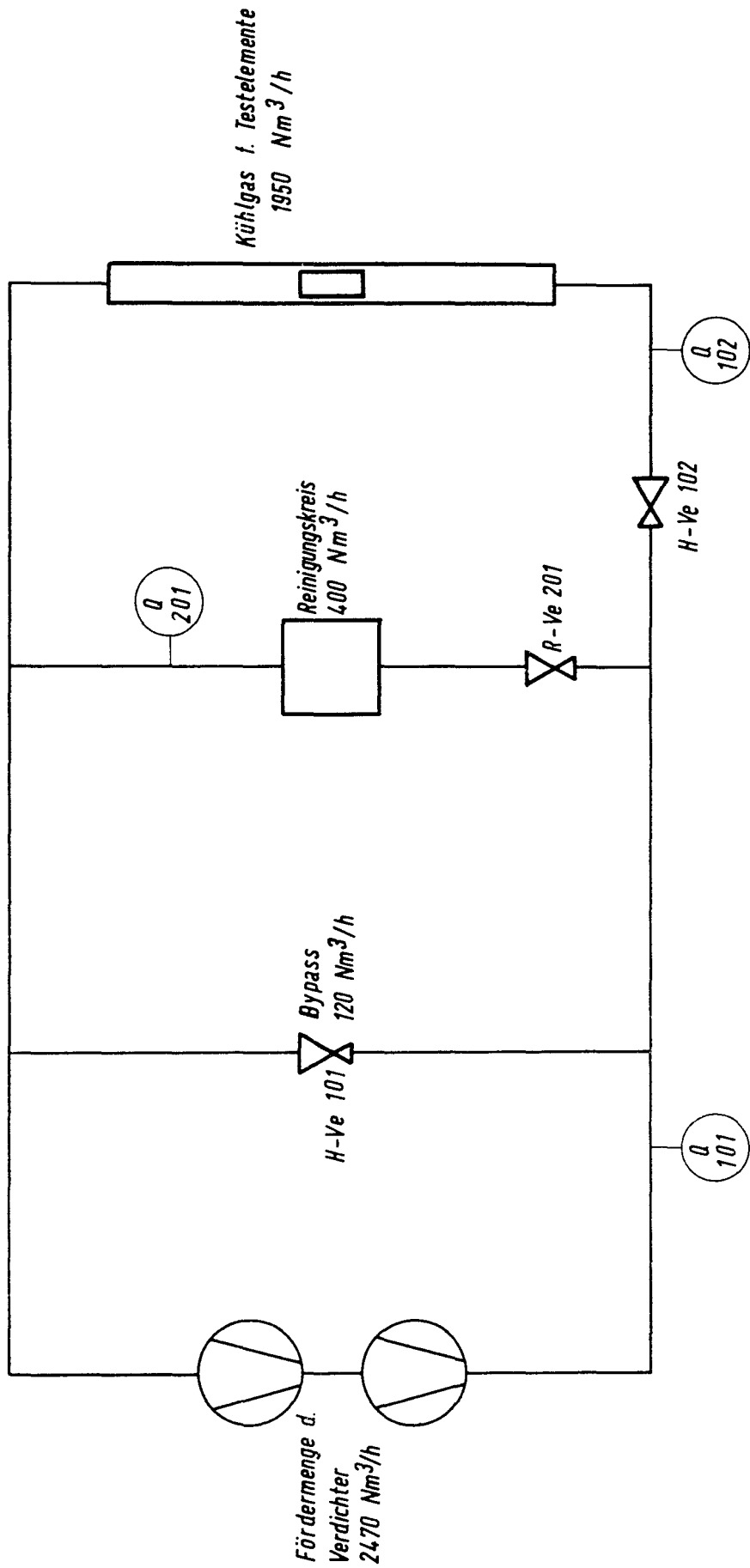


Maximal erreichbare Stableistungen s_{max} als Funktion des Durchmessers D_c und der Centertemperatur t_c in Prüflingsmitte für nicht gekapselte Proben.

Abb. 1



Maximal erreichbare Stabileistungen S_{max} als Funktion des Durchmessers D_c und der Cantemperatur t_c in Prüflingsmitte für gekapselte Proben.

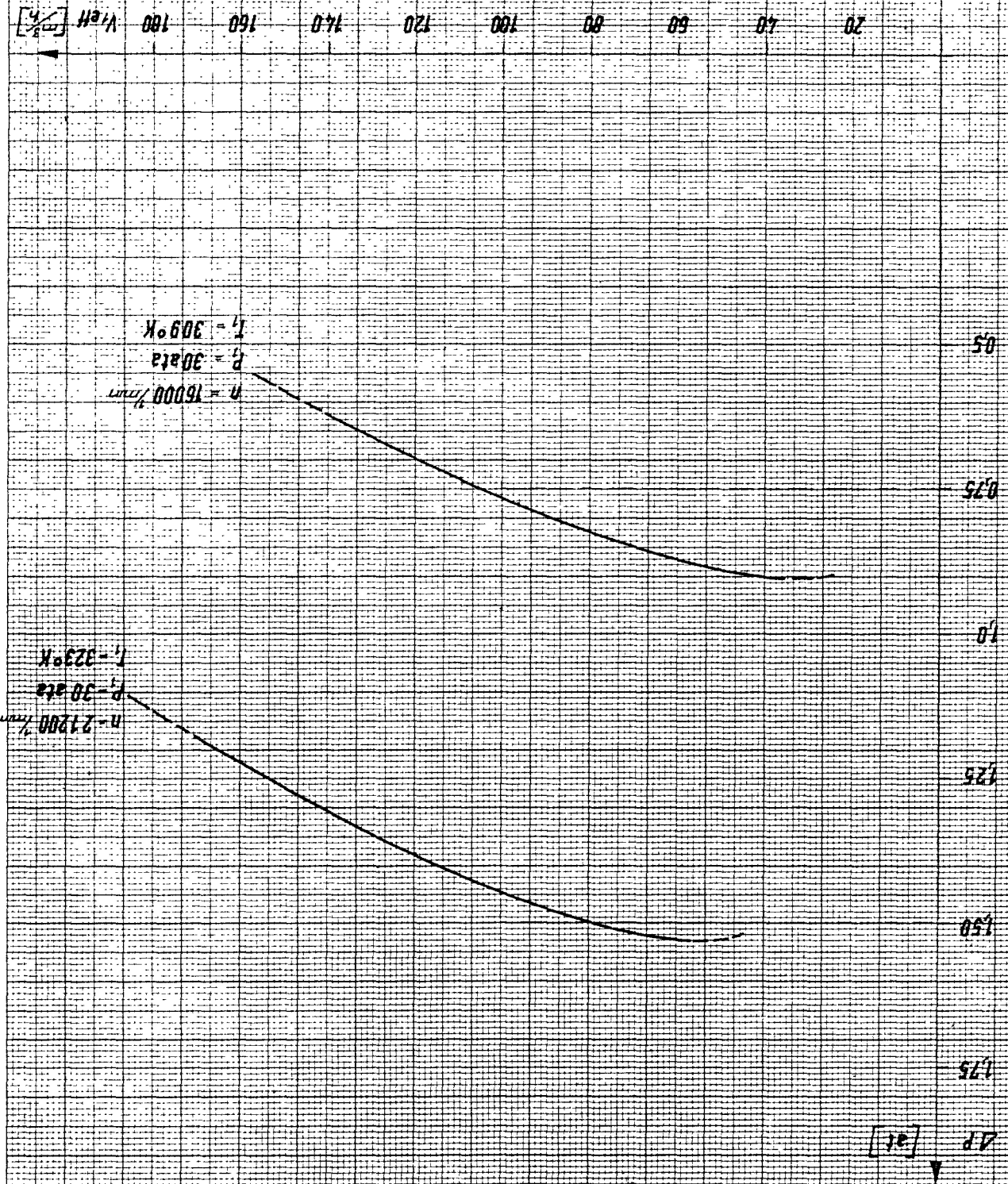


Durchsatzmengen bei Vollast

Abb. 3

Kennlinien der Verdichter

Abb. 7



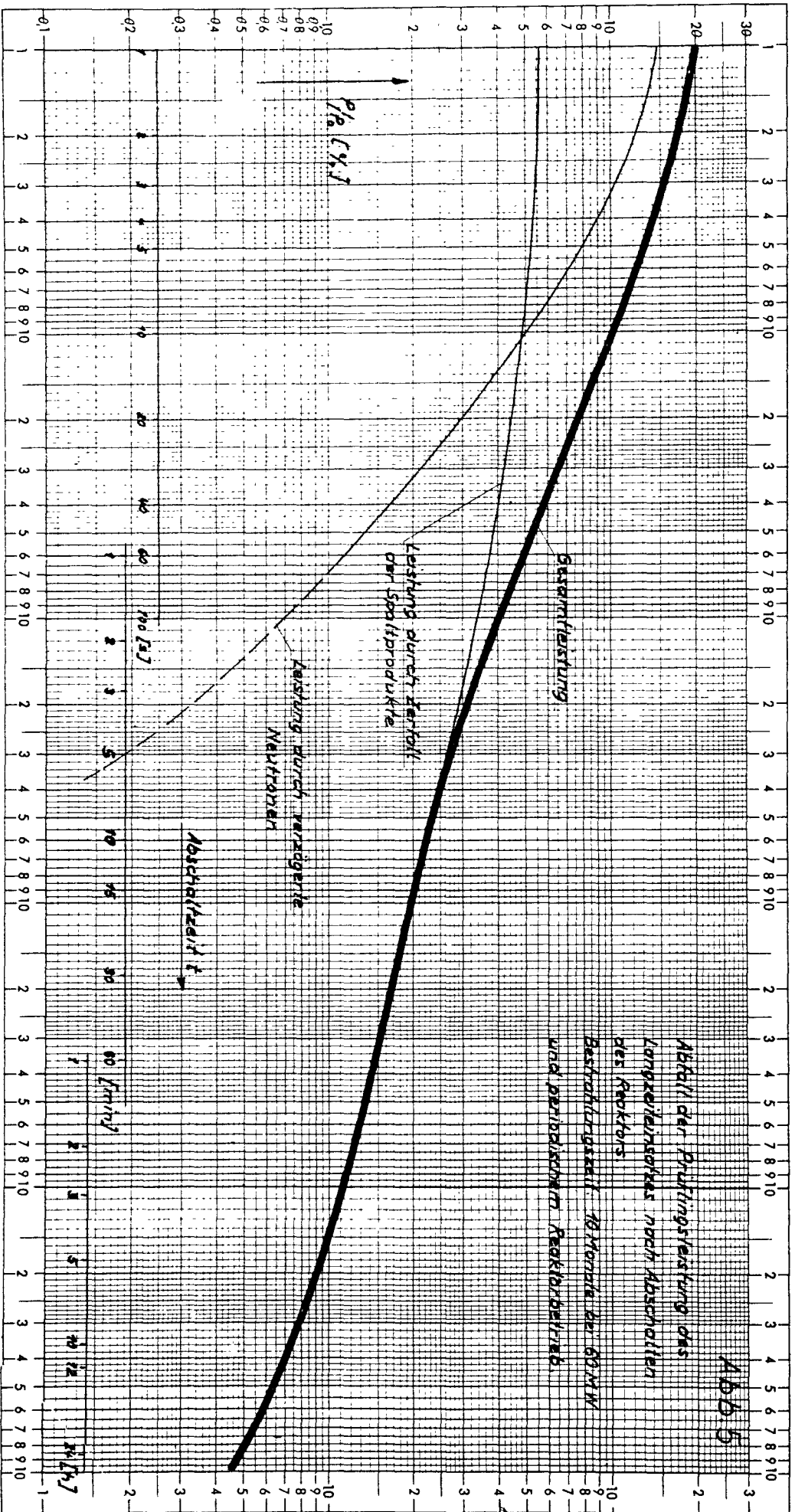
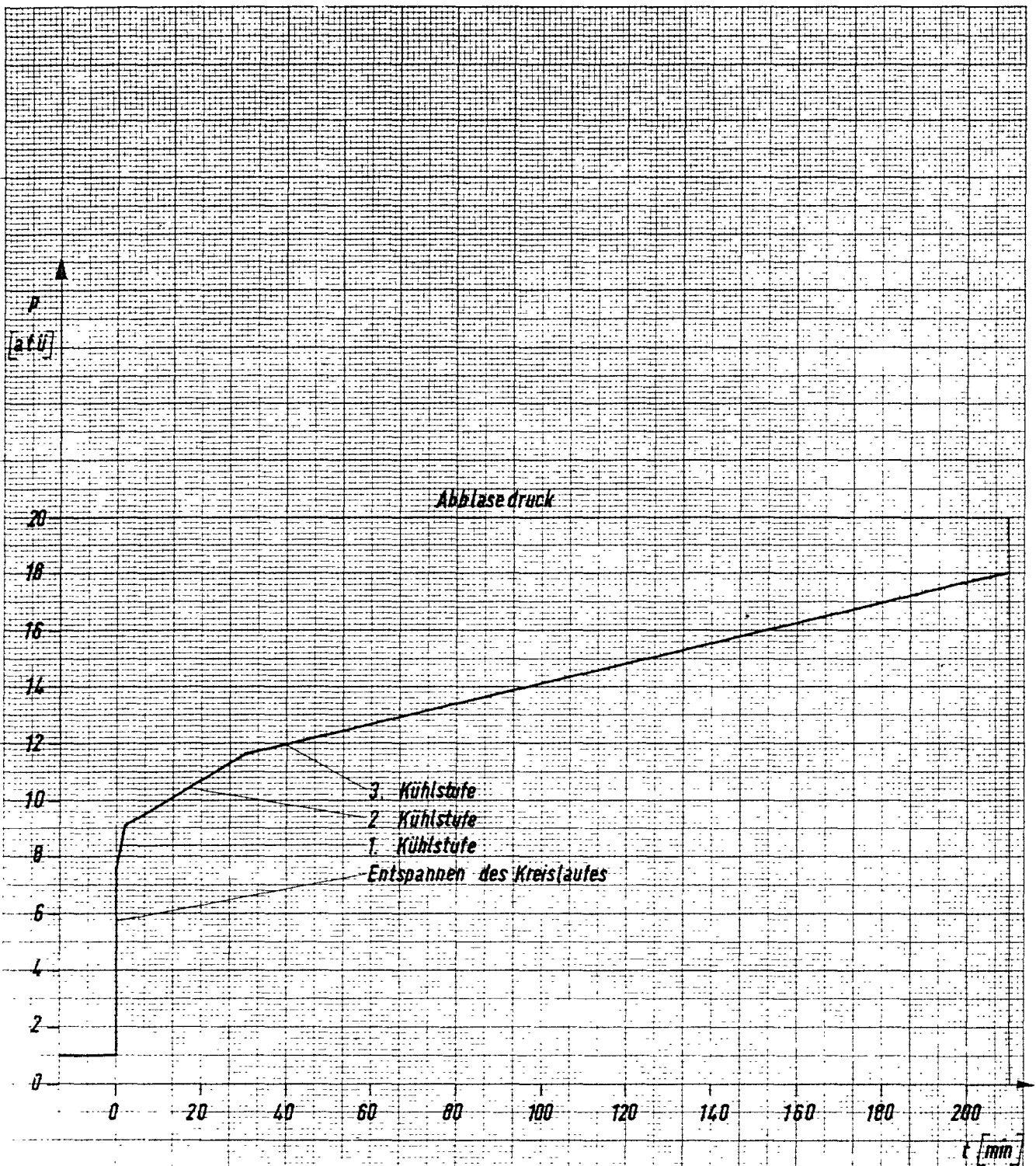


Abb. 5
 Anteil der Prüfungsleistung des
 Langzeitversuchs nach Abschalten
 des Reaktors
 Bestatigungsfall: 10 Monate bei 60 MW
 und periodischem Reaktorbetrieb

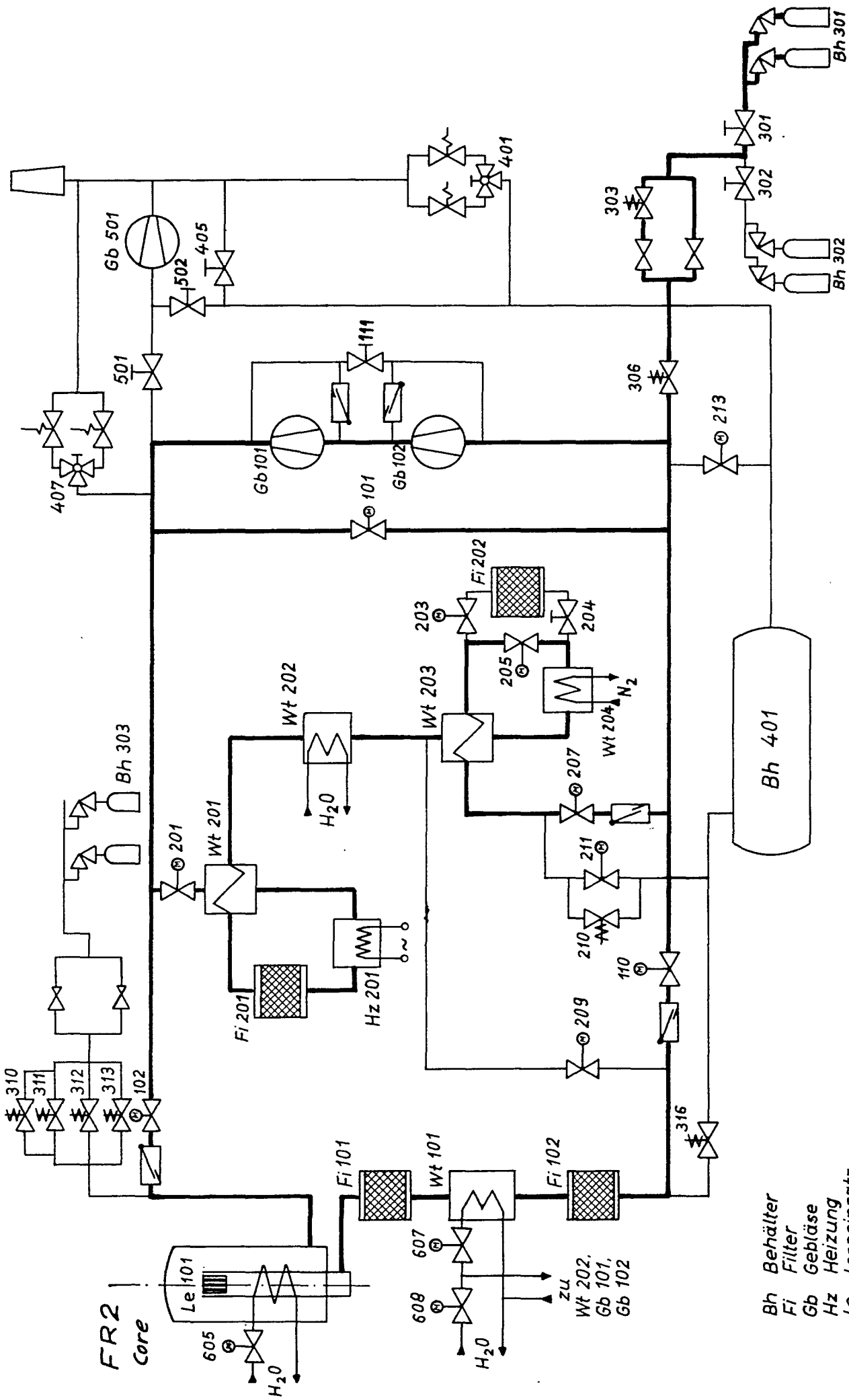
Abb. 5



Druck im Auffangtanksystem während des Notkühlvorganges (Maximalwerte)

Ventil - Steuertabelle

Programm	Ventil	101	102	110	201	203	205	207	209	210	211	213	303	306	310	311	312	313	316	320	321	Auslösung	
Grundprogramm	a			X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		von Hand
	z																						
	G																						
Notprogramm	a													X	X	X	X	X	X	X	X		automatisch
	z																						
Reinigungsprogramm	a	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X									automatisch
	z																						
Sicherheitsventil offen	a																						automatisch
	z																						
Überdruck	a									X													automatisch
	z																						

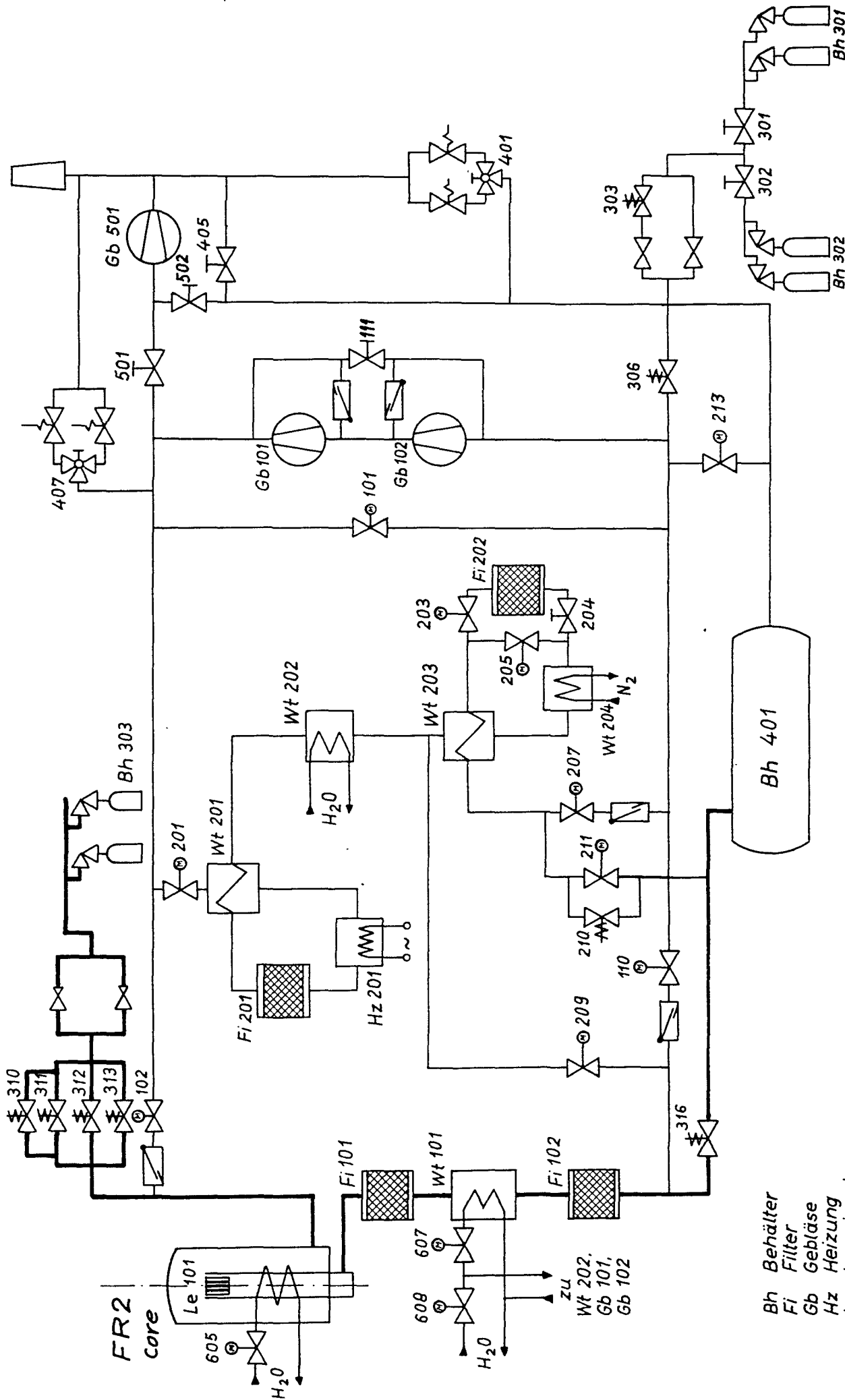


Bh Behälter
 Fi Filter
 Gb Gebläse
 Hz Heizung
 Le Loopeinsatz
 Wt Wärmetauscher

Kernreaktor
 Bau- u. Betriebsgesellschaft m. b. H.
 Karlsruhe

Helium-Versuchskreislauf
 Grundprogramm G

gez.: Klein
 Bild 8



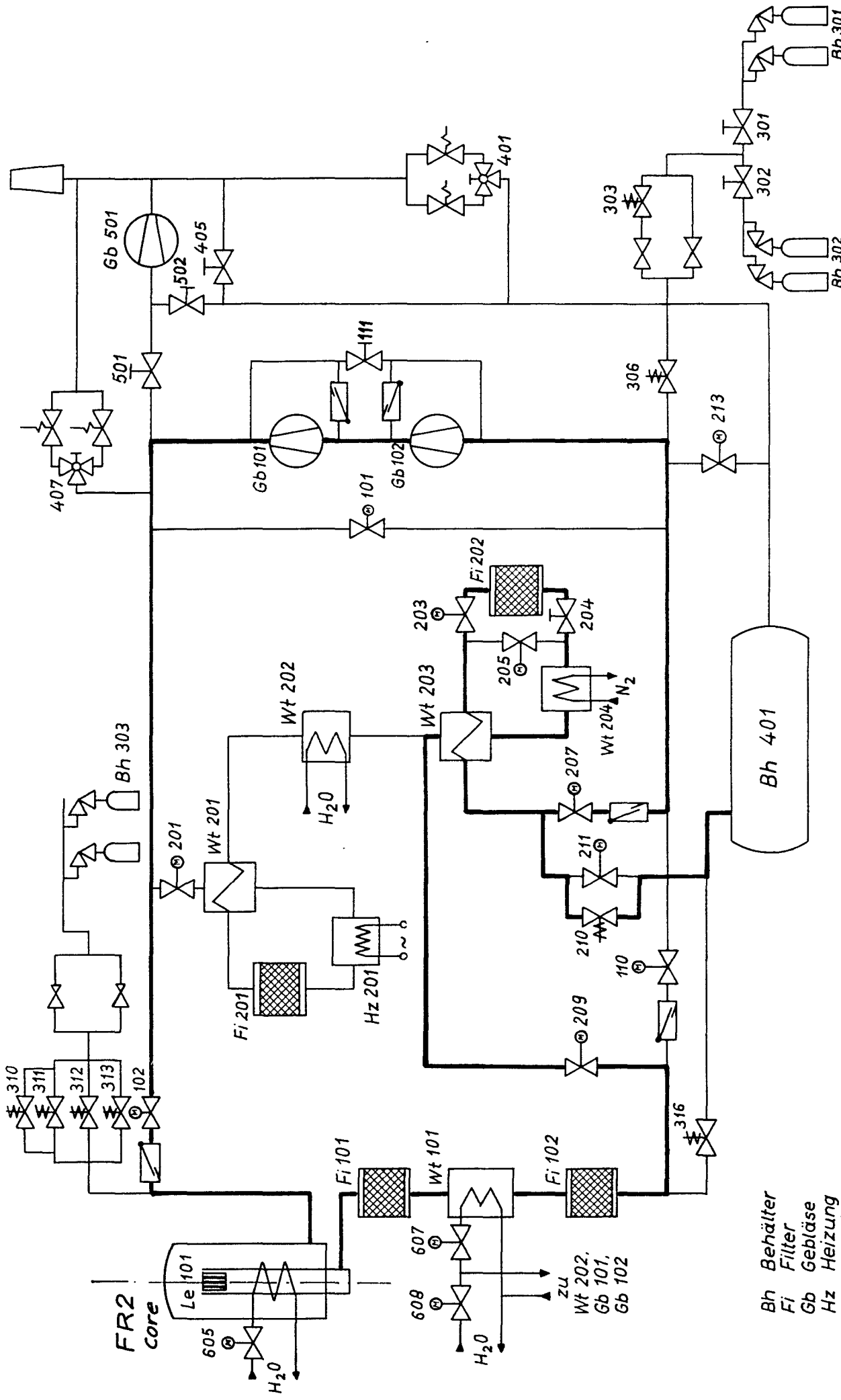
Bh Behälter
 Fi Filter
 Gb Gebläse
 Hz Heizung
 Le Loopeinsatz
 Wt Wärmetauscher

Kernreaktor
 Bau- u. Betriebsgesellschaft m.b.H.
 Karlsruhe

Helium-Versuchsreislauf
 Notprogramm N

gez.: Klein

Bild 9



- Bh Behälter
- Fi Filter
- Gb Gebiäse
- H20 Heizung
- Le Loopsatz
- Wt Wärmetauscher

Kernreaktor
 Bau- u. Betriebsgesellschaft m b.H.
 Karlsruhe

Helium-Versuchskreislauf
 Reinigungsprogramm R

gez.: *Stamm*
 Bild 10

Zeitabhängigkeit der Edelgasaktivität während
 der Entspannung $A_{E1} = 14 \cdot 10^4 \cdot \frac{P'}{100} [C]$
 (ohne Berücksichtigung von Halogen-Folgeprodukten)

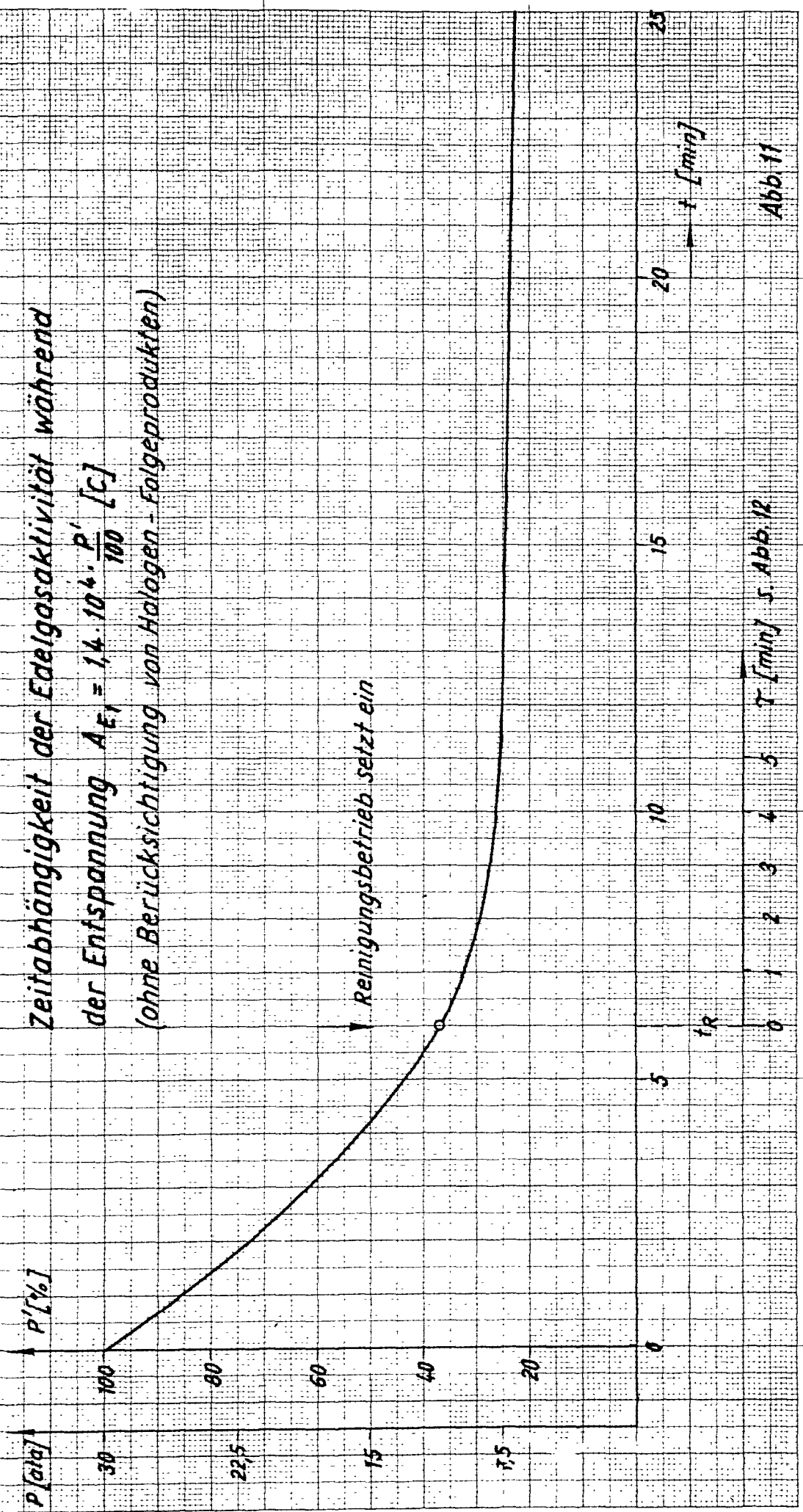


Abb. 11

Abb. 12

Zeitabhängigkeit der Edelgasaktivität während
 des Reinigungsbetriebes $A_{E2} = A_{E1} (t - t_{R1}) \cdot 10^k [C]$
 (Durchsatz ca. $450 \text{ Nm}^3/\text{h}$)

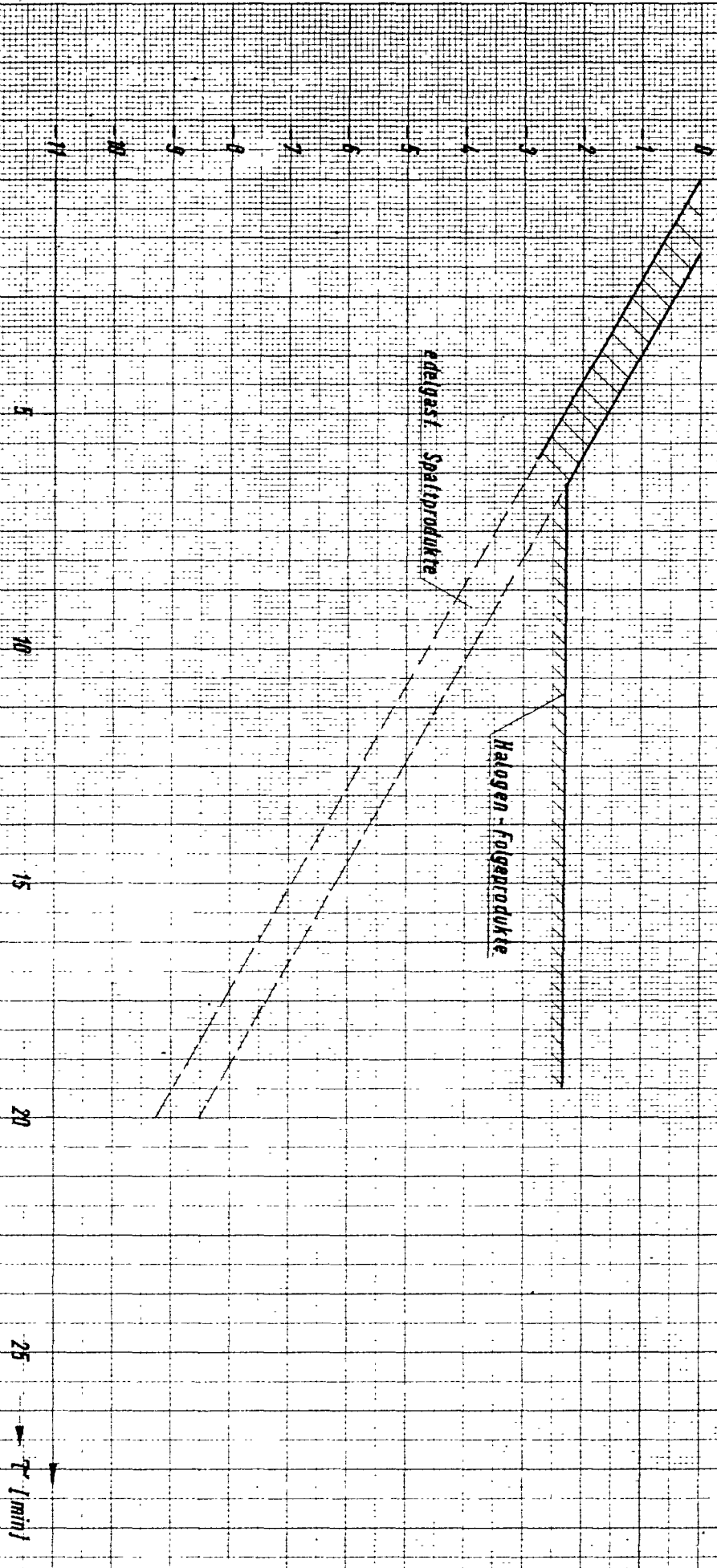
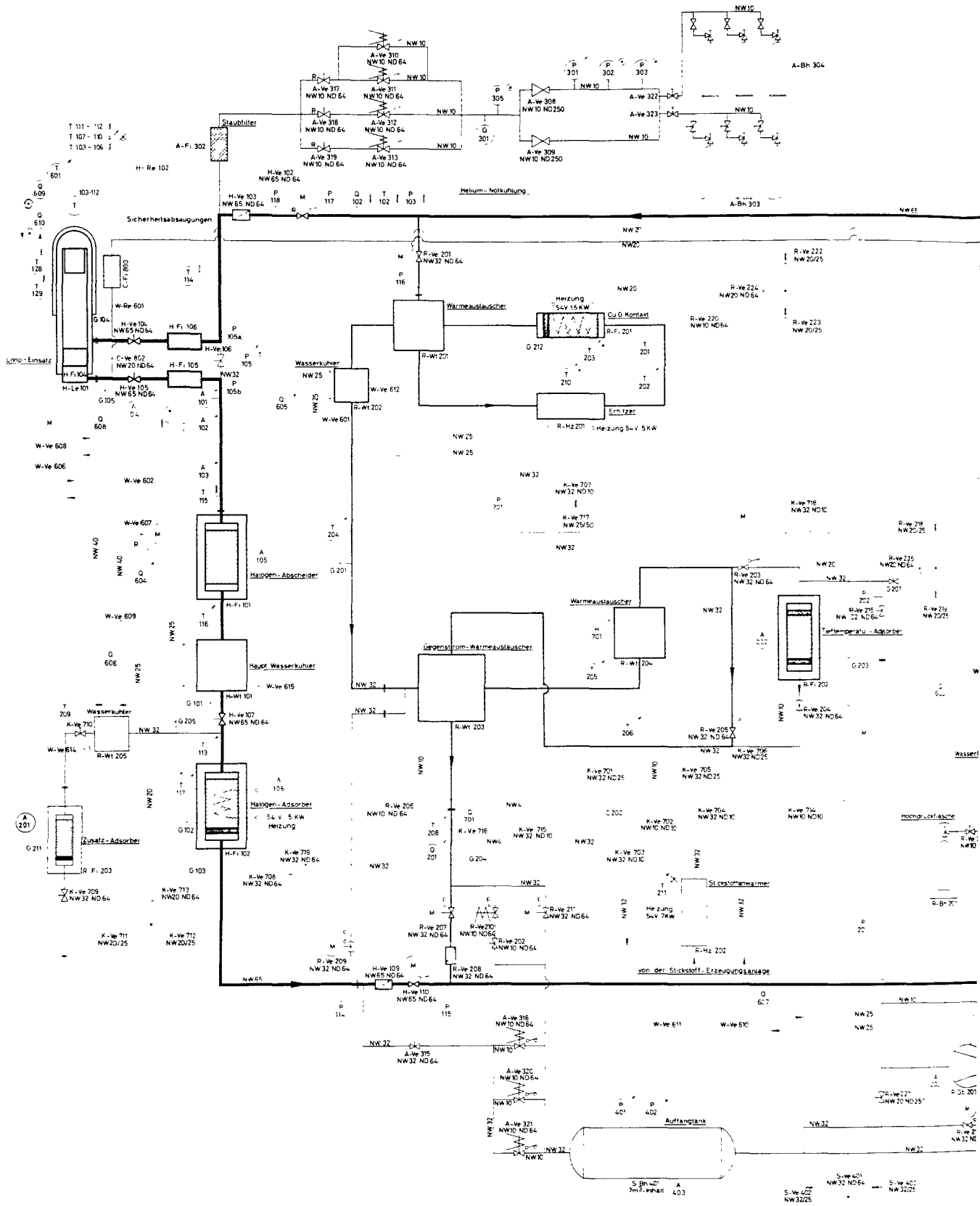
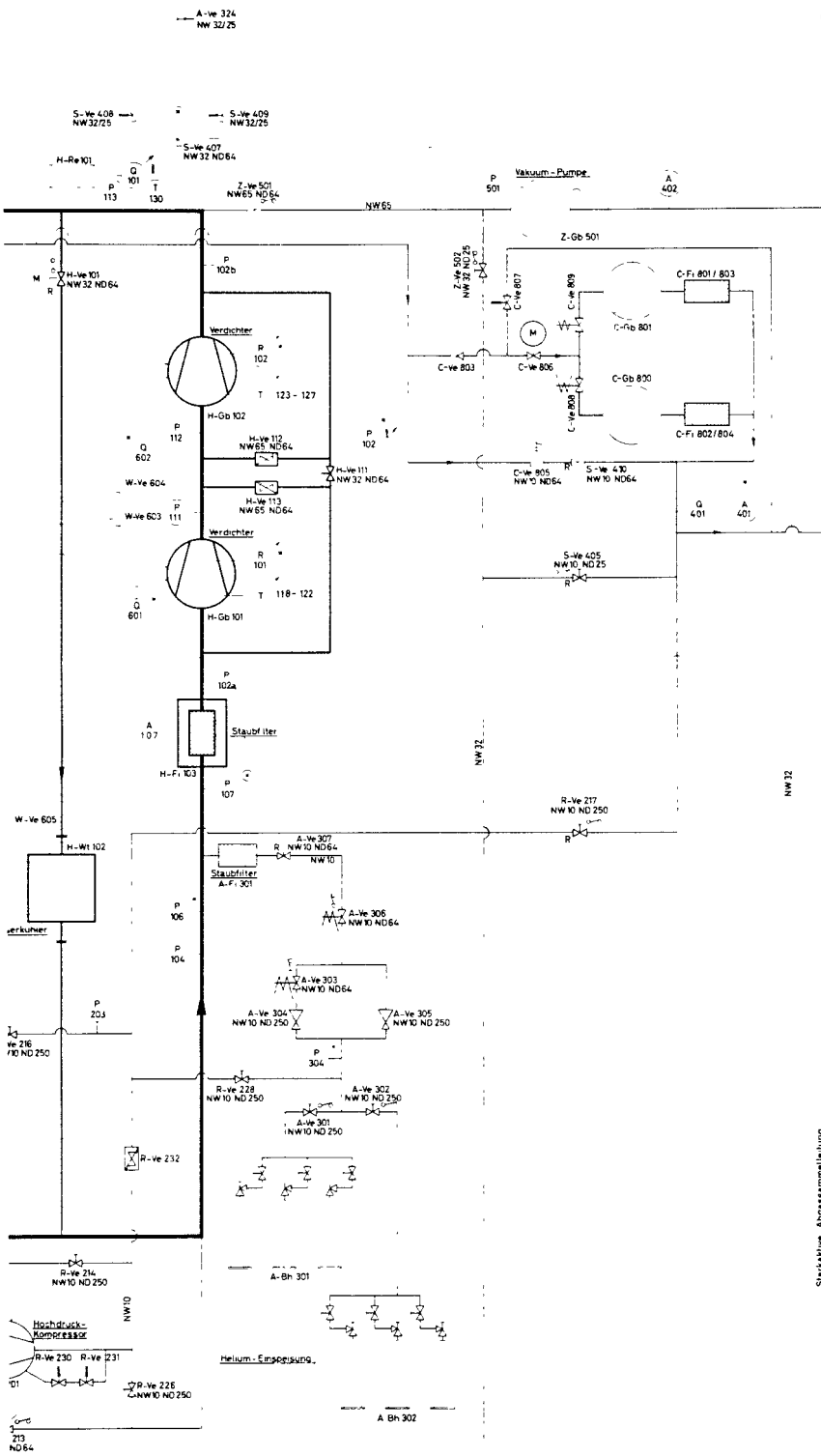


Abb. 12





Starke Aktive Abgassammlung
 Schwachaktive Abgassammlung

Kreislauf - Bezeichnungen

- H-1 Hauptkreis
- P-2 Reinigungskreis
- A-3 Einspeisung und Notkühlung
- S-4 Abgase zum Kamm
- Z-5 Evakuierung
- W-6 Wasser
- K-7 Stickstoff

Kreislauf - Leitungen

- Helium
- Stickstoff
- Wasser

Ventil - Symbole

- Ventil mit Handantrieb
- Ventil mit Handantrieb und Verschließvorrichtung
- M
- Ventil mit Motorantrieb
- Ventil mit Magnetantrieb
- Wechselventil
- Federbelastetes Sicherheitsventil
- Rückschlagventil
- Druckminderventil

Messstellen

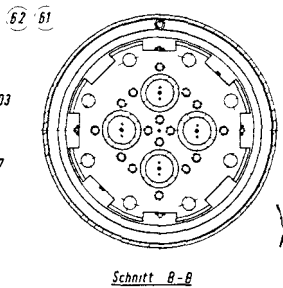
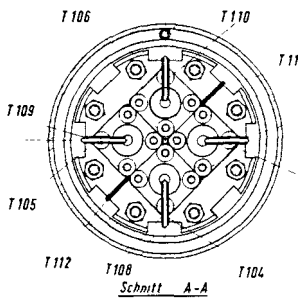
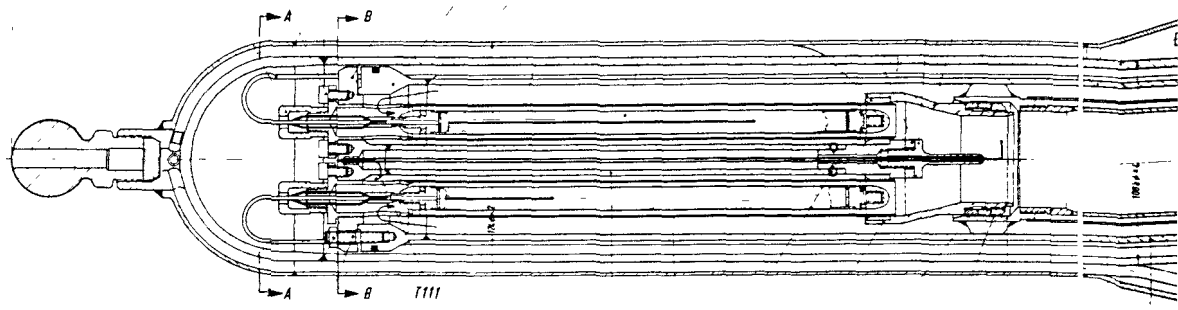
- P Druckmessung
- Q Mengenmessung
- T Temperaturmessung
- A Aktivitätsmessung
- R Drehzahlmessung
- H Höhenstandmessung
- G Gasanalyse

Weitere Symbole

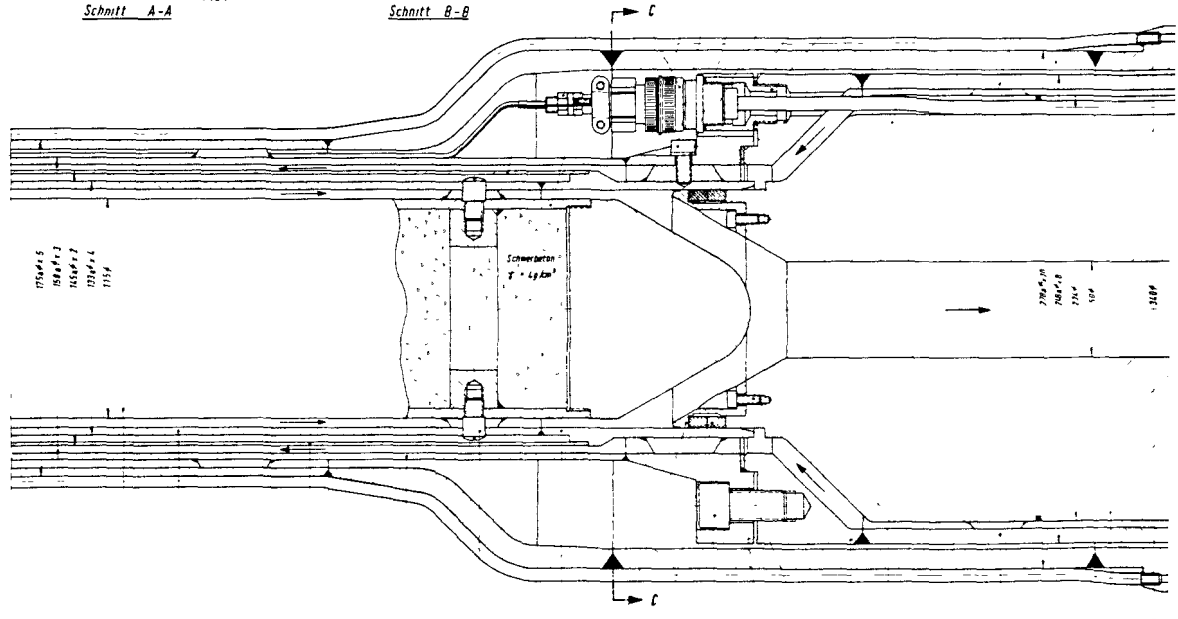
- am Ventil
- R Regelventil
- Auf-Zu-Anzeige am Blind-Schaltbild
- an der Messstelle
- Messung wird geschrieben am Schaltputz
- Fernanzeige
- Funktionssignal
- Alarmsignal
- Schaltssignal

Teil	Stück	Bezeichnung	Material	Abmessung	Verhältnis der Maß	Bezeichnung
Fließschema	1	Fließschema für FR2-Abbrandloop (Projekt 26)				TA2-PSB 4001-0-00

64 65 A 60 59 63 B C 55 54 53 D E F



58 56 57 52 51 50 49 48 47 46
23 28 29 21 19 20
M N D E F

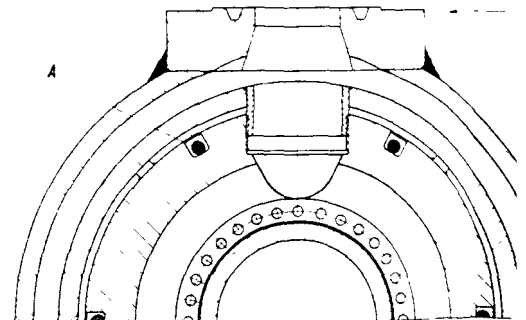
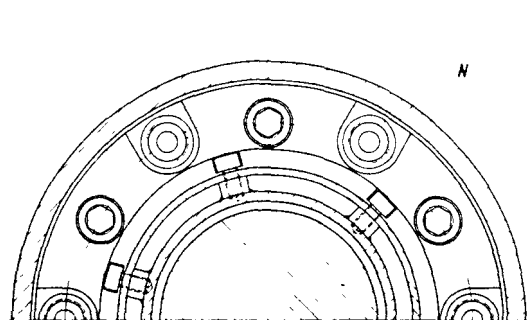


33 32 31 30 34 27 24 25 22 17 18 16 26 15 11

ganze Bauhöhe 1360

150

280

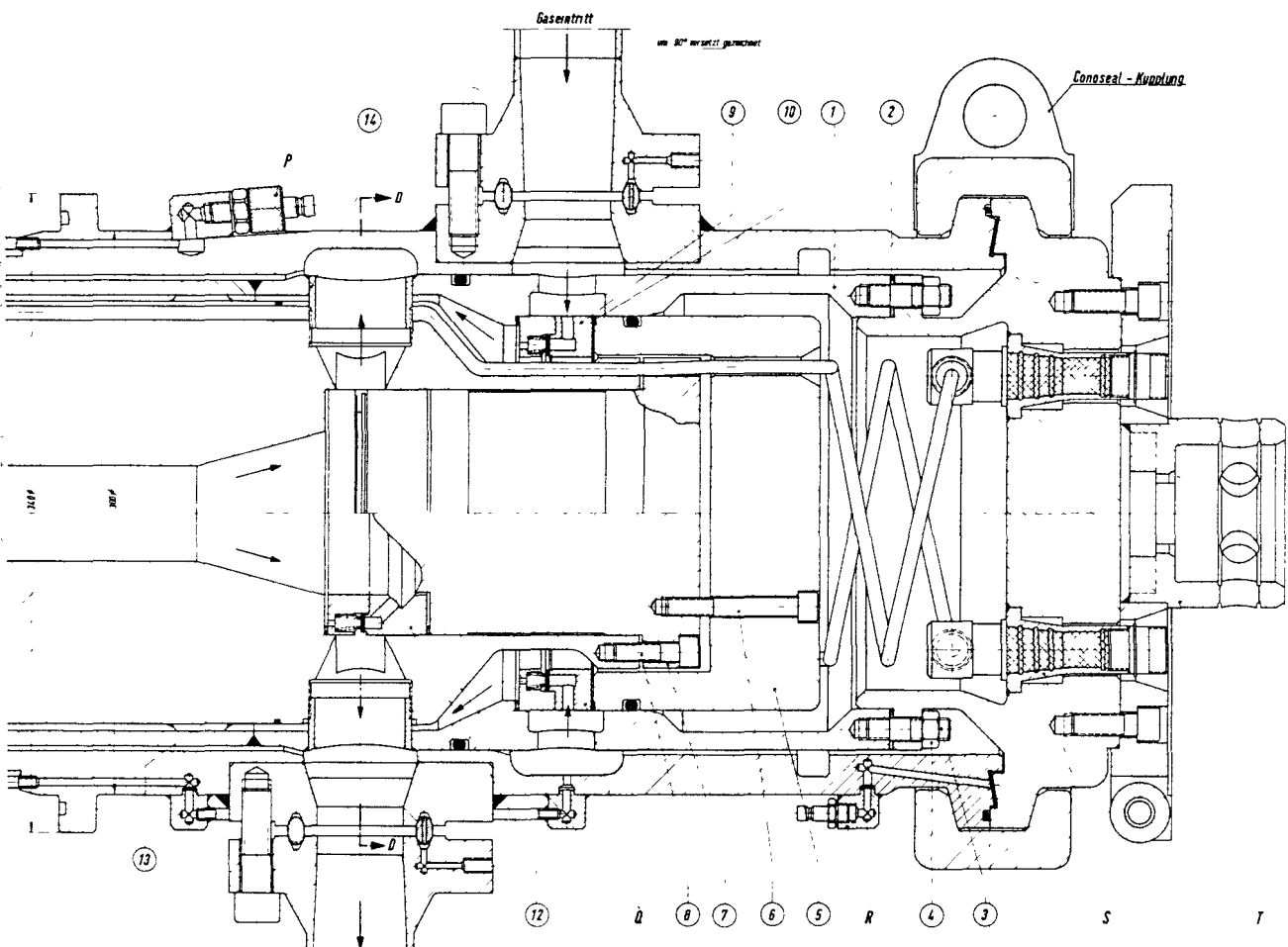
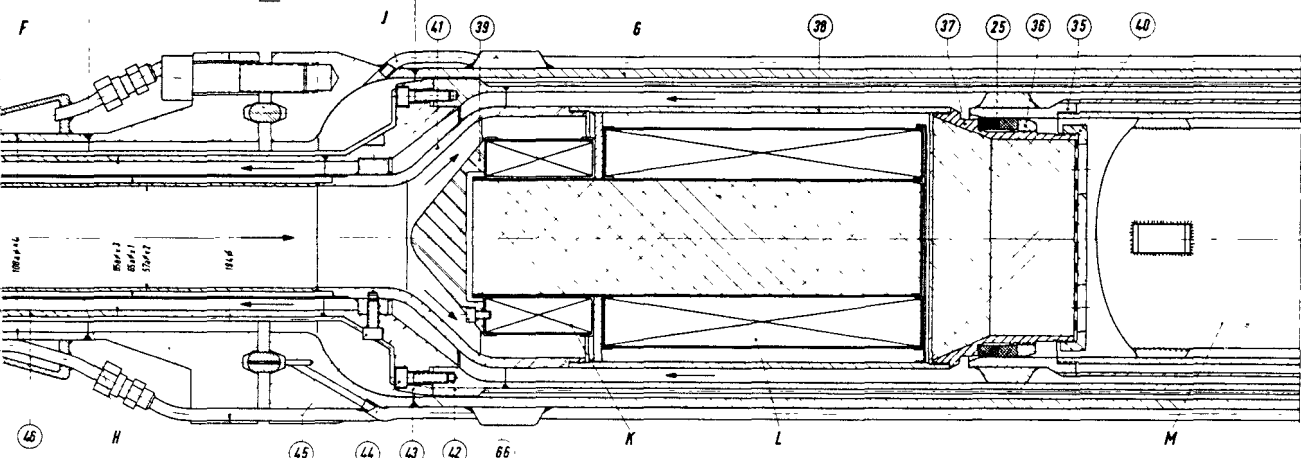


Schnitt C-C

Schnitt D-D

171,5

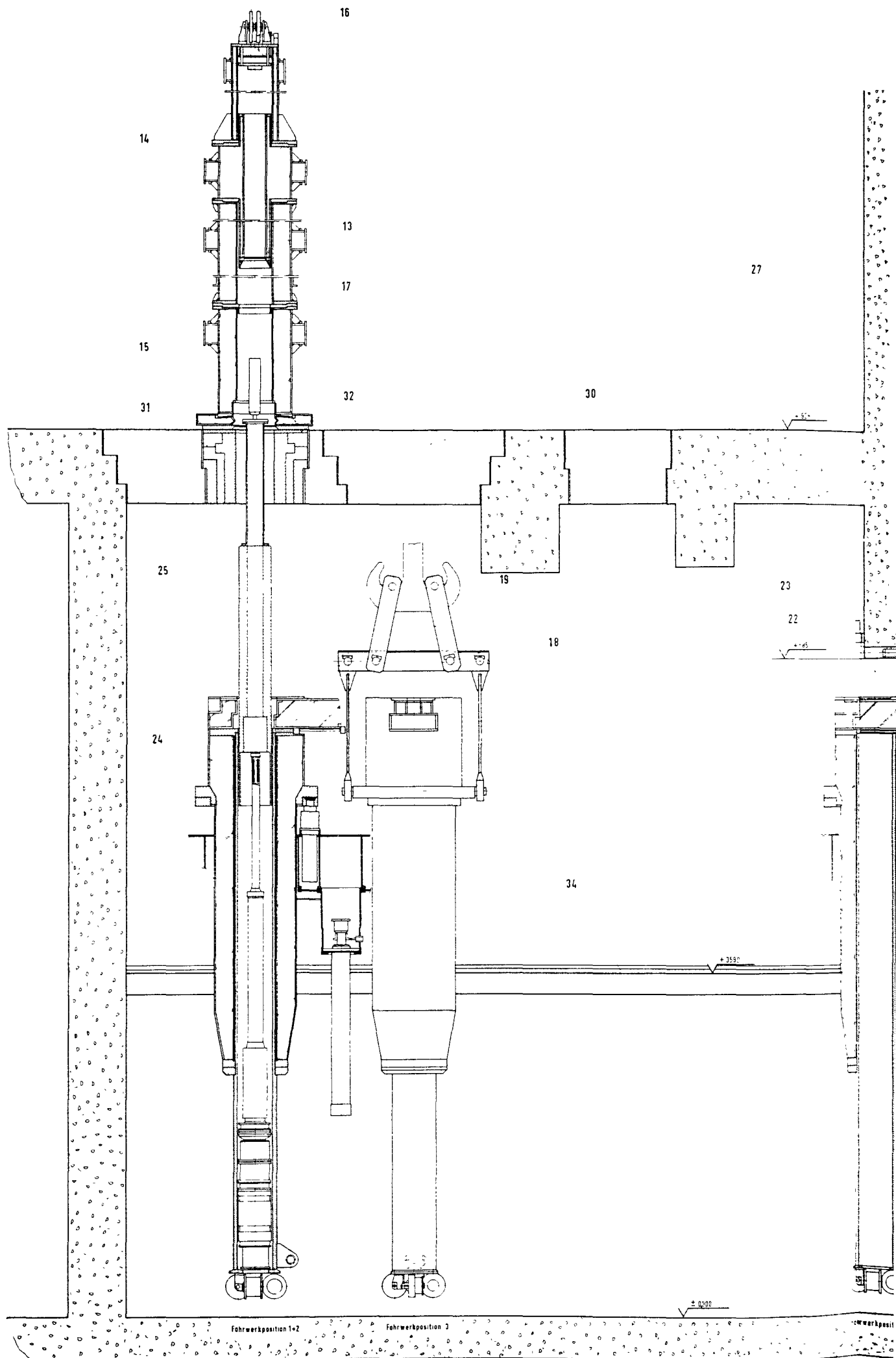
sonst. Bohrungen 120

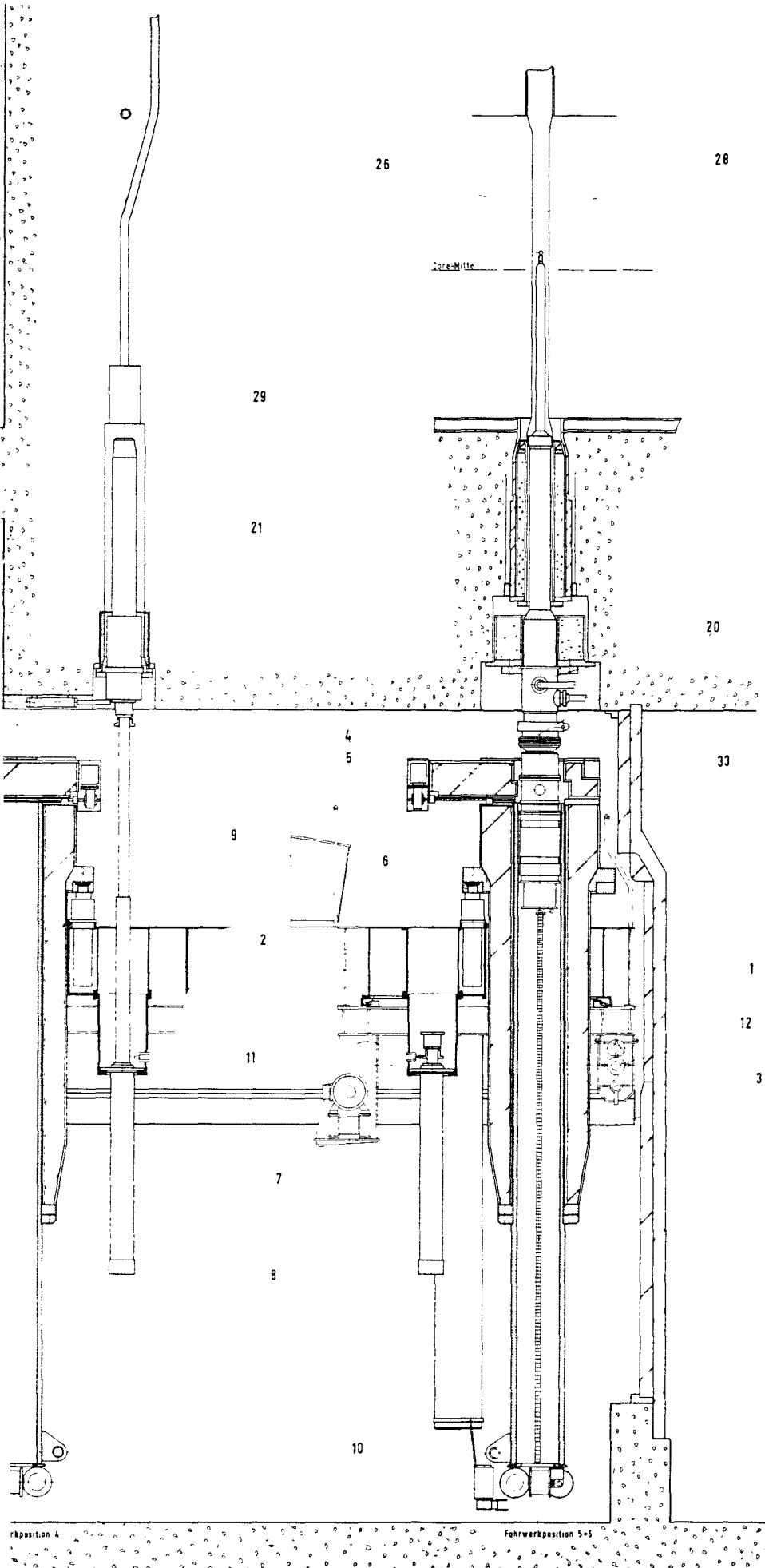


- A Meßleitungen für Druck und Temperatur
- B Hüllrohr
- C Prüfling
- D Prüflingshalterung
- E Versuchseinsatz
- F Druckrohr-Oberteil (Zircaloy 2)
- G Druckrohr-Unterteil (Nr 454)
- H Thermo-Schild
- J Helium-Spulleitung
- K Vorfilter
- L Feinfilter mit Halogen-Abscheider
- M Abschirmstopfen
- N Meßleistungsstecker mit Druckgeber
- O Abschirmstopfen
- P Selbsttätige Ventile
- Q Lecksicherung
- R Lecksicherung
- S Druckdichte Steckerdurchführung
- T Kupplungszapfen

156

A Zeichnung auf neuem Stand 12.11.64 K. L. W.	
Zeichner 1	Druckrohr mit Versuchseinsatz
Gezeichnet 1	Nr. 454 Versuchseinsatz
Material 454 Al Mg 3	1A2-PSB-48.02-u-470





- 1 Fahrgestell
- 2 Drehwerk (Drehplattform)
- 3 Bleiflasche
- 4 Hubgetriebe (Hubwerk III)
- 5 Bleischieber
- 6 Gleichlaufing mit Hubzylinder (Hubwerk II)
- 7 Gleichlaufzylinder (Hubwerk I)
- 8 Lagerposition für Schutzhemd
- 9 Steuerpult II
- 10 Drehgelenk
- 11 Pumpenmotor
- 12 Fahrgestellgetriebe
- 13 Looprohrabschirmbehälter
- 14 Bleieinsatz
- 15 elektr. Greifer
- 16 Greiferantrieb
- 17 Endschalter
- 18 Hakengeschirr
- 19 60t Kranhaken
- 20 Druckrohr mit Versuchseinsatz
- 21 Looprohrstopfen
- 22 Pneumat-Riegel
- 23 Pneumat-Ventile
- 24 Versuchseinsatz
- 25 Schutzhemd
- 26 Reaktor-Core
- 27 Biolog Schirm
- 28 Zentralloop
- 29 Stopfenlager
- 30 Lukendeckel
- 31 Runde Luke
- 32 Stützring für Looprohrabschirmbehälter
- 33 Bleiabschirmwand
- 34 Fahrbahnschienen

Blatt Nr.	Rev.	Genehmigt für Konstruktion	Zeichn. Nr.
1 - 15	Auswechsellmaschine FB 2 / Proj 26	Aufbau II	TAE-PSB-4005-4-716