

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

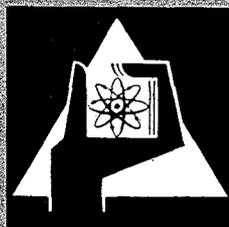
August 1970

KFK 1255

Labor für Elektronik und Meßtechnik
Abteilung Reaktorbetrieb und Technik
Projekt Schneller Brüter

Der Hüllenschaden-Dampfkreislauf
(HSD-Loop)

S. Jacobi, I. Rautenberg, H. Beitner, W. Golly, U. Kujath,
M. Link, D. Perinic, F. Rimmel, T. Schmidt, G. Schmitz, R. Schneider



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

August 1970

KFK 1255

Labor für Elektronik und Meßtechnik
Abteilung Reaktorbetrieb und Technik
Projekt Schneller Brüter

Der Hüllenschaden-Dampfkreislauf
(HSD-Loop)

S. Jacobi, I. Rautenberg, H. Beitner, W. Golly, U. Kujath,
M. Link, D. Perinic, F. Rempel, T. Schmidt, G. Schmitz, R. Schneider

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H., KARLSRUHE

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Freisetzung von Spaltprodukten und Brennstoffpartikeln aus einem beschädigten Reaktorburnelement, ihr Transport und Nachweis im Wasserdampf, ihre Ablagerung und Dekontamination von Kreislaufkomponenten, die Korrosionsbeständigkeit der Reaktorwerkstoffe sowie das Verhalten beschädigter Brennelemente sind wichtige Auslegungsparameter dampfgekühlter Reaktoren. Für derartige Experimente wurde am Reaktor FR 2 in Karlsruhe ein Heißdampf-Prüfkreislauf errichtet.

Dieser Kreislauf besteht aus einer außerhalb des Reaktors befindlichen Dampferzeugungsanlage, einer in-pile-Teststrecke zur Aufnahme von Brennstoffstäben sowie Enthitzer und Kondensator. Es ist vorgesehen, daß auch Siedewasser als Kühlmittel verwendet werden kann.

Die wesentlichen Daten des Kreislaufes sind:

Max. Druck 190 atü, max. Temperatur 550 °C und max. Durchsatz 100 kg/h.

Der Kreislauf wird automatisch überwacht und mittelbar beaufsichtigt betrieben. Eine 2 von 3-Auswahlschaltung bewirkt bei Annäherung unzulässiger Betriebszustände eine Abschaltung des FR 2.

A b s t r a c t

The release of fission products and fuel particles from a failed reactor fuel element, their transport and detection in steam, their deposition and decontamination of circuit components, the corrosion resistance of reactor materials, and the behavior of failed fuel elements are important design parameters of steam cooled reactors. For experiments of this kind a superheated steam test loop has been installed at the FR 2 reactor at Karlsruhe.

This loop consists of a steam generator unit, an in-pile test bed for accommodation of the fuel pins, and an expansion unit, condenser and low pressure section.

These are the main data of the loop:

Maximum pressure 190 atm, maximum temperature 550 °C, rate of flow 100 kg/h.

The loop is controlled automatically and is run with in direct supervision. A two-out-of-three selection circuit actuals shutdown of the FR 2 reactor as soon as unsafe operating conditions are approached.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
1. Aufgabe der Versuchseinrichtung	9
2. Auslegung der Versuchseinrichtung	10
2.1. Auslegungskriterien	10
2.1.1. Experimente	10
2.1.2. Kreislaufbetrieb	10
2.1.3. Reaktorsicherheit und -ökonomie	11
2.2. Kreislaufschema	11
2.2.1. Heißdampfbetrieb	11
2.2.2. Siedewasserbetrieb	12
2.2.3. Experimentiereinbauten	12
2.3. Datentabelle	13
3. Beschreibung der Versuchsanlage	14
3.1. Kreislauf und Systeme	14
3.1.1. Primärkreislauf P	14
3.1.2. Abgassystem A	18
3.1.3. Hilfskreislauf H	18
3.1.4. Sekundärkreislauf S	19
3.1.5. Frischwasserkreislauf F	19
3.1.6. Vakuum- und Inertgas-System V	20
3.1.7. Gasdosierung G	20
3.2. Reaktoreinsatz	21
3.2.1. Reaktorposition und Fluß	21
3.2.2. Beschreibung des Reaktoreinsatzes	22
3.2.3. Wärmeübergangsverhältnisse und Temperaturverteilung im Reaktoreinsatz	24
3.2.4. Prüflingsdaten (HDR-Stab)	25
3.3. Instrumentierung	27
3.3.1. Meßtechnik	28
3.3.2. Regelungstechnik	30
3.3.3. Steuerungstechnik	32
3.4. Experimentiereinrichtungen	33
3.4.1. Hüllenüberwachung	33
3.4.2. Chemiebox	34
3.4.3. Materialprobeneinsätze	35
3.4.4. Jodprobensammler	36
3.5. Versorgungseinrichtungen	36
3.5.1. Elektrische Energie	36
3.5.2. Wasser	37
3.5.3. Druckluft	37
3.5.4. Belüftung	38

3.6. Räumliche Anordnung	38
4. Betrieb der Versuchseinrichtung mit Prüfling	39
4.1. Anfahren	39
4.2. Dauerbetrieb	41
4.3. Abfahren	41
4.4. Betriebsstörungen	42
5. Betrieb der Versuchseinrichtung ohne Prüfling	43
5.1. Betrieb ohne Prüfling mit Dampfkühlung	43
5.2. Betrieb ohne Prüfling und ohne Dampfkühlung	43
6. Sicherheitsbetrachtungen	44
6.1. Konventionelle Sicherheit	44
6.1.1. Vorschriften	44
6.1.2. Wasserstoffdosierung	45
6.2. Nukleare Sicherheit	46
6.2.1. Reaktivität	46
6.2.2. Kühlmittelaktivierung	46
6.2.3. Spaltprodukte im Kreislauf	47
6.2.4. Strahlenbelastung	49
6.2.5. Aktivitätsabgabe	50
6.2.6. Dichtheit	51
6.2.7. Kreislaufbruch	53
6.2.8. Druckrohrdefekt	56
6.2.9. Schmelzen des Prüflings	56
6.3. Sicherheits- und Schutzsystem	57
6.3.1. Mehrfachinstrumentierung	57
6.3.2. Wirkungsweise des Sicherheitssystems	59
6.3.3. Versorgung und Prüfung des Sicherheitssystems	60
6.3.4. Abschaltlinie "Core-Einbauten"	60
7. Erprobungen und Prüfungen	61
7.1. Instrumentierung	61
7.2. Verfahrenstechnik und Maschinenbauteile	61
8. Literaturverzeichnis	62
9. Verzeichnis der Abbildungen	63
10. Störmeldungsverzeichnis	64

Vorwort

Bei der Entwicklung des Heißdampfreaktors HDR in Kahl und anderer dampfgekühlter Reaktoren ist das Brennelement und seine Betriebszuverlässigkeit nach wie vor das zentrale Problem. Solange nicht ausreichende Betriebserfahrungen vorliegen, müssen die Brennelemente während des Reaktorbetriebes sorgfältig überwacht werden, um auftretende Hüllenschäden möglichst frühzeitig zu erkennen. Schadensablauf und -folgen sollten in etwa vorhersehbar sein. Von systematischen Untersuchungen zu diesem Thema ist wenig berichtet worden /1/. Über Hüllenüberwachungsanlagen an Heißdampfreaktoren ist bisher nichts bekannt.

Für den HDR und für weitere Prototyp-Dampfreaktoren wurde eine Hüllenüberwachung für notwendig erkannt. Es stellte sich die Frage nach dem anzuwendenden Meßprinzip und der zu fordernden Nachweisempfindlichkeit hinsichtlich der zu erwartenden Spaltproduktmissionsrate. Viele der damit verbundenen Probleme lassen sich nur experimentell lösen. Hierfür wurde ein Heißdampfprüfkreislauf konzipiert. Die kombinierte Verwendung von Heißdampf und Siedewasser am HDR gab den Anlaß, beide Kühlmittel auch in diesem Kreislauf zu verwenden.

Bald nach Bekanntwerden des Projektes zeigte sich, daß dieser Kreislauf mit einigen Ergänzungen und Erweiterungen auch für chemische, metallurgische und reaktortechnische Probleme ein weites Experimentierfeld bietet. Auf diese Weise läßt sich die Ausnutzung des Kreislaufes erheblich steigern. Besonders vorteilhaft bei diesen Arbeiten ist, daß der gesamte Problemkreis Austritt, Transport, Nachweis und Ablagerung von Spaltprodukten günstig abgerundet werden kann. Während die einzelnen Themen sich gegenseitig ergänzen, zeigte sich in den bisher turnusmäßig durchgeführten Experimentatorbesprechungen, daß eine gegenseitige Störung während des Kreislaufbetriebes nicht zu erwarten ist.

In der ersten Ausbau- und Experimentierphase für die auf den HDR bezogenen Experimente ist die Verwendung von verkürzten HDR-Stäben als Prüflinge mit ihren geringen Anreicherungen an

eingegangen am 5. 8. 1970

U235 und damit relativ niedrigen Stableistungen vorgesehen. Da die für den dampfgekühlten Brutreaktor beabsichtigten Arbeiten Brüterstäbe mit wesentlich höheren Stableistungen erfordern, werden in einer späteren Ausbaustufe an diesem Loop Ergänzungen und Änderungen durchgeführt.

Sowohl diese Erweiterungen als auch die Verwendung der Brüterstäbe werden in dem vorliegenden Bericht nicht behandelt und bleiben einem späteren Nachtrag vorbehalten.

1. Aufgabe der Versuchseinrichtung

a) Freisetzung von Spaltprodukten aus defekten Brennstäben

Die vom LEM konzipierte Hüllenüberwachungsanlage des HDR soll vor Beginn des Leistungsbetriebes des HDR im Januar 1970 unter weitgehender Verwirklichung der HDR-Betriebsbedingungen am HSD-Loop mit einem simulierten Schaden getestet werden. Ein Teil dieser Untersuchungen beinhaltet die Spaltproduktfreisetzung aus einem defekten HDR-Stab.

b) Transport von Spaltprodukten, insbesondere von Jod im Heißdampf.

c) Nachweis von Spaltprodukten im Heißdampf

Neben den unter a) genannten Arbeiten besteht die Aufgabe darin, für den dampfgekühlten Reaktor ein Meßprinzip und die dazugehörenden Komponenten für eine betriebsmäßige Hüllenüberwachungsanlage zu entwickeln.

d) Ablagerung von Spaltprodukten in Anlagekomponenten.

e) Verfahren zur Dekontamination von Anlagekomponenten.

f) Korrosionsbeständigkeit von verschiedenen Reaktormaterialien bei hoher Temperatur und Neutronenbestrahlung.

g) Nachweis von verzögerten Neutronen

Außer den Arbeiten für den dampfgekühlten Reaktor wird ein Programm für den natriumgekühlten Brüter an diesem Loop durchgeführt: Die Existenz von verzögerte Neutronen emittierenden Spaltprodukten in einem heißen Kühlmedium gestattet Experimente für die Entwicklung eines Monitors für die Hüllenüberwachung des natriumgekühlten Brüters nach dem Prinzip der verzögerten Neutronen.

2. Auslegung der Versuchseinrichtung

2.1. Auslegungskriterien

2.1.1. Aus den in Kapitel 2 genannten Aufgaben der Versuchseinrichtung folgen die experimentbedingten Auslegungskriterien:

Für den maximalen Dampfdruck p_{\max} und die maximale Dampftemperatur t_{\max} wurden folgende Werte gewählt /1/:

$$p_{\max} = 190 \text{ atü,}$$

$$t_{\max} = 550 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Damit werden auch die für den HDR spezifischen Bedingungen erfüllt /2/.

Dampf: $p = 90 \text{ atü, } t = 500 \text{ }^{\circ}\text{C.}$

Der dritte wesentliche Kreislaufparameter, der Durchsatz, wurde unter Beachtung folgender Gesichtspunkte festgelegt:

- Zur Probeentnahme für die Hüllenüberwachung von Brennstäben in Reaktoren werden allgemein nur kleine Ströme abgezweigt (etwa 10 bis 300 kg/h).
- Die Erstellungs- und Betriebskosten eines Versuchskreislaufes wachsen mit der Größe des Kühlmitteldurchsatzes.

Deshalb wurde für den maximalen Dampfdurchsatz Q_{\max} gewählt

$$Q_{\max} = 100 \text{ kg/h.}$$

Weitere experimentbedingte Auslegungskriterien sind

- Kontamination und Aktivierung des Kühlmediums.
- Einbaumöglichkeiten für Korrosions- und Depositionsproben in den Dampf- und Wasserleitungen sowie im Reaktoreinsatz.
- Entnahmemöglichkeiten für Kühlmittelproben.

2.1.2. Kreislaufbetrieb

Auslegungskriterien, die mit dem Kreislaufbetrieb in Beziehung

stehen, sind:

- a) Einfache Auswechselbarkeit der Brennstäbe in der Heißen Zelle des FR 2.
- b) Automatischer, mittelbar beaufsichtigter Kreislaufbetrieb.
- c) Bedienung des Kreislaufes durch das FR 2-Betriebspersonal.
- d) Fehlerfreies An- und Abfahren durch Verriegelungsschaltungen.
- e) Vermeiden einer Gefährdung durch die experimentbedingten hohen Drücke, Temperaturen und Radioaktivitäten.
- f) Die einschlägigen gesetzlichen Verordnungen über Dampfessel- und elektrische Anlagen.

2.1.3. Reaktorsicherheit und -ökonomie

Aus der Forderung nach Reaktorsicherheit und -ökonomie ergeben sich folgende Kriterien:

- a) Sicherheit des FR 2 durch Ausbildung des Reaktoreinsatzes als doppeltes Druckrohr.
- b) Abschaltung des FR 2 vor Erreichen unzulässiger Betriebszustände des Kreislaufes.
- c) Weitgehende Verwendung des 2-von-3-Systems und Verdopplung wichtiger Anlagekomponenten.
- d) Hohe Verfügbarkeit des FR 2 durch Vermeiden von Fehlabschaltungen.

2.2. Kreislaufschema

2.2.1. Heißdampfbetrieb

Nach den in den Kapiteln 2 und 3 genannten Aufgaben und Auslegungskriterien wurde das HSD-Loop konzipiert. Prinzipschaltbild /Abb. 1/.

Die Dampferzeugungsanlage besteht aus Speisepumpen, Vorwärmer, Dampferzeuger und Überhitzer. Der Heißdampf durchströmt den im FR 2-Core befindlichen Reaktoreinsatz mit dem Brennstabprüfling. Dabei werden an dem Hüllenschaden definierter Größe

Spaltprodukte in den Dampf abgegeben. Im Enthitzer wird durch Einspritzen von Wasser der Zustand des Dampfes auf 0,12 ata und 80 °C erniedrigt. Dieser Dampf wird in dem Kondensator-Entgaser geleitet, welcher aus den drei Komponenten Kondensator, Entgaser und Speicherbehälter besteht. Bei der Kondensation des Dampfes verbleibt ein Teil der Spaltedelgase in der Dampfphase. Das Kondensat kann in einem Rieselentgaser zusätzlich entgast werden und gelangt über den Speicherbehälter, die Kondensatpumpen, die Filter und die Einspritzpumpen wieder zu den Speisepumpen.

2.2.2. Siedewasserbetrieb

Durch Umgehung des Verdampfers und Überhitzers sowie Abschalten der Kühlwassereinspritzung in den Enthitzer kann der Kreislauf mit Siedewasser betrieben werden. Der Verdampfer dient dabei als Druckhalter. Bei Bedarf muß vor einem Siedewasserbetrieb ein Umbau der Anlage und out-of-pile Probetrieb erfolgen sowie das entsprechende Genehmigungsverfahren durchgeführt werden.

2.2.3. Experimentiereinbauten

In Abb. 2, Kreislaufschema, sind die Experimentiereinbauten eingezeichnet:

Reaktoreinsatz

Zur Aufnahme der Brennstabprüflinge befindet sich im FR 2 der Reaktoreinsatz P-Le.

Spaltproduktnachweis

Vom Kondensator und Entgaser P-Kd 2 oder Entgaser P-Eg 1 werden die Spaltedelgase mittels eines Restdampfstromes oder eines anderen Trägergases zum Präzipitator A-Pz 1 transportiert.

Gamma-Spektroskopie

Für gamma-spektroskopische Messungen befinden sich zwischen dem Reaktoreinsatz P-Le und dem Sumpf des Kondensatorentgasers P-Kd 2 die Aktivitätsmeßstellen P-A 1 bis P-A 4.

Probenhalter

Vor, im und nach dem Reaktoreinsatz P-Le sowie vor dem Filter P-Fi 2 befinden sich die Korrosions- bzw. Depositionsproben P-Pr 1 bis P-Pr 4.

Gasdosierung

Zur Einstellung einer oxydierenden oder reduzierenden Atmosphäre kann bei Bedarf vor den Einspritzpumpen P-Pu 5 und P-Pu 6 eine Gasdosiereinrichtung für O_2 und H_2 eingebaut werden.

2.3. Datentabelle

Allgemeine Daten

Typ	Geschlossener Prüfkreislauf mit außerhalb des Reaktors befindlicher Heizung und Kühlung (Landdampfkessel).
Aufstellungsort	FR 2 Karlsruhe
Kühlmittel	H_2O , Dampf oder Druckwasser

Reaktoreinsatz

Reaktorposition	40/12 (Nebenloop 1)
Form	Fingerhut-Einsatz
Nutzbarer Experimentierraum	
	Länge 236,4 cm
	Durchmesser, max. 3,9 cm
	Volumen $2,37 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$

Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes an der Oberfläche des HDR-Stabes bei $p = 90 \text{ atü}$, $t = 550 \text{ }^\circ\text{C}$, $Q = 100 \text{ kg/h}$

außen	11,6 m/s
innen	12,7 m/s

Neutronenfluß

im Reaktoreinsatz, Reaktorleistung 44 MW

	Thermischer Fluß	Schneller Fluß ($E > 0,1$ MeV)
	$1/\text{cm}^2 \text{ s}$	$1/\text{cm}^2 \text{ s}$
ungestört	$3 \cdot 10^{13}$	$2,5 \cdot 10^{12}$
mit HDR-Stab	$2 \cdot 10^{13}$	$5,5 \cdot 10^{12}$

Stableistung

bei einer Reaktorleistung von 44 MW und einer Brennstoffanreicherung im Prüfling von 3,15 % U235

HDR-Stab 361 W/cm (5,4 kW Gesamtleistung)

3. Beschreibung der Versuchsanlage

3.1. Kreisläufe und Systeme

3.1.1. Primärkreislauf P

3.1.1.1. Dampferzeugungsanlage

Die Dampferzeugungsanlage besteht aus Vorwärmer (P-Hz 1), Verdampfer (P-Hz 2) und Überhitzer (P-Hz 3). Vorwärmer und Verdampfer sind stehend angeordnete zylindrische Druckbehälter, die von unten nach oben durchströmt werden und je 33 l Wasser aufnehmen. Beim Verdampfer ist zusätzlich ein etwa 17 l fassender Dampfraum vorhanden, der z. T. für Niveau-Schwankungen infolge Einspeisung, Verdampfung und Dichteänderung zur Verfügung steht. Die Wasserstandsmessung erfolgt durch Differenzdruckmessung über zwei voneinander unabhängige Bartonzellen. Der Dichteunterschied des siedenden Wassers bei verschiedenen Betriebszuständen bedingt eine Abweichung der Anzeige vom tatsächlichen Wasserstand. Diese Abweichung kann durch ausreichende Größe des Verdampfervolumens toleriert werden.

Der Überhitzer besteht aus drei hintereinandergeschalteten Rohrbögen.

Alle drei Apparate werden durch je sechs auswechselbare Rohrheizkörper elektrisch beheizt. Die Leistungsaufnahme beträgt:

Vorwärmer	48 kW
Verdampfer	48 kW
Überhitzer	<u>30 kW</u>
	Σ 126 kW

Die Heizleistung reicht aus, um die Auslegedaten auch unter Berücksichtigung aller Verluste sicherzustellen.

Da sowohl die Siedetemperatur als auch die Verdampfungswärme und die Überhitzungsleistung druckabhängig sind, werden die Auslegedaten in weiten Druck-Bereichen sogar erheblich überschritten. In Abb. 3 ist die Druckabhängigkeit des Durchsatzes für die drei Apparate aufgezeichnet. Man sieht, daß bei niedrigem Druck der Verdampfer und bei hohem Druck der Vorwärmer den Massendurchsatz begrenzt. Die Grenz-Kurve ergibt den Einsatzbereich der Gesamtanlage (schraffierter Bereich), wobei berücksichtigt ist, daß bei hohen Drücken der Vorwärmer durch den Verdampfer teilweise entlastet werden kann (jedoch nicht umgekehrt). Die rechnerisch ermittelten Kurven konnten im out-of-pile-test praktisch bestätigt werden.

Der erzeugte Dampf wird dem Reaktoreinsatz (P-Le) zugeführt und übernimmt dort die Kühlung der Brennelementprüflinge und den Abtransport der Spaltprodukte.

3.1.1.2. Enthitzer P-Eh 1

Im weiteren Verlauf wird der Dampf entspannt (P-Ve 111) und im Enthitzer (P-Eh 1) durch Wassereinspritzung auf rd. 80 °C gekühlt. Der Enthitzer wirkt aufgrund seiner Konstruktion gleichzeitig als Dampftrockner. Bei einem Druck von rd. 0,12 ata wird der Dampf in leicht überhitztem Zustand dem Kondensatorentgaser (P-Kd 2) zugeführt und hier bei rd. 50 °C kondensiert.

3.1.1.3. Kondensatorentgaser P-Kd 2 /Abb. 4, 5/

Die Dampfführung im Kondensator wurde mit dem Ziel einer optimalen Ausgasung so gewählt, daß die Kondensattropfen im Gegenstrom zu dem an der tiefsten Stelle eintretenden Heißdampf auf das Kondensatsammelblech herabfallen. Dadurch wird das Kondens-

sat bis zur Ableitung aus dem Kondensator ständig auf Siedetemperatur gehalten. Vorversuche bestätigen eine annähernd 100%ige Entgasung. Eine Unterkühlung des abfließenden Kondensates konnte bei keinem Betriebszustand gemessen werden.

Die Messungen wurden mit Helium als Prüfgas ausgeführt; eine Bestätigung der Ergebnisse mit Spaltgasen, die in erheblich niedrigerer Konzentration vorliegen, kann erst der in-pile-test bringen.

Das entgaste Kondensat wird im unteren Teil des Kondensator-entgasers gespeichert. Das Speichervolumen beträgt maximal 60 l. Eine Niveaumessung im Sumpf des Kondensator-Entgasers steuert die Frischwassernachspeisung aus dem Vorratsbehälter (P-Bh 1).

3.1.1.4. Rieselentgaser P-Eg 1

In dem Rieselentgaser P-Eg 1/Abb. 6/, erfolgt die Abtrennung der Spaltdelgase auf thermischem Wege durch Erwärmung des Kondensats auf etwa Siedetemperatur. Da die Verwendung von Wasserdampf, einem Edel- oder sonstigem Gas als Trägergas für die Spaltdelgase zum Präzipitator (A-Pz 1) in einfacher Weise umgestellt werden kann und zehn dieser Entgaser sich seit sieben Jahren im Dauereinsatz an der Hüllenüberwachung des FR 2 bewährt haben, war es naheliegend, seine Arbeitsweise auch am Dampfkreislauf zu untersuchen /3, 4, 5/.

3.1.1.5. Kondensatstrecke und Reinigung

Die Kondensatpumpen (Kreiselpumpen mit Spaltrohrmotor P-Pu 3,4) saugen das Wasser aus dem Sumpf des Kondensator-Entgasers an und drücken es über die Reinigungsstrecke zu den Einspritzpumpen (P-Pu 5,6). Die Kondensatpumpen sind ein Stockwerk (d. h. rd. 3,5 m) unterhalb des Kondensator-Entgasers angeordnet. In Verbindung mit einem Kühler (P-Wt 1) wird damit der Gefahr der Kavitation im Saugstutzen der Pumpen begegnet.

Die Reinigungsanlage besteht aus einem Ionenaustauscher- Mischbettfilter (P-Fi 2) und einem nachgeschalteten mechanischen Fil-

ter (P-Fi 1), die beide im Vollstrom gefahren werden. Das Mischbettfilter besitzt eine besonders starke Abschirmung, da hier mit einer Aktivitätsaufkonzentration gerechnet wird.

Hinter den Einspritzpumpen verzweigt sich der Kühlmittelstrom in einen Teil, der als Kühlung direkt in den Enthitzer geleitet wird, und den Hauptstrom, der über die Speisepumpen (P-Pu 1, 2) in die Dampferzeugungsanlage gedrückt wird.

Die Einspritzpumpe ist vom gleichen Typ wie die Kondensatpumpe. Jede Pumpe liefert einen Differenzdruck von max. 32 m WS.

Die Speisepumpen sind als Dreifach-Membrandosierpumpen in der Lage, bis zu einem Gegendruck von 210 atü zu fördern. Über die Verstellung des Pumpenhubs kann die Förderleistung von 0 bis rd. 200 kg/h stufenlos variiert und damit das Niveau im Verdampfer geregelt werden. Die Pumpen sind mit Doppelmembran ausgerüstet. Dadurch wird beim Bruch einer Membrane sowohl der Austritt des Kreislaufmediums ins Freie, als auch der Eintritt von Hydraulik-Medium in den Kreislauf vermieden. Außerdem wird sowohl ein kreislaufseitiger als auch ein hydraulikseitiger Membranbruch durch Überwachung der Leitfähigkeit im Zwischenmedium zwischen den Membranen signalisiert und automatisch eine Umschaltung auf die Reservepumpe ausgelöst.

3.1.1.6. Sicherheitsventile

Der Hochdruck- und Niederdruckteil des Kreislaufs sowie das Tauchrohr des Reaktoreinsatzes sind durch Sicherheitsventile (P-Ve 102, 229) bzw. Berstmembranen (P-Ve 403, 130) gegen Überdruck abgesichert. Der beim Ansprechen dieser Sicherheitsorgane anfallende Dampf wird in den Abblasebehälter (P-Bh 7) geleitet und hier kondensiert.

Der Behälter ist so ausgelegt, daß selbst bei Aufnahme der maximalen Abblasemenge der Innendruck nicht über 0,3 atü ansteigt. Eine Berstmembrane, die bei rd. 0,5 atü anspricht, sichert den Behälter ab und entlastet ggf. in das Abgassystem für halogenhaltige Abgase. Technisch bedingte Leckage am Hochdruck-Sicher-

heitsventil P-Ve 102 wird in den Kondensatorentgaser zurückgegeben.

3.1.2. Abgassystem A

Das projekteigene Abgassystem dient zur Abführung nicht kondensierbarer Gase, insbesondere der Spaltgase aus dem Primärkreislauf. Es beginnt am Kondensator-Entgaser und endet mit der Einspeisung in die FR 2-Abgasanlage für aktive, halogenhaltige Gase. Die Gase werden mittels einer Vakuumpumpe (A-Vp 1) aus dem Kondensator-Entgaser abgezogen, wobei sie über den Präzipitator (A-Pz 1, Abb. 7) geleitet werden. Zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bis zum Präzipitator wird ein Trägerdampfanteil mit abgezogen, der im Hilfskondensator (A-Kd 3) niedergeschlagen wird. Die Vakuumpumpe drückt die Gase in die Edelgas-Verzögerungsstrecke, deren Aktivkohlefüllung als Halogenfilter wirkt. Hier werden die Gase solange zurückgehalten, bis sie weitgehend abgeklungen sind und über den FR 2-Kamin abgegeben werden können. Im Präzipitator werden die ionisierten Folgeprodukte Rubidium und Caesium der Spaltedelgase Krypton und Xenon auf der Kathode des Zählrohres zwecks Aktivitätsbestimmung gesammelt /5, 6/.

3.1.3. Hilfskreislauf H

Die vom Druckrohr an das Tauchrohr abgestrahlte Wärme wird im Corebereich direkt an den Moderator abgeführt. Im oberen Festdeckelbereich ist eine zusätzliche Kühlung erforderlich, da hier nur eine Heliumatmosphäre vorhanden ist. Daher wird zwischen Adapter und Tauchrohr ein D_2O -Strom (ca. 500 l/h) geleitet, der aus dem FR 2-System abgezweigt wird und direkt in den Reaktortank abfließt. Die D_2O -Hilfskühlung hat die Aufgabe, den Reaktorfestdeckel vor Überhitzung zu schützen.

Die FR 2- D_2O -Kreislaufprogramme stellen sicher, daß diese D_2O -Kühlung auch bei abgeschaltetem Reaktor in Betrieb bleibt, und somit der Versuchskreislauf unabhängig betrieben werden kann.

3.1.4. Sekundärkreislauf S

Das in den Kreislauf nachzuspeisende Wasser wird aus der Vollentsalzungs-Anlage des FR 2 abgezweigt. Der Anionengehalt dieses Wassers verbietet die direkte Einspeisung in den Kreislauf, da er zu einer unnötigen Belastung des Hauptkreislauf-Ionenaustauschers (P-Fi 2) führen würde. Daher wurde eine kreislaufeigene Frischwasserreinigung installiert, die ebenfalls aus einem Mischbett-Filter (S-Fi 3) und nachgeschaltetem mech. Filter (S-Fi 4) besteht.

Das gefilterte Wasser wird in den Vorratsbehälter P-Bh 1 gegeben und hier bis zur Einspeisung in den Kreislauf gelagert.

Vor einer Nachfüllung des Behälters wird das Filter jeweils solange gespült, bis die Leitfähigkeit hinter dem Filter unter 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ abgesunken ist.

3.1.5. Frischwasserkreislauf F

Zu Kühlzwecken wird der Versuchskreislauf an mehreren Stellen aus dem FR 2-Frischwassersystem versorgt. Dieses System wird gegen Kontamination geschützt, wenn sichergestellt ist, daß bei allen Betriebszuständen ein kühlwasserseitiger Überdruck vorhanden ist.

In allen Kühlfällen (P-Kd 2, A-Kd 3, P-Wt 1 etc.) herrscht auf der Kreislaufseite bei Normalbetrieb ein Druck von 0,12 ata bis 0,35 ata, d. h. auch bei einem Ausfall des Kühlwasserdruckes besteht ein ausreichendes Druckgefälle.

Nur in einem Störfall, in dem gleichzeitig

1. der Druck im Niederdrucksystem bis zum Ansprechdruck des Sicherheitsventils P-Ve 229 ansteigt,
2. das Schnellschlußventil P-Ve 209 versagt,
3. der Druck im Frischwassersystem unter den Ansprechdruck des Sicherheitsventils absinkt und
4. ein Leck im Bereich der Kühlrohre vorhanden ist,

könnte es zu einer Kontamination des Frischwassersystems kommen.

Da die Störung 1 als Folge der Störung 3 auftreten kann und Störung 4 u. U. längere Zeit unbemerkt anstehen kann, wurden zusätzliche Maßnahmen zur Erhaltung des Druckgefälles getroffen. Hierzu wird die Frischwasserversorgung ständig mit dem H₂O-Notkühlbehälter für Experimente verbunden. Über den sinkenden Stand in diesem Behälter wird durch entsprechende Steuerung der Ventile erreicht, daß zunächst für etwa eine halbe Stunde die Kühlung der Apparate aus dem Hochbehälter weiter betrieben wird und anschließend ein statischer Druck (2,3 atü) aufgebaut wird, der über dem Ansprechdruck des Sicherheitsventils liegt. Der Ansprechdruck des Sicherheitsventils (P-Ve 229) liegt bei rd. 2,1 atü. Damit wird bei allen Betriebs- und Störfällen auf der Versuchskreislauf- und auf der Kühlwasserseite eine Kontamination des Frischwasserkreislaufs verhindert.

3.1.6. Vakuum- und Inertgas-System V

Das Vakuumsystem hat die Aufgabe, im Spalt zwischen Druck- und Tauchrohr des Reaktoreinsatzes ein Vakuum zu erzeugen. Der Spalt kann auch mit einem Inertgas geflutet werden. Durch diese Maßnahmen kann der Verlustwärmestrom, der vom Druckrohr über das Tauchrohr in das D₂O abgeleitet wird, in weiten Grenzen beeinflusst werden. Die Steuerung dieses Verlustwärmestromes wirkt sich direkt auf den axialen Temperaturverlauf des Kühlmittels im Reaktoreinsatz aus. Dadurch ist eine Beeinflussung der Ein- und Austrittstemperaturen des Dampfes und auch der Temperatur im Bereich des Prüflings möglich.

Das System ist vom Leitstand bzw. vom Raum R 110 aus bedienbar.

Im Bereich der Vakuumleitung sind eine Berstsicherung und drei Druckschalter installiert. Die Druckschalter signalisieren einen Druckrohrdefekt und lösen in 2-von-3-Schaltung einen Reaktorschnellschluß aus (s. 6.3.1.).

3.1.7. Gasdosierung G

Um die Kühlmittelbedingungen in Kernkraftwerken auch bezüglich des Sauerstoff- und Wasserstoffgehaltes möglichst echt simulieren zu

können, ist eine Dosiervorrichtung für Gase in den Kreislauf vorgesehen. Da das direkte Einspeisen kleinster Gasmengen in eine druckführende Leitung schwierig ist, wird zur Dosierung eine Wasserstrahlpumpe in die Kondensatstrecke eingebaut, in deren Saugstutzen die zu dosierenden Gase ohne Gegendruck eingegeben werden können. Diese Dosiermöglichkeit wurde in einem Vorversuch erprobt und erwies sich selbst für kleinste Gasmengen als gut durchführbar.

Die Gasdosierung kann über ein Magnetventil vom Kreislauf abgetrennt werden. Das Ventil wird über einen Druckwächter gesteuert. Dadurch wird sowohl ein Wasserrückstau als auch eine zu starke Dosierung verhindert.

Zur Vermeidung von Knallgasreaktionen im dem Aufstellungsraum der Dosiereinrichtung (R 010) wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

1. Die im Raum bereitgestellte Wasserstoffmenge wird klein gehalten. Es ist eine 10 l-Flasche mit 200 atü Fülldruck vorgesehen, die bei Maximaldosierung für rd. 20 Tage ausreicht.
2. Faltenbalgarmaturen machen einen H_2 -Austritt unwahrscheinlich.
3. Eine Abzughaube sorgt für gute Ablüftung und verhindert eine örtliche H_2 -Anreicherung (selbst bei einem Leck von rd. 400 l/h besteht zur 4%-Zündgrenze ein Sicherheitsfaktor 10).
4. Die weitere Luftführung bis zum FR 2-Kamin bewirkt eine zunehmende Verdünnung.

3.2. Reaktoreinsatz P-Le

3.2.1. Reaktorposition und Fluß

Die gewählte Position ist 40/12 (Nebenloop 1). Diese Wahl wurde durch folgende Kriterien bestimmt:

1. Einbau auf einer Position mit möglichst hohem Fluß.
2. Möglichst gleichmäßige Verteilung starker Absorber im Reaktorkern.

3. Platzverhältnisse im Deckelzwischenraum.

Die dickwandigen Rohre des Reaktoreinsatzes und der Prüfling stellen beachtliche Absorber dar, wie die nachstehend aufgeführten Zahlerwerte für Position 40/12 zeigen:

Thermischer Fluß ungestört im Moderator	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1/\text{cm}^2\text{s}$
Thermischer Fluß (mittl. Corehöhe) im Zentrum des P-Le bei Betrieb mit Dampf ohne HDR-Stab	$3,0 \cdot 10^{13}$	$1/\text{cm}^2\text{s}$
im Brennstoff des HDR-Stabes bei Betrieb mit Dampf	$2,0 \cdot 10^{13}$	$1/\text{cm}^2\text{s}$

Die Flußwerte sind infolge der Flußdepression durch den Reaktoreinsatz unsicher und u. a. abhängig von der jeweiligen Reaktorbeladung. Deshalb soll der Fluß im Reaktoreinsatz ohne Prüfling zu Beginn des Versuchsbetriebes gemessen werden.

3.2.2. Beschreibung des Reaktoreinsatzes /Abb. 8, 9/

Der Reaktoreinsatz stellt als in-pile-Teststrecke das Kernstück der Anlage dar. Er besteht im wesentlichen aus mehreren konzentrischen, durch freie Ringspalte voneinander getrennten Rohren. Die äußere Abgrenzung zum D_2O des FR 2 hin bildet das Tauchrohr (Fingerhutrohr), das mit einem Adapter in die Position 40/12 eingebaut wird.

Das Tauchrohr umschließt das Druckrohr dessen Innenraum durch das Dampfführungsrohr in Zuführungs- und Rückführungsleitung unterteilt ist. Der Dampf strömt in dem Ringspalt zwischen Dampfführungsrohr und Druckrohr nach unten, wird am unteren Ende des Reaktoreinsatzes (unterer Reflektorbereich des Cores) umgelenkt und strömt im Innern des Dampfführungsrohres wieder nach oben. Diese Ausführung von Druck- und Tauchrohr ist durch die einseitige Zugänglichkeit der Experimentierposition bedingt.

Innerhalb des Dampfführungsrohres können Brennstoff- und Korrosionsproben bei variablen Kühlmittelzuständen der Reaktorstrahlung ausgesetzt werden.

Neben der Prüflingsleistung muß das Kühlmittel einen Teil der durch γ - und n-Prozesse im Druckrohr und in den Einbauten entstehenden Wärmeleistung abführen.

Der Spalt zwischen Druck- und Tauchrohr kann je nach Betriebszustand evakuiert oder mit einem Inertgas gefüllt werden (s. 3.1.6.)

Der Spalt zwischen Tauchrohr und Adapter wird zur Kühlung mit D_2O durchströmt, das dem FR 2-Primärkreislauf entnommen und anschließend in den Reaktortank gegeben wird (s. 3.1.3.).

Zur Abschirmung der Reaktorstrahlung gegen den Deckelumgang befinden sich in dem Reaktoreinsatz im Festdeckelbereich Abschirmhülsen und-zigarren. Zur Aufhängung der Proben und Prüflinge dient ein Probenhalter, der gleichzeitig als innere Abschirmung ausgeführt ist. Er besteht aus einer zusammengesetzten Stange mit exzentrischen Bohrungen, in der das Kühlmittel nach oben strömt.

Dieser Probenhalter samt Proben kann mit der Brennelementwechselflasche gezogen werden. Zum Ein- und Ausbau des gesamten Reaktoreinsatzes dient der Loop-Abschirmbehälter.

Die Konstruktion des Reaktoreinsatzes wurde bestimmt durch die Anforderungen nach 2.1. und durch die Gegebenheiten am Reaktor:

- Einbaumöglichkeit des Einsatzes in eine TA-Stab-Position
- Auswechselbarkeit durch Loopabschirmbehälter bzw. BE-Wechselflasche
- Auswechselbarkeit benachbarter Brennelemente ohne Ausbau des Einsatzes
- Ausreichende Abschirmung der Reaktorstrahlung zum Deckelzwischenraum hin
- Sicherheit gegen Festfressen der Einzelteile untereinander
- Ausreichender Spielraum zur Aufnahme von Wärmedehnungen bei allen Betriebs- und Störfällen
- Möglichst großer Raum zur Unterbringung von Prüflingen verschiedener Geometrien.

Die Realisierung des durch die Anforderung und Randbedingungen gegebenen Konzeptes führte zu der in Abb. 9 dargestellten Konstruktion. Das Druckrohr ist nach den geltenden Dampfkesselbestimmungen /7/ mit einem Sicherheitsfaktor 1,5 gegen die Warmstreckgrenze (0,2 %-Dehngrenze bei 550 °C) ausgelegt und mit dem 1,7-fachen Betriebsdruck bei Raumtemperatur abgedrückt (325 atü). Mit Rücksicht auf die Veränderung der Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes infolge Neutronenbestrahlung wird die Einsatzzeit des Druckrohres begrenzt. Durch eigene Versuche an bestrahlten Proben vom gleichen Werkstoff werden die der Berechnung zu Grunde gelegten Daten überprüft.

Das Tauchrohr wurde als zweites Druckrohr ausgelegt, wobei als Festigkeitskriterium eine 1,5-fache Sicherheit gegen die 1 %-Dehngrenze bei vollem Kreislaufdruck angesetzt wurde. Die geringere Wandstärke gegenüber dem Druckrohr erklärt sich aus der besseren Ausnutzung der Materialkennwerte und aus der niedrigeren Auslegungstemperatur, die wegen der direkten D₂O-Kühlung des Tauchrohres den Wert von 150 °C nicht übersteigen kann.

Der Teil des Reaktoreinsatzes, der sich oberhalb des Reaktorfestdeckels befindet, ist mit einer hochwertigen demontierbaren Wärmeisolation (MIN-K flexibel) umgeben, die folgende Aufgaben erfüllt:

- Reduzierung der Wärmeverluste
- Schutz der Umgebung vor Übertemperatur
- Reduzierung der Wärmespannungen im Flanschbereich

Die Isolation besteht aus zwei Teilen. Der äußere Teil muß zum Auswechseln benachbarter Brennelemente demontiert werden.

3.2.3. Wärmeübergangsverhältnisse und Temperaturverteilung im Reaktoreinsatz

Die thermodynamische Auslegung des Reaktoreinsatzes erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

1. Kühlung des Prüflings

2. Möglichst hohe Dampftemperatur an den Korrosionsproben
3. Begrenzung der Druckrohrtemperatur auf die Auslegungstemperatur von 550 °C
4. Untere Begrenzung der Dampftemperatur im Bereich des Reaktoreinsatzes auf die Sättigungstemperatur.

Im Kernbereich steht einem kleinen Dampfstrom, d. h. einer kleinen Wärmekapazität, eine große Wärmequelle infolge nuklearer Aufheizung gegenüber.

Die axiale Verteilung der Wärmeleistungsdichten für die einzelnen Rohre ist berechnet worden. Die mittlere Wärmeleistungsdichte und die Gesamtwärmeleistung betragen:

	Wärmeleistungsdichte mW/g	Gesamt-Wärmeleistung kW
Tauchrohr	420	13,4
Druckrohr	340	7,4
Kühlmittelführungsrohr	210	0,8

Die Druckrohrwärme wird zum Teil an den Dampf abgegeben, die Tauchrohrwärme geht an den Moderator des Reaktors über. Dabei ist die Heizflächenbelastung am Tauchrohr so niedrig, daß es nicht zu einem Oberflächensieden kommt.

Aufgrund der ständigen Aufheizung des abwärts strömenden Dampfes erreicht das Druckrohr bei allen Betriebszuständen im Fußteil seine Maximaltemperatur (Temperaturmeßstellen P-T 16/29/30/34).

Im Bereich des Festdeckels entfällt die γ -Heizung. Die Wärmeverluste des Dampfes in Höhe von rd. 2 kW in diesem Bereich werden durch die D₂O-Hilfskühlung abgeführt.

3.2.4. Prüflingsdaten (HDR-Stab), Abb. 12

Hohlzylinder

Außendurchmesser	18,8 mm
Innendurchmesser	8,0 mm

Wandstärke der Hüllen

außen	0,4 mm
innen	0,4 mm

Hüllenmaterial

außen	W. Nr. 1.4981
innen	Inconel 625

Brennstoff	UO ₂ einvibriert	UO ₂ -Ringtabletten
Anreicherung	3,15 % U235	2,6 % U235
Dichte	85 % theor.	

Die Abstimmung der Forderungen an die Kühlung des HDR-Stabes führte zu einer Begrenzung der Länge auf 15 cm.

Mit den in Abschnitt 3.2.1. gegebenen Flußwerten ergibt sich eine Stableistung von 361 W/cm.

Die Einhaltung der Betriebsbedingungen des HDR-Reaktors, bei dem der hohlzylindrische Brennstab außen mit Siedewasser und innen mit Heißdampf gekühlt wird, ist im Reaktoreinsatz nicht möglich. Der Brennstab des Einsatzes wird sowohl innen wie außen in gleicher Richtung und vom gleichen Medium umströmt. Dabei sind die Eintritts- und Austrittstemperaturen für den inneren und äußeren Kühlmittelstrom etwa gleich. Hierdurch sollen innen und außen gleiche Hüllentemperaturen erreicht werden.

Unter diesen Randbedingungen ergeben sich für den Prüfling mit einvibriertem Brennstoff bei einem Dampfdurchfluß von 100 kg/h, einem Dampfdruck von 90 atü und bei Neon-geflutetem Spalt zwischen Druckrohr und Tauchrohr folgende Werte:

	außen	innen
max. Hüllentemperatur	650 °C	650 °C
Dampfeintrittstemperatur	430 °C	430 °C
Dampfaustrittstemperatur	500 °C	500 °C
Wärmeleistung	252 W/cm	109 W/cm
Heizflächenbelastung	43 W/cm ²	43 W/cm ²
spez. Leistung		132 W/cm ³
max. Brennstofftemperatur		1000 °C

3.3. Instrumentierung

Die Meß-, Regelungs- und Steuerungstechnik liefert die Voraussetzungen durch die der Kreislauf in vorgegebenen Grenzen und unter mittelbarer Überwachung betrieben werden kann. Den schematischen Aufbau zeigt Abb. 2.

Die Bedienung des Kreislaufes erfolgt an einem Leitstand Abb. 13. Er enthält auf der Vorderseite ein Fließschema, in das die Bedienungsorgane, Signallampen und Anzeiger übersichtlich eingeordnet sind. In ihm ist der größere Teil der Baugruppen der Meß-, Regel- und Steuerungstechnik sowie der Energieversorgung untergebracht.

Für die Messung von Temperaturen $> 50^{\circ}\text{C}$ werden auf 20°C kompensierte Ni-Cr/Ni-Mantel-Thermoelemente verwendet. Alle haben vom Mantel isolierte Doppelmeßeinsätze, wovon ein Einsatz der Reservehaltung dient. Die Temperaturmeßverstärker sind mit einer Thermoelementbruchsicherung ausgestattet. Der Niedertemperaturbereich wird größtenteils über Widerstandsthermometer mit Pt 100 gemessen.

Die Druckmessungen erfolgen je nach Einsatz über barometrisch nicht kompensierte Rohrfeder- und Plattenfedermanometer sowie über Druckschalter. Wichtige Differenzdruckmessungen werden über Bartonzellen vorgenommen.

Die Grenzwert erfassung erfolgt entweder durch induktive Abtastung oder durch Signalschalter mit Sprungcharakteristik, die eine Funktionsprüfung gestatten. Außerdem ergibt sich für den überwiegenden Teil der Grenzwerte während des An- und Abfahrens des Kreislaufes eine zwangsläufige Kontrolle. Weiterhin sind über Feuchtefühler Leckkontrollen vorgesehen.

Eine Besonderheit stellt die Ausführung der Steuerungstechnik dar. Ein in Siliziumtechnik ausgeführtes kontaktloses System kam wegen seiner Zuverlässigkeit und Flexibilität zur Anwendung /8/.

Für die technologische Ausführung wurden Spezifikationen und

Lieferbedingungen zugrunde gelegt, die sich bei anderen Versuchsanlagen bewährt haben.

Technische Details über die verwendeten Geräte sind aus dem Verzeichnis der Meß- und Regelgeräte sowie Meßstellen zum Projekt FR 2/55 ersichtlich. Es kamen ausschließlich industrielle Seriengeräte zur Verwendung.

Durch Reservehaltung können defekte Geräte in kurzer Zeit ausgetauscht werden. Die hier beschriebene Technik wurde mehrwöchig erprobt.

3.3.1. Meßtechnik

Im Folgenden werden die wichtigsten Messungen, die für den Betrieb des Kreislaufes von Bedeutung sind, ausgehend vom Kondensator-Entgaser (P-Kd 2) beschrieben.

Die Höhenstandsmessung (P-H 3) überwacht ein Mindestreservoir an Speisewasser, um einen Trockenlauf der nachfolgenden Kondensatpumpen (P-Pu 3, P-Pu 4) zu verhindern. Die Druckmessung (P-P 8) erfaßt den Pumpenausgangsdruck, die Temperaturmessung (P-T 11) meldet - zum Schutze der Kondensatpumpen - zu hohe Temperaturen. Eine anschließende Durchsatzmessung (P-Q 6) nach dem Schwebekörperprinzip dient vor allem - unter Berücksichtigung des nach dem gleichen Prinzip gemessenen Einspritzwasserdurchflusses (P-Q 2) - zur Aufstellung einer Durchsatzbilanz mit der Dampf- bzw. Heißwasserdurchsatzmessung (P-Q 1).

Die nachfolgende Differenzdruckmessung (P-P 9) überwacht umschaltbar die beiden Filter (P-Fi 1 oder P-Fi 2); die Leitfähigkeitsmessung (P-L 1) kontrolliert die Qualität des Speisewassers. Die Druckmessung (P-P 11) und die Temperaturmessung (P-T 14) haben an den Einspritzpumpen (P-Pu 5, P-Pu 6) die gleichen Funktionen wie zuvor an den Kondensatpumpen beschrieben.

Die Speisepumpen (P-Pu 1, P-Pu 2) werden hinsichtlich Drehzahl (P-R 1, P-R 2), Ausgangsdruck (P-P 1, P-P 2) und Membranbruch (P-L 2, P-L 3) überwacht.

Die Temperaturmeßstellen P-T 1/P-T 2 können wahlweise auf den Vorwärmerausgang (P-Hz 1) oder Verdampfer (P-Hz 2) geschaltet werden. Die Vorwärmerausgangstemperatur wird permanent auf einem 12-fach-Punktendrucker (Pos. 1) registriert.

Wichtig ist die Differenztemperaturmessung (P-T 1.12.) zwischen Verdampfer und Vorwärmer; sie wird ebenfalls registriert (Pos. 10) und überwacht einen Mindesttemperaturabstand des Vorwärmers vom Verdampfer.

Zwei voneinander unabhängige Höhenstandsmessungen (P-H 1 und P-H 4) überwachen mittels Bartonzellen den Verdampfer hinsichtlich Überflutung bzw. Trockenstehen der Heizstäbe. Der Verdampferdruck wird durch ein Manometer (P-P 3) erfaßt, während ein Druckschalter (P-P 50) den durch die Leckage des Sicherheitsventils (P-Ve 102) verursachten Druckaufbau kontrolliert und die Temperaturmessung (P-T 40) das Bersten der Membrane (P-Ve 130) durch Ansprechen des Sicherheitsventils meldet.

Am Überhitzerausgang wird mittels P-T 4 die Heißdampf-temperatur und durch den Meßumformer P-P 5 nochmals der Dampfdruck gemessen. Beide Meßgrößen werden registriert (Pos. 2, Pos. 3). Über den Reaktoreinsatz (P-Le) werden anwählbar die Temperaturdifferenzen (P-T 5, P-T 25, P-T 26) gemessen und registriert (Pos. 11). Ebenfalls anwählbar werden die Ausgangstemperaturen (P-T 6, P-T 31, P-T 32) des Reaktoreinsatzes erfaßt.

Das Isolationsvakuum zwischen Druck- und Tauchrohr des Reaktoreinsatzes wird über ein Pirani-Vakuummeter (V-P 15) gemessen. Bei einem Druckaufbau sprechen drei voneinander unabhängige einstellbare Druckschalter an (V-P 16, V-P 21 und V-P 22).

Die Temperatur am Druckrohr des Reaktoreinsatzes wird über die Meßstellen P-T 16, P-T 29, P-T 30 und P-T 34 4-fach gemessen, wobei die drei letztgenannten Temperaturmeßstellen vom Reaktorsicherheitssystem direkt verarbeitet werden.

Der D_2O -Durchsatz wird über einen Schwebekörper-Durchsatzmesser (H-Q 3) erfaßt. Die D_2O -Temperatur ist 3-fach über die Meß-

stellen H-T 13, H-T 27 und H-T 28 wahlweise kontrollierbar.

Die Dampfdurchsatzmessung bedingt einen großen meßtechnischen Aufwand. Nach einer einfach vorhandenen Meßstrecke mit Viertelkreisdüse wird der anfallende Wirkdruck 3-fach über Bartonzellen unabhängig zur Anzeige gebracht. Dabei sind die Anzeigen P-Q 1, P-Q 10 und P-Q 11 über drei spezielle Analogrechner hinsichtlich Dampfdruck und Dampftemperatur einer Korrektur unterzogen, so daß nach vorhandenen Fehlerkurven die Fehlergrenzen je nach Dampfzustand zwischen + 0,8 % und - 5 % des rechnerischen Solldurchsatzes liegen.

Mit den Meßstellen P-P 6, P-P 23 und P-P 24 wird der Druck nach dem Reaktoreinsatz überwacht.

Das Entspannen und die Einspritzkühlung des Hochdruckheidampfes werden nach dem Enthitzer (P-Eh 1) durch den Absolutdruckmesser (P-P 7) und durch die Temperaturmessung (P-T 8) kontrolliert. Der für das Vakuum nach dem Enthitzer verantwortliche Kondensator-Entgaser (P-Kd 2) wird über den Frischwasserdurchsatz (F-Q 9) und durch das Vakuummeter (A-P 10) kontrolliert.

Die für ein redundantes Sicherheitssystem erforderliche Meßtechnik einschließlich ihrer Verarbeitung wird in Abschnitt 6.3. behandelt. Zur mittelbaren Beaufsichtigung der Dampfkesselanlage werden die Messungen P-P 5 und P-T 4 parallel in der Reaktorwarnte angezeigt.

3.3.2. Regelungstechnik

Die Regelungstechnik hat die Aufgabe, einen durch Sollwerte vorgegebenen Betriebszustand trotz Störeinflüsse konstant zu halten. Hierzu sind für den Kreislauf sieben Regelkreise vorhanden:

a) Regelgröße Differenztemperatur (P-T 1.13.) Verdampfer-Vorwärmer

Die Regelung dieser Temperatur gibt die Möglichkeit, den Vorwärmer z. B. 15 °C unter der Siedetemperatur des Verdampfers zu halten. Als Regler wird ein kontinuierlicher PID-Regler verwendet, der über ein Thyristorstellglied zwei parallelge-

schaltete Vorwärmerheizstäbe ansteuert. Die vier restlichen Grundheizstäbe werden automatisch je nach Leistungsbedarf durch ein elektronisches Schieberegister zu- oder abgeschaltet.

b) Regelgröße Dampfdruck P-P 5

Die Heizleistung im Verdampfer dient als Stellgröße. Der Aufbau und die Technik dieses Regelkreises gleicht a).

c) Regelgröße Verdampferhöhenstand P-H 1

Diese Regelung ist erforderlich für die Konstanthaltung des Verdampferniveaus. Als Regler dient ein impulsweitenmodulierter PID-Regler, dessen Ausgang auf die Hubverstellung der jeweils laufenden Speisepumpe (P-Pu 1 oder P-Pu 2) arbeitet. Stellgröße ist damit der Speisewasserzufluß.

d) Regelgröße Überhitzer Ausgangstemperatur P-T 3

Die Heißdampf Temperatur wird regelungstechnisch wie in a) oder b) geregelt. Aus thermodynamischen Gründen werden alle sechs Heizstäbe des Überhitzers gleichzeitig parallel an zwei parallel arbeitende Thyristorstellglieder geschaltet. Stellgröße ist wieder die Heizleistung.

e) Regelgröße Enthitzer Ausgangstemperatur P-T 8

Geregelt wird die Dampftemperatur am Enthitzer Ausgang (Unterdruckbereich). Ein PID-Regler mit kontinuierlichem Ausgang verstellt über einen elektropneumatischen Umformer das Einspritzwasserregelventil (P-Ve 112). Stellgröße ist somit der Einspritzwasserdurchsatz.

f) Regelgröße Temperatur A-T 20 im Kondensator-Entgaser

Über diese Regelgröße wird gleichzeitig der Unterdruck im Kondensator-Entgaser-System erfaßt. Ein im Ausgang impulsweitenmodulierter PID-Regler verstellt das elektromotorische Frischwasserregelventil F-Ve 228. Stellgröße ist der Frischwasserdurchsatz.

g) Regelgröße Sekundärdampf abfluß A-Q 8 im Kondensator-Entgaser

Dieser nur für den Experimentator wichtige Regelkreis regelt

eine durch Sollwert vorgegebene geringe Teilverdampfung des Kondensats.

3.3.3. Steuerungstechnik

Die Steuerungstechnik, im folgenden mit Logik-Sicherheits-schaltung bezeichnet, übernimmt am Kreislauf folgende Aufgaben:

- a) Durch ein sinnvoll aufgebautes Verriegelungssystem schützt sie den Kreislauf.
- b) Durch die Schlüsselschalterfunktionen "Automatik" für die wichtigsten Kreislaufkomponenten kann der Kreislauf mittelbar beaufsichtigt gefahren werden.

Ein Eingreifen von Hand ist ausgeschlossen.

Voraussetzung dafür ist jedoch, daß der für das Anfahren der Anlage erforderliche Anfahrtschalter nicht mehr auf "Anfahren" steht.

Der Anfahrtschalter hat folgende Funktionen:

- 1.) Überbrückung der oberen Grenzwerte des Höhenstandes P-H 1 und P-H 4, die während des Betriebes die Heizungen abschalten.
- 2.) Überbrückung der 2-von-3-Meldungen, die während des Betriebes ebenfalls die Heizungen abschalten.
- 3.) Überbrückung des unteren Grenzwertes des Dampfdruckes P-P 5, der die Pumpen abschaltet. Ferner wird beim "Anfahren" eine Pumpenumschaltung verhindert.

Ist ein Eingreifen von Hand ausnahmsweise erwünscht, so steht dafür die Schlüsselschalterfunktion "Hand" zur Verfügung.

- c) Auftretende Grenzwerte werden nach dem FR 2-Schema signalisiert. Resultieren diese aus maschinellen Störungen, so wird eine "Folgeoperation" eingeleitet, durch welche Reserve-Kreislaufkomponenten eingeschaltet werden. In vielen Fällen kann dadurch der Kreislaufbetrieb aufrecht erhalten werden.
- d) Sind die Regelkreise durch unvorhersehbare größere Störeinflüsse überfordert oder tritt ein technisches Versagen der Regelungstechnik ein, so werden die wichtigsten Meßgrößen des

Kreislaufes unabhängig durch die Logiksicherheitsschaltung überwacht und notfalls die gefährdeten Kreislaufkomponenten abgeschaltet. Die Überwachung des Kreislaufes ist damit redundant.

- e) Not-Aus-Tasten am Leitstand und in der Reaktorwarte ermöglichen eine Schnellabschaltung des Kreislaufes.

Ein Störmeldungsverzeichnis im Anhang dieses Berichtes gibt eine Übersicht über die wichtigsten Meldungen und entsprechende Maßnahmen bei Betriebsstörungen. Ein Teil der dort angeführten Grenzwerte wird den jeweils geforderten Versuchsbedingungen angepaßt.

3.4. Experimentiereinrichtungen

3.4.1. Hüllenüberwachung

Die Experimentierstrecke für den Nachweis von Spaltprodukten beginnt vor dem Eintritt des überhitzten Dampfes in den Entwärmer (P-Eh 1) und endet am Eintritt des Kondensats in den Speicher des Kondensator-Entgasers (P-Kd 2) bzw. bei Eintritt des entspannten Dampfes in den Kondensator (A-Kd 3).

a) Präzipitation

Bei der Präzipitation werden gasförmige Spaltprodukte mit Hilfe eines Transportmediums in den unter 3.1.2. beschriebenen Präzipitator (A-Pz 1) geleitet und ihre festen Folgeprodukte auf der Außenelektrode eines Miniaturzählrohres gesammelt. Die Aktivität des Präzipitates wird gemessen /5, 6/.

Als Transportmedium kann benutzt werden:

- Primärdampf, d. h. ein Restdampfanteil des in den Kondensator des Kondensator-Entgasers (P-Kd 2) gelangenden Dampfes wird zum Präzipitator (A-Pz 1) geführt,
- Sekundärdampf, d. h. bei der Entgasung im Entgaser des Kondensator-Entgasers (P-Kd 2) oder im Entgaser (P-Eg 1) entstehender Dampf wird zum Präzipitator geführt,

- ein Inertgas, mit dem der Entgaser (P-Eg 1) betrieben wird.

b) Verzögerte Neutronen

Es wird die Eigenschaft verschiedener Spaltprodukte, besonders der Isotope Br 87 und J 137, ausgenutzt, bei ihrem Zerfall Neutronen auszusenden. Das mit Spaltprodukten vermischte Transportmedium strömt durch einen Monitor in dem die verzögerten Neutronen moderiert und mit Zählrohren nachgewiesen werden. Nach dieser Methode wird im Heißdampfteil vor dem Enthitzer (P-Eh 1) gemessen.

c) Gammaskopie

Mittels Gammaskopie wird die qualitative und quantitative Spaltproduktzusammensetzung gemessen, sowie die Verteilung der Spaltprodukte auf die Dampf- und Kondensatphase.

Folgende Medien werden spektroskopisch untersucht:

- Dampf vor dem Enthitzer (P-Eh 1)
- Dampf nach dem Enthitzer (P-Eh 1)
- Primärdampf vor Eintritt in den Präzipitator
- Kondensat vor der Entgasung
- Sekundärdampf oder Inertgas vor Eintritt in den Präzipitator
- Kondensat nach der Entgasung.

3.4.2. Chemiebox

a) Beschreibung der Box

In der Chemiebox werden sechs Probennahmeleitungen zusammengeführt. Die Entnahme erfolgt bei niedrigen Drücken und Temperaturen (max. 5 atü und 50 °C) in Kondensatform.

Durch Ventilkombinationen ist die Möglichkeit gegeben, vor dem Abziehen der Probe die Entnahmeleitungen zu spülen und das Spülmedium dem Hauptkreis wieder zuzuführen. Die entnommenen Mengen werden klein gehalten und sollen i. a. 1 bis 2 kg/d nicht übersteigen.

b) Sicherheit

Zur Abtrennung der Box vom Hauptkreis dienen Faltenbalgabsperrrarmaturen, die wegen der niedrigen Drücke nur einfach angeordnet sind. In Bereichen, in denen im Hauptkreis Unterdruck herrscht, sind zusätzlich Rückschlagventile installiert, um bei Fehlbedienungen in der Box den Lufteintritt in den Hauptkreis zu vermeiden. Die Box wird über ein Halo-Genfilter (s. 3.5.4.) belüftet und kann zur geschlossenen Glove-Box umgebaut werden.

3.4.3. Materialprobeneinsätze

a) Beschreibung

Zu Ablagerungs- und Korrosionsuntersuchungen sind an verschiedenen Stellen des Kreislaufs Einrichtungen geschaffen, die das Einbringen von Korrosions- und Depositionsproben in den Kühlmittelstrom ermöglichen. Im einzelnen sind dies:

P-Pr 1: Depositions- und Korrosionsprobenhalter im Zulauf zum Reaktoreinsatz.

P-Pr 2: Depositions- und Korrosionsprobenhalter im Rücklauf vom Reaktoreinsatz.

P-Pr 3: Depositions- und Korrosionsprobenhalter in der Kondensatstrecke vor dem Hauptkreislauffilter.

Reaktoreinsatz: Korrosionsproben im Dampfstrom hinter dem Prüfling innerhalb des Core-Bereichs.

Zunächst ist der Einsatz von Korrosionsproben in P-Pr 1, P-Pr 2 und im Reaktoreinsatz, der Einsatz von Depositionsproben nur in P-Pr 2 vorgesehen.

Die Proben können grundsätzlich nur bei abgeschalteter, druckloser Anlage gewechselt werden. Proben aus dem Reaktoreinsatz werden mit der BE-Wechselflasche in die Heiße Zelle des FR 2 transportiert und hier in Transportbehälter verpackt. Die weitere Verarbeitung erfolgt in der metallographischen Zelle im Lagerbau des FR 2. Die Einsätze aus P-Pr 1 und P-Pr 2 werden in R 110 manuell aus den Haltern gezogen, wozu spezielle Werkzeuge und Aufnahmebehälter benutzt werden.

b) Sicherheit

Vor dem Wechseln der Proben wird der Kreislauf abgekühlt und ein Unterdruck im System eingestellt. Die eintretende Luft wird über die Abgasanlage aus dem Kreislauf gefördert. Durch die gegenströmende Luft wird eine Kontamination der Umgebung verhindert.

3.4.4. Jodprobensammler

Wie in 3.1.2. erwähnt, kann der Abgasstrecke ein auswechselbares Jodfilter vorgeschaltet werden. Dieser Jodprobensammler dient folgenden experimentellen Zwecken:

- Messung der anfallenden Jodmenge bei verschiedenen Betriebsbedingungen.
- Erprobung von Testmaterialien zur optimalen Halogenfilterung.

Hierzu wird eine Experimentierbox erstellt, in der bei laufender Anlage die Jodprobensammler ausgewechselt werden können, so daß auch Kurzzeitversuche möglich sind.

Die Box ist als Glove-Box ausgebildet und wird ebenfalls an die Halogenfilteranlage angeschlossen (s. 3.5.5.). Damit wird ein Unterdruck von rd. 300 mm WS aufrecht erhalten, wodurch bei Filterwechsel Kontamination verhindert wird.

Die dem Jodprobensammler nachgeschaltete Edelgasverzögerungsstrecke kann als Teststrecke dienen, an der die Kenntnisse auf dem Gebiet der Edelgasrückhaltung erweitert werden sollen. Besondere Experimentiereinrichtungen sind hierfür zunächst nicht vorgesehen.

3.5. Versorgungseinrichtungen

3.5.1. Elektrische Energie

Die Versorgung unkritischer Verbraucher im Hinblick auf Netzausfall wie Heizungen und Speisepumpen erfolgt aus der E-Zentrale 1 a. Diese Verbraucher sind bei Netzausfall spannungslos.

Die Instrumentierung, das Sicherheitssystem sowie die Kondensat- und Einspritzpumpen werden ständig aus Notschiene I versorgt. Diese Versorgung wird bei Netzausfall nicht unterbrochen.

3.5.2. Wasser

Die Versorgung mit Frischwasser bzw. mit Wasser aus der Entsalzungsanlage des FR 2 wird in den Kapiteln 3.1.5. und 3.1.4., die D₂O-Hilfskühlung in 3.1.3. behandelt. Zusätzlich sind folgende Abwasserprobleme zu behandeln:

a) Füllung und Entleerung des Abblasebehälters (P-Bh 7)

Die Zuspeisung erfolgt aus der FR 2-Entsalzungsanlage. Eine Kontamination des FR 2-Sekundärsystems wird durch Doppelarmaturen mit Zwischenablauf verhindert.

Zur Entleerung des Behälters wird das möglicherweise aktivierte Wasser nach ausreichender Abklingzeit in Transportbehälter abgelassen, die dann an die Dekontaminationsbetriebe weitergegeben werden.

Eine Entleerung des Behälters erfolgt bei Bedarf.

b) Kondensator-Entleerung

Das Abwasser aus A-Kd 3, dessen Aktivität sehr hoch sein kann, wird entsprechend dem geringen Anfall von ca. 1 l/d in einem Spezialbehälter gesammelt und abtransportiert.

c) Entleerung des Hauptkreislaufes

Soll der Hauptkreislauf ganz oder teilweise entleert werden, so wird zunächst das Kondensat über die Reinigungsstrecke umpumpt und dabei (z. B. von aktivierten Korrosionsprodukten) weitgehend gereinigt. Gleichzeitig wird es im Kondensatorentgaser entgast. Das so behandelte Wasser kann dann in Lagerbehälter abgelassen und von dort ggf. in Transportbehälter abgefüllt werden.

3.5.3. Druckluft

Zu Steuerungszwecken wird an verschiedenen Stellen des Kreislaufs Druckluft benötigt. Die Versorgung erfolgt aus dem Sicherheitskreis des FR 2-Druckluftsystems.

3.5.4. Belüftung

Die frei begehbaren Experimentierräume R 110, R 110a und R 010 werden an der normalen Raumbelüftung belassen.

Das Second Containment (R 110b) wird separat über die 8000 m³/h-Anlage des FR 2 zur Aufrechterhaltung eines Unterdruckes gegenüber den Experimentierräumen belüftet.

In dieses System mündet auch die Überdrucksicherung des Second-Containments ein. Zur Wärmeabfuhr aus dem Raum R 110b dient ein wassergekühlter Raumluftkühler (L-Wt 2).

Jodproben und Chemiebox werden ebenfalls an das 8000 m³/h-Abgas-system des FR 2 angeschlossen, wobei jedoch eine eigene für 1500 m³/h ausgelegte Halogenfilter-Gebälse-Kombination zwischengeschaltet wird. Diese Maßnahme ist erforderlich, da beim Arbeiten in den Boxen halogenhaltige Gase anfallen können. Die Verwendung der 1000 m³/h-Anlage des FR 2 hierfür ist aus Kapazitätsgründen nicht möglich.

An folgenden Stellen ist der Kreislauf an die 1000 m³/h-Anlage für halogenhaltige Abgase angeschlossen:

- a) Austritt der Edelgas-Verzögerungsstrecke (A-Bh 10)
- b) Absicherung des Abblasebehälters (P-Bh 7)
- c) Zwischenabsaugung an den Stopfbuchsen der Hochdruckventile
- d) Transportbehälter (P-Bh 13)
- e) Schnellentleerungsventil (A-Ve 310).

3.6. Räumliche Anordnung

Die räumliche Anordnung ist aus Abb. 10 zu ersehen.

Die Rohrleitungen, die den Reaktoreinsatz mit dem Kreislauf-Aufstellungsraum verbinden, sind über den süd-westlichen Looprückführungsschacht, Räume R 111 und R 110, geführt.

Im Deckelungang ist wegen der räumlichen Enge nur der Vakuumpumpstand (V-Vp 3) in eine Nische eingebaut.

Im Raum 110b sind die hochdruckführenden Komponenten zusammen-

gefaßt. Die Experimentiereinrichtungen befinden sich in R 110 und R 110a. Ein Stockwerk tiefer in R 010 sind die Pumpen, die Reinigungsanlage und die Chemiebox untergebracht.

Der Leitstand sowie die Niederspannungs-Schaltanlagen wurden von den Kreislaufräumen getrennt im Raum R 113 aufgestellt. Dadurch ist das Bedienungspersonal bei Störungen in den Experimentierräumen geschützt und ein gezieltes Abfahren der Anlage möglich.

4. Betrieb der Versuchsanlage mit Prüfling

Der Betrieb des Kreislaufs wird im Betriebshandbuch (BHB) ausführlich behandelt. Die folgende Beschreibung soll die prinzipiellen Probleme und Zusammenhänge bei den einzelnen Betriebsphasen aufzeigen. In diesem Kapitel wurden die Betriebserfahrungen aus dem out-of-pile-test verwertet.

4.1. Anfahren

Vor dem Anfahren der Anlage müssen folgende wesentlichen Voraussetzungen erfüllt sein:

- a) Prüflings-Probenhalter und die innere Abschirmung sind eingebaut und der Versuchseinsatz verschlossen.
- b) Dichtheitsprüfung an der Deckeldichtung des Reaktoreinsatzes (P-Le).
- c) Leistung des Reaktors $< 10^{-3} \varnothing_N$.

Das Anfahren ist der Betriebszustand, der die höchsten Anforderungen an das Betriebspersonal stellt. Deswegen wurden Anfahrverriegelungen installiert, die Fehlschaltungen bzw. unsachgemäßes Anfahren verhindern.

Vor dem Anfahren nach längerer Stillstandszeit ist eine Reihe von Vorbereitungen durchzuführen:

- a) Füllen der Anlage mit vorgereinigtem Wasser bzw. Überprüfen der Wasserstände.

- b) Überprüfen sämtlicher Ventile anhand des BHB und Kontrolle der Stellungsrückmeldung im Blindschaltbild (Evakuierstellung).
- c) Überprüfen der Grenzwerteinstellungen anhand des BHB.
- d) Evakuieren der Anlage bis auf den Dampfdruck des Wassers im Kondensator P-Kd 3.
- e) Evakuieren des Vakuumpaltes im Reaktoreinsatz oder ggf. Inertgasflutung.

Das Anfahren beginnt mit dem Öffnen der Kühlwasserventile an P-Kd 2, A-Kd 3 und P-Wt 1. Die Heizung A-Hz 4 wird eingeschaltet und damit die Abgasstrecke zwischen P-Kd 2 und A-Kd 3 auf ein Temperaturniveau oberhalb der Kondensattemperatur angehoben. Danach werden die Kreislaufventile nach BHB in Anfahrstellung gebracht und die Kondensatpumpe so lange eingeschaltet, bis das Normal-Niveau im Verdampfer überschritten ist. Dann wird die Verdampferheizung eingeschaltet und stufenweise verstärkt. Bei richtiger Einstellung des Ventils P-Ve 111 sinkt der Wasserstand im Verdampfer ab, während sich im System langsam ein Druck aufbaut. Ist das Normal-Niveau im Verdampfer erreicht, können die Pumpen in Betrieb genommen werden. Die eingeschaltete Wasserstandsregelung hält jetzt das Niveau konstant.

Mit dem Drosselventil P-Ve 111 wird der Dampfdurchsatz stufenweise gesteigert. Dadurch wird die Strecke bis zum Enthitzer auf die Sattedampftemperatur angewärmt.

Durch Überschreitung der uGW der Durchflußmeßstellen P-Q 1, P-Q 10 und P-Q 11 wird die Anfahrverriegelung des Überhitzers und des Vorwärmers aufgehoben. Der Überhitzer kann nun auf die gewünschte Temperatur eingestellt werden. Die Temperaturregelung hält weiterhin diese Temperatur unabhängig vom Systemdruck und vom Massendurchsatz konstant.

Der Vorwärmer wird von Hand angefahren, auf etwa 15 grd Unterkühlung gegenüber der Siedetemperatur gesteuert und dann von einer Temperaturregelung übernommen.

Nachdem Vorwärmer und Überhitzer in Betrieb genommen sind, kann auch die Druckregelung des Verdampfers eingeschaltet werden.

Die Temperatur nach dem Enthitzer (rd. 70 °C) wird über die Regelung der Einspritzwassermenge konstant gehalten. Dieser Regelkreis kann nach Inbetriebnahme des Dampferzeugers eingeschaltet werden. Hat der Dampfkreislauf die gewünschten Betriebsdaten erreicht, kann die Regelung der Kondensatortemperatur über Kühlwassermenge auf rd. 50 °C eingestellt werden.

Sind alle Regelstrecken stabil und entsprechen Systemdruck, Überhitzertemperatur und Dampfdurchsatz den geforderten Betriebsdaten für das Experiment, ist der Anfahrvorgang abgeschlossen. Der Reaktor kann nun gestartet bzw. auf Leistung gefahren werden.

4.2. Dauerbetrieb

Der Dauerbetrieb ist dadurch gekennzeichnet, daß die Anlage längere Zeit mit stationären Betriebsbedingungen gefahren wird. Dabei erfolgt die Überwachung automatisch. Während des Dauerbetriebes wird eine zweistündliche Kontrolle durch das FR 2-Betriebspersonal durchgeführt.

Versehentliche Handeingriffe sind ausgeschlossen.

4.3. Abfahren

Die Anlage darf, sofern ein Prüfling eingesetzt ist, nur abgefahren werden, wenn der Reaktor außer Betrieb ist. Das Abfahren wird durch Abschalten der Heizungen im Kreislauf eingeleitet. Der Systemdruck sinkt und führt im Verdampfer unter Ausdampfung zu einem Temperaturabfall.

Nach einem Zeitraum von rd. 30 min ist der Systemdruck auf 10 atü abgesunken. Über den unteren Grenzwert der Druckmeßstelle P-P 5 werden nun automatisch alle Kreislaufpumpen abgeschaltet. Damit ist der Abfahrvorgang abgeschlossen. Die Kondensatorkühlung bleibt noch solange eingeschaltet, bis in der Anlage Unterdruck herrscht (ca. 6 h).

4.4. Betriebsstörungen

Als Störungen des Kreislaufbetriebes werden Einflüsse verstanden, die dazu führen, daß der Sollzustand der Anlage bezüglich Druck, Temperatur und Durchsatz nicht gehalten werden kann.

Störgrößen wie z. B. Netzspannungsschwankungen und Druckschwankungen im Frischwassernetz werden durch die Regler ausgeglichen, ohne daß der Anlagenbetrieb beeinträchtigt wird.

Echte Betriebsstörungen können auftreten durch:

1. Defekte an Kreislaufkomponenten
2. Defekte im meß- und regeltechnischen Bereich
3. Ausfall von Versorgungseinrichtungen (elektrische Energie, Wasser, Luft)
4. Fehlbedienungen.

In 3.3.3. sind die Funktionen der Logik-Sicherheitsschaltung behandelt, siehe Störmeldiverzeichnis im Anhang. Dieses System deckt einen großen Bereich möglicher Betriebsstörungen ab:

1. Es werden unerwünschte Betriebszustände verhindert und Fehlbedienungen erschwert.
2. Bei Fehlern in der Anlage wird sie automatisch in einen definierten Zustand überführt oder abgeschaltet.
3. Die Verfügbarkeit der Anlage wird erhöht, indem einzelne Kreislaufkomponenten bei Ausfall automatisch durch Reserveaggregate ersetzt werden.

Weitergehende Maßnahmen wurden zur Druckabsicherung getroffen, indem Sicherheitsventile beziehungsweise Berstmembranen in den einzelnen Kreislaufabschnitten installiert wurden.

Als letzte Konsequenz einer Betriebsstörung wird die Anlage automatisch abgeschaltet. Dieser Fall ist sicherheitstechnisch dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlmittelstrom zum Reaktoreinsatz abnimmt und damit eine ausreichende Kühlung des Brennelementprüflings nicht mehr gewährleistet ist. Daher wird über den unteren Grenzwert der Dampf-Durchflußmeßstellen (P-Q 1, 10, 11) in 2-von-3-Schaltung ein Reaktorschnellschluß ausgelöst. Die Leistungsfreisetzung des Prüf-

lings nimmt entsprechend der Reaktorleistung ab.

Da auch bei einem totalen Heizungsausfall nahezu der gesamte Verdampferinhalt ausdampft und sich dieser Ausdampf-Vorgang über einen längeren Zeitraum erstreckt, ist gewährleistet, daß die Nachwärme aus dem Prüfling sicher abgeführt werden kann. Eine spezielle Notkühlung braucht daher nicht vorgesehen zu werden.

Sollte eine Betriebsstörung des Kreislaufs zu längerem Ausfall (größer 2 Tage) führen, so besteht die Möglichkeit, den Reaktor bei stehendem Versuchskreislauf wieder zu betreiben. Dazu muß der Prüfling gezogen werden. Das ist jedoch erst nach mehreren Stunden möglich, wenn der Systemdruck unter 1 ata abgesunken ist. Nach Verschließen des Reaktoreinsatzes mit einem dichtenden Abschirmstopfen und Füllung des Spaltes zwischen Druck- und Tauchrohr mit Inertgas (falls dieser zuvor evakuiert war) darf der Reaktor angefahren werden.

5. Betrieb der Versuchseinrichtung ohne Prüfling

5.1. Betrieb ohne Prüfling mit Dampfkühlung

Besondere Umstände können es erfordern, daß die Versuchsanlage ohne Prüfling, jedoch mit Heißdampf betrieben wird. In diesem Fall sind die Anfahrvorbereitungen wie in 4.1. beschrieben durchzuführen. Der Reaktoreinsatz muß zum Zwecke der Kühlung der Inneneinbauten und des Druckrohres mit dem Dampfrohr ausgerüstet sein. Der Spalt zwischen Druckrohr und Tauchrohr wird evakuiert sein, um den Heißdampf nicht zu stark abzukühlen. In diesem Fall besteht die Notwendigkeit, die Druckrohrtemperatur und den Druck im Vakuumspalt auf das Sicherheitssystem des Reaktors aufzuschalten. Auf die Aufschaltung des Dampfdurchsatzes und des Dampfdruckes nach dem Reaktoreinsatz kann verzichtet werden (s. a. 6.3.1.).

5.2. Betrieb ohne Prüfling und ohne Dampfkühlung

Wird die Versucheinrichtung für längere Zeit nicht benötigt,

wird der Reaktoreinsatz ausgebaut. Bei kurzzeitiger Betriebsunterbrechung kann jedoch der Einsatz im Reaktor verbleiben. Es muß allerdings durch Flutung des Spaltes zwischen Druckrohr und Tauchrohr mit einem Inertgas für eine ausreichende Abfuhr der hauptsächlich durch Gamma-Absorption entstehenden Wärme vom Druckrohr an den Moderator des Reaktors gesorgt werden. Die Verdampfungsanlage ist nicht in Betrieb, die Vakuumpumpe A-Vp 1 erzeugt im Kreislauf und im Reaktoreinsatz einen Unterdruck. Auf das Sicherheitssystem des FR 2 ist lediglich die Druckrohrtemperatur aufgeschaltet. In den ersten beiden Betriebsphasen nach in-pile-Inbetriebnahme wird durch Temperaturmessungen geklärt, ob bei dem zuletzt geschilderten Betriebszustand auch das Dampfführungsrohr im Reaktoreinsatz verbleiben kann.

Bei längerer Betriebsunterbrechung kann zum Zwecke der besseren Wärmeabfuhr an den Moderator des FR 2 der Reaktoreinsatz mit einem Inertgas geflutet werden; in diesem Fall kann der gesamte Versuchskreislauf abgeschaltet bleiben. Lediglich die Druckrohrtemperatur bleibt über die Überwachung der Core-Einbauten des Reaktors auf das Sicherheitssystem aufgeschaltet.

6. Sicherheitsbetrachtungen

6.1. Konventionelle Sicherheit

Der Betrieb eines Heißdampfkreislaufes birgt bereits unter konventionellen Gesichtspunkten Gefahrenmomente in sich, die sich aus der Kombination hohen Druckes und hoher Temperatur in Verbindung mit einem expansionsfähigen Medium ergeben. Diesen Risiken wurde bei der konstruktiven Auslegung Rechnung getragen.

Aus der langjährigen Erfahrung auf dem Sektor Dampfkraftanlagen liegen ausführliche Richtlinien vor, deren Anwendung ein Höchstmaß an Sicherheit gewährleistet und deren Einhaltung von Sachverständigen überwacht wird (TÜV und Gewerbeaufsichtsamt) /9/.

6.1.1. Vorschriften

Auf der Basis der Dampfkesselverordnung vom 8. September 1965 er-

schien 1967 unter dem Titel "Dampfkessel, Errichtung und Betrieb" eine Sammlung aller derzeit zur Anwendung gelangenden Vorschriften und Richtlinien.

Diese Sammlung beinhaltet:

- a) Dampfkesselverordnung und Verwaltungsvorschriften
- b) Regelung zur Durchführung der Dampfkesselverordnung
- c) Die Technischen Regeln für Dampfkessel, Sicherheitstechnische Richtlinien, Normen, Auslegungen.

Neben den o. g. speziellen Dampfkesselvorschriften wurden die gültigen DIN-Normen, die AD-Merkblätter (Ausgabe 1966 und Ergänzungen) die VDE-Richtlinien und die allgemeinen Unfallverhütungsvorschriften (UVV) bei der Erstellung des Kreislaufs zugrunde gelegt.

Schwierigkeiten bei der Anwendung der genannten Vorschriften und Richtlinien ergaben sich daraus, daß aufgrund des Zuschnittes der Vorschriften auf Großkesselanlagen einige Forderungen für einen kleinen Experimentierkreislauf ungeeignet sind. Hier mußten z. T. in direkten Verhandlungen mit dem zuständigen Technischen Überwachungsverein (TÜV), z. T. durch schriftliche Ausnahmegenehmigungen durch das Gewerbeaufsichtsamt andere Lösungen gefunden werden.

Diese Sonderregelungen sind in der Erlaubnisurkunde für die Errichtung und den Betrieb der Dampfkesselanlage schriftlich fixiert und vom TÜV und Gewerbeaufsichtsamt anerkannt.

6.1.2. Wasserstoffdosierung

Die Zudosierung von Wasserstoff in den Kreislauf bedingt die Einlagerung eines Wasserstoffvorrates im Aufstellungsraum R 010. Obwohl die Gesamtmenge möglichst klein gehalten wurde (s. 3.1.7.), ist das System als meldepflichtig im Sinne des § 26 Gewerbeordnung anzusehen. Bei Anordnung der H₂-Flasche und der Armaturen unter einer Abzugshaube wird nach Auskunft des Gewerbeaufsichtsamtes kein genereller Ex-Schutz für alle im Raum untergebracht-

ten elektrischen Installationen verlangt. Diese Forderung besteht nur für elektrische Geräte in unmittelbarer Nähe der gasführenden Teile und in diesem System selbst.

Für eine ausreichende Beschilderung und Schutzmaßnahmen ist gesorgt. Der Meldepflicht ist im Rahmen der Meldung des Gesamtprojektes Genüge getan.

6.2. Nukleare Sicherheit

6.2.1. Reaktivität

Durch die Einbringung des Reaktoreinsatzes in den Reaktorkern wird die Reaktivitätsbilanz des Reaktors beeinflusst. Wegen der relativ großen Edelstahlmasse wirkt der Reaktoreinsatz als starker Neutronenabsorber. Als Reaktivitätsäquivalent des Reaktoreinsatzes wurde gemessen:

$$\Delta \rho \text{ rd. } - 0,005.$$

Außerdem bewirkt der Reaktoreinsatz eine starke Flußverwerfung, die durch Beladungsänderungen ausgeglichen wird (s. 3.2.1.).

6.2.2. Kühlmittelaktivierung

Als Kühlmittel für den Prüfling im Kreislauf dient Wasserdampf, welcher Bereiche hohen Neutronenflusses durchströmt. Es müssen die Kernreaktionen der Wasserstoff- und Sauerstoffisotope beachtet werden. Maßgebend hierbei sind die Reaktionen $^{18}\text{O}(n, \gamma)^{19}\text{O}$ und $^{16}\text{O}(n, p)^{16}\text{N}$, wobei die letztere eine Energieschwelle für Neutronen von 9,4 MeV besitzt. ^{19}O und ^{16}N sind Beta-Strahler mit nachfolgender Gammastrahlung, deren Halbwertszeiten 27 bzw. 7,1 s betragen.

Für einige wichtige Komponenten des Kreislaufs wurden zu erwartende ^{19}O - und ^{16}N -Aktivitäten für den Betriebszustand Heißdampf der Temperatur 550 °C und des Druckes 180 atü sowie des Durchsatzes 100 kg/h berechnet. Sie sind in der folgenden Tabelle angegeben:

^{19}O - und ^{16}N -Aktivitäten im Kreislauf:

a) Bauteile

Bauteil	O19-Aktivität [Ci]	N16-Aktivität [Ci]
Enthitzer	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$23 \cdot 10^{-6}$
Kondensator und Entgaser	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$0,38 \cdot 10^{-3}$
Kondensatspeicher bei jedem Höhenstand	$34 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-9}$

b) Leitungen

Leitung	O19-Aktivität [Ci/m]	N16-Aktivität [Ci/m]
Rohr NW 10 zwischen Reaktoreinsatz und Enthitzer	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$11 \cdot 10^{-6}$
Rohr NW 100 zwischen Enthitzer und Kondensator-Entgaser	$0,71 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$

6.2.3. Spaltprodukte im Kreislauf

Durch Schäden im Hüllmaterial des Prüflings gelangen radioaktive Spaltprodukte in das Kühlmittel. Die Spaltprodukteemission aus dem Brennstoff wird bestimmt durch:

- die im Prüfling vorhandene Spaltproduktmenge,
- die Wahrscheinlichkeit des Austritts je Zeitintervall von Spaltprodukten in das Kühlmittel - Austrittswahrscheinlichkeit.

Die Austrittswahrscheinlichkeit, auch Entweichkoeffizient genannt, ist abhängig von der Art der Spaltnuklide.

Für die hier durchgeführten Berechnungen wurde zur Ermittlung der benötigten Entweichkoeffizienten auf die Arbeiten /10/ und /11/ zurückgegriffen. Die dort angeführten Einzelwerte wurden für jedes Nuklid geometrisch gemittelt. Die Abweichung der Ein-

zelwerte von den entsprechenden Mittelwerten beträgt bis zu zwei Dekaden. Hierzu ist zu bemerken, daß die hohen Werte vorübergehenden Betriebszuständen entsprechen, wie z. B. Ansteigen der Reaktorleistung. Die Abweichungen für den Dauerbetrieb dürften den Faktor 20 nicht überschreiten.

Über die Wanderung der Spaltnuklide im Kreislauf werden folgende Annahmen gemacht:

Das Kühlmittel nimmt die Spaltnuklide im Reaktoreinsatz auf. Im Enthitzer gehen die Nuklide ganz in die Dampfphase des Kühlmittels. Im Kondensatorentgaser teilt sich der Nuklidstrom, und zwar gehen etwa 90 % der Spaltdelgase in die Dampfphase des Kühlmittels und somit in die Abgasleitung, 10 % der Spaltdelgase und alle übrigen Nuklide in die flüssige Phase des Kühlmittels und somit in den Kondensatspeicher. Vom Kondensatspeicher wandern die entsprechenden Nuklide weiter zu den Filtern, wo alle Nuklide außer den Spaltdelgasen zurückgehalten werden. Es wird angenommen, daß nach einem Jahr die Filter ausgetauscht werden. Ferner wurden wieder für einige wichtige Komponenten des Kreislaufs die dort zu erwartenden Spaltproduktaktivitäten für den schon erwähnten Betriebszustand Heißdampf der Temperatur 550 °C und des Druckes 180 atü sowie des Durchsatzes 100 kg/h berechnet, welche auszugsweise in der folgenden Tabelle angegeben sind.

Spaltproduktaktivitäten im Kreislauf:

a) Bauteile

Bauteil	Spaltproduktaktivität [Ci]
Enthitzer	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Kondensator und Nachentgaser	$58 \cdot 10^{-3}$
Kondensatspeicher bei Minimalfüllung	0,36
Kondensatspeicher bei Maximalfüllung	1,0
Mischbettfilter nach einem Jahr	62

b) Leitungen

Leitung	Spaltproduktaktivität Ci/m
Rohr NW 10 zwischen Reaktoreinsatz und Enthitzer	1,8 · 10 ⁻³
Rohr NW 100 zwischen Enthitzer und Kondensator	0,27 · 10 ⁻³
Rohr NW 6 der Abgasleitung	1,7 · 10 ⁻³

Sehr große Schäden des Hüllmaterials eines Brennstabes oder Vergrößerungen von zunächst kleineren Schäden können zum Ausstragen von Brennstoffpartikeln mit Spaltprodukten in den Kreislauf führen. Dort können sie sich an ungünstigen Stellen ablagern. Hierauf ist besonders bei den folgenden Bauteilen zu achten.

1. Meßdüse von P-Q 1, P-Q 10, P-Q 11
2. Enthitzer-Einspritzventil P-Ve 111
3. Enthitzer P-Eh 1
4. Kondensator-Entgaser P-Kd 2
5. Filter P-Fi 1 und P-Fi 2
6. Rohrleitungen

Es erfolgt deshalb eine Kontrolle dieser Bauteile mit einem Handmonitor.

6.2.4. Strahlenbelastung

Im Normalbetrieb ist der Kreislauf so dicht, daß die Aktivitäten nur als umschlossene Strahler vom Bedienungspersonal beachtet werden müssen. Dem wurde durch Abschirmung der Rohrleitungen und Behälter Rechnung getragen. Es ist zu erwarten, daß mit den in 6.2.2. und 6.2.3. genannten Aktivitäten in den frei begehbaren Räumen die Dosisleistung unter 2,5 mrem/h liegt, und innerhalb der bei Betrieb normalerweise nicht begehbaren Räume (z. B. Second-Containment) die Dosisleistung 50 - 100 mrem/h nicht überschreitet.

Der Berechnung der erforderlichen Abschirmstärken sind die jeweils ungünstigsten Einflußgrößen zugrunde gelegt worden. Nicht berücksichtigt ist die mögliche örtliche Strahlungserhöhung durch bevorzugte Ablagerung von Spaltprodukten in einzelnen Anlagenabschnitten wie Umlenkstellen, Ventilen u.a.m. Diese ist rechnerisch schwer zu erfassen und kann nur durch Messungen ermittelt werden. Es ist vorgesehen, lokal evtl. erforderliche zusätzliche Abschirmungen zu erstellen.

Für den Hochdruckteil des Kreislaufs wurde eine kombinierte Abschirmung aufgebaut, d. h. zusätzlich zu den Einzelabschirmungen der Apparate wurde eine integrale Abschirmung längs der Second-Containment-Wand vorgesehen. Dadurch ist es möglich, daß innerhalb des Second-Containment die Apparate relativ gut zugänglich bleiben und auf die Abschirmung einzelner Rohrleitungen innerhalb des Second-Containment verzichtet werden kann.

Bei den außerhalb des Second-Containment in R 110a aufgestellten Komponenten (Experimentierschränke) wird jeweils eine integrale Frontabschirmung aufgebaut, während die Rückseiten für Wartung und Reparatur frei bleiben. Die Rückseiten sind bei Betrieb nicht begehbar (Abb. 10).

In ähnlicher Weise wurde im Raum R 010 verfahren, in dem ebenfalls eine Unterteilung in einen frei begehbaren und einen bei Betrieb zeitlich begrenzt begehbaren Raum vorgesehen wurde.

6.2.5. Aktivitätsabgabe

Die in den Kreislauf aus dem Prüfling freigesetzten Aktivitäten werden dem Kreislauf wieder entnommen. Die Entfernung der Aktivitäten erfolgt getrennt nach gasförmigen, festen und gelösten Stoffen.

Die festen und gelösten Anteile werden im Vollstrom über Ionenaustauscher geleitet und dort zurückgehalten. Das Ionenaustauscherfilter wird etwa halbjährlich gegen ein neues ausgewechselt.

Xenon und Krypton bilden den wesentlichen Anteil der Aktivitäten im Kreislauf. Diese Gase werden aus dem Kondensator bzw. Entgaser

abgezogen, über die Edelgasverzögerungsstrecke geleitet und zusammen mit der Reaktorabluft über den FR 2-Kamin abgegeben.

Durch die Verweilzeit in der Edelgasverzögerungsstrecke fällt die Gesamtaktivität aus dem Kreislauf von etwa 0,24 Ci/s soweit ab, daß diese Aktivität nach der Vermischung mit der Abluft aus dem FR 2 einen vernachlässigbaren Anteil an der gesamten Aktivitätsabgabe des FR 2 darstellt. Die aus der Edelgasverzögerungsstrecke austretenden Aktivitäten stammen vom Kr 85 und Xe 135. Wegen der langen Halbwertszeit dieser Isotope wäre eine weitere Verzögerung der Gase ohne Auswirkung.

Der Verzögerungsstrecke können auswechselbare Aktivkohlepatronen (Jodprobensammler) vorgeschaltet werden, in denen flüchtige Halogene ausgefiltert werden, so daß sie das Aktivkohlebett der Abklingstrecke nicht beaufschlagen. Die Patronen werden innerhalb einer Glove-Box ausgewechselt und experimentell ausgewertet (s. 3.4.4.).

Bei dem Abzug der Gase aus dem Kreislauf fällt in einem Hilfskondensator und in einer Kühlfalle täglich etwa 1 kg kontaminiertes Wasser an, das zunächst als Trägerdampf für die Gase dient, dann aber kondensiert bzw. ausgefroren wird, um den Abscheidegrad der Aktivkohle des Jodfilters und der Verzögerungsstrecke nicht zu verschlechtern. Dieses Wasser wird in einen 12 l fassenden abgeschirmten Behälter geleitet und zu den Dekontaminationsbetrieben transportiert.

6.2.6. Dichtheit

Wegen der Mediumaktivität wurde der Kreislauf sehr dicht ausgeführt und die Anzahl der Dichtstellen so klein wie möglich gehalten. Die zulässige Leckrate pro Dichtstelle wurde im Hochdruckteil auf $L \leq 10^{-6}$ Torr l/s festgelegt. Die Einhaltung dieser Forderung wurde durch Dichtheitsprüfungen sämtlicher Einzeldichtstellen überprüft. An Dichtstellen, an denen systembedingt die geforderte Dichtheit nicht erreicht werden kann, wie z. B. an den Stopfbuchsen der Hochdruckventile, wurden Absaugmöglichkeiten vorgesehen, die eine separate Abführung der Leckströme

ermöglichen. Diese Leckleitungen werden in die 1000-m³/h-Abgasanlage des FR 2 geleitet.

Die Absaugleitungen werden ständig auf Feuchtigkeit überwacht, damit eine Verschlechterung der Dichtheit erkannt wird und Maßnahmen zur Abdichtung eingeleitet werden können.

Bei den meßtechnischen Armaturen im Hochdruckteil wurden die Absaugstutzen mit Feuchtefühlern bestückt. Auf die Montage von Leckleitungen wurde verzichtet.

Eine stichprobenartige Überprüfung einzelner Hochdruck-Verschraubungen vor und nach dem out-of-pile-test (rd. 1400 h Betrieb mit wechselnden Bedingungen) ergab, daß bei keiner Verschraubung die Leckrate schlechter geworden war ($\leq 10^{-6}$ Torr l/s). Zusätzlich wurde in einer speziellen Versuchsanordnung eine Verschraubung bei 550 °C und 190 atü Helium-Druck geprüft. Auch unter diesen verschärften Prüfbedingungen lag die Leckrate unterhalb der Ansprechempfindlichkeit des Lecksuchgerätes (rd. 10^{-10} Torr l/s) und verschlechterte sich auch bei Temperaturgradienten von max. 35 grd/min nicht.

Der Deckelungang und der Raum R 111 sind an die zentrale Raumluftüberwachung des FR 2 (Meßstelle 4A44) angeschlossen. Die übrigen Aufstellungsräume des Versuchskreislaufes werden hinsichtlich der Raumluftaktivität über die normale Reaktorinstrumentierung überwacht.

Da im Second-Containment eine Erhöhung der Luftaktivität geduldet werden kann und die Wahrscheinlichkeit eines Lecks außerhalb des Second-Containment äußerst gering ist, kann man im allgemeinen mit der Reparatur einer Leckstelle bis zur nächsten Abschaltwoche warten.

Mit der bei der Dichtheitsprüfung gemessenen Leckrate wurde im Betrieb die maximal zulässige Aktivitätskonzentration in der umgebenden Raumluft nicht erreicht.

Für den Niederdruckteil (Unterdruck im Kreislauf) ergibt sich die zulässige Leckrate dadurch, daß der in den Kreislauf eintre-

tende Luftstrom nicht zu einem unzulässig hohen Gasdurchsatz durch die Verzögerungsstrecke führen darf. In Anlageteilen, in denen die zulässige Leckrate sehr hohe Werte erreicht, wie z. B. im Niederdruckteil, wurde eine niedrigere technisch leicht realisierbare Leckrate als zulässig definiert und der Dichtheitsprüfung zugrunde gelegt.

Folgende Einzelleckraten wurden als Mindestforderung bei der Lecksuche zugrunde gelegt:

Hochdruckteil	$L \leq 10^{-6}$	Torr l/s
Niederdruckteil	$L \leq 10^{-4}$	Torr l/s
Mitteldruckteil	$L \leq 10^{-4}$	Torr l/s
Stopfbuchsen u. ä.	$L \leq 10^{-3}$	Torr l/s

6.2.7. Kreislaufbruch

Die Kombination hohen Druckes und hoher Temperatur im Hochdruckteil des Kreislaufs stellt hohe Anforderungen an die Materialien und die technische Ausführung der Verbindungsstellen.

Die verwendeten Materialien und deren Verarbeitung wurden daher folgenden Prüfungen unterzogen:

1. Materialprüfung mit Abnahmezeugnis nach DIN 50049/3 A
2. Röntgenprüfung aller prüfbaren Schweißnähte
3. Teilweise zusätzliche Ultraschallprüfung
4. Heliumleckprüfung bei Betriebsdruck
5. Wasserdruckprobe mit 1,5fachen Betriebsdruck

Zusätzlich wurden Maßnahmen ergriffen, die sicherstellen, daß auch bei Bruch eines Anlagenteils keine unzulässige Gefährdung für das Betriebspersonal entsteht.

Um die Dampferzeugungsanlage und fast den gesamten Hochdruckteil des Kreislaufs wurde ein als Second-Containment ausgebildeter Schutzraum errichtet, der in der Lage ist, eine zuverlässige Trennung zwischen dem aus dem Kreislauf austretenden Medium und den Betriebsräumen bei allen Betriebsbedingungen

und Störfällen zu gewährleisten. Er ist weitgehend dicht, druckfest bis zu 500 mm WS und wird bei Normalbetrieb auf einem Unterdruck gegenüber den übrigen Experimentierräumen gehalten.

Da bei einem Rohrreißer ein großer Druck im Second-Containment auftreten könnte, ist ein Sicherheitsventil installiert, das bei Überdruck in die 8000 m³/h-Abgasanlage abbläst.

Bei der Auslegung des Sicherheitsventils wurde davon ausgegangen, daß ein Rohr der Nennweite 10 vollständig abreißt und der gesamte Rohrquerschnitt frei liegt. Für den Druckaufbau wurde die Ausströmverzögerung durch die dem Leck vorgeschaltete Rohrleitung und das Kondensieren des Dampfes an den Wänden ebenso vernachlässigt wie die zusätzliche Kühlwirkung der Raumbelüftung und des Raumkühlers. Es ist also gewährleistet, daß der Druckaufbau im Second-Containment den zulässigen Wert nicht überschreitet.

Es wird nicht angenommen, daß einer der Dampferzeuger selbst undicht wird (Kesselexplosion), da bei den durchgeführten Prüfungen bzw. der Auslegung nach TRD ein solcher Störfall ausgeschlossen werden kann. Gegen Bruch der Rohrleitungen sind Sondermaßnahmen erforderlich, weil bei der Montage bzw. bei Umbauarbeiten die relativ dünnen Rohre u. U. unbemerkt beschädigt werden können. Für die Verbindungsleitungen zwischen Reaktoreinsatz und Dampferzeuger bzw. Enthitzer im Raum R 111 und im Deckelumgang wurde kein Second-Containment vorgesehen, da einerseits in diesem Bereich keinerlei Armaturen eingebaut und die Leitungen gut geschützt verlegt sind sowie andererseits der technische Aufwand sehr groß wäre.

Zur Ermittlung der Konsequenzen eines Rohrreißers wurden die in 3.2.4. beschriebenen HDR-Prüflinge zugrunde gelegt. Die weitestreichenden Folgen ergeben sich, wenn von den verschiedenen Möglichkeiten als Schadenstelle ein Bruch nach dem Reaktoreinsatz innerhalb des Second-Containments hinter der Durchsatz-Meßblende vorausgesetzt wird. Zudem gelten für diese Betrachtung folgende wesentlichen Annahmen:

a) Der Reaktor wird abgeschaltet, wenn der Dampfdurchsatz den

unteren Grenzwert unterschreitet, spätestens jedoch 100 s nach dem Bruch der Leitung.

b) Der Prüfling setzt während der Zeit von 100 s nach dem Bruch der Leitung eine Aktivität von 0,27 Ci/s frei, die mit dem Dampf in das Second-Containment und von dort in das 8000-m³/h-Abgassystem des FR 2 getragen wird.

c) Nach Abschalten des Reaktors fällt die Wärmeleistung der Prüflinge entsprechend folgender Tabelle ab:

Zeit nach Abschalten	[s]	0	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵
Prüflingsleistung	[W]	5400	730	410	205	90	50	25

Die Annahmen a und b liegen auf der sicheren Seite, da der Reaktor schon früher durch die Druckmeßstellen P-P 6, P-P 23 und P-P 24 abgeschaltet wird und somit die Freisetzungsrateschon eher auf einen vernachlässigbaren Wert zurückgeht. Darüber hinaus liegt die Freisetzungsrates von 0,27 Ci/s an der oberen Grenze des erwarteten Streubereiches.

Nach dem Ausdampfen des Wassers im Vorwärmer und Verdampfer wird der Prüfling nicht mehr zwangsgekühlt. Die noch erzeugte Nachwärme wird durch Wärmeleitung und -strahlung abgegeben. Es tritt weder ein Schmelzen der Brennstoffhüllen noch des Brennstoffes selbst ein. Insgesamt werden während dieses Vorganges max. 35 Ci aus dem Kreislauf austreten und über den FR 2-Kamin an die Umgebung abgegeben. Diese bestehen zu 98 % aus Kr, Xe und J (rd. 0,03 Ci J 131). Der Rest besteht aus festen Spaltprodukten, welche - wie auch das Jod - nach Anlagerung an Aerosole zum größten Teil in dem Absolutfilter des Abgassystems festgehalten werden dürften.

Die gesamte in diesem unwahrscheinlichen Fall abgegebene Aktivität würde somit weniger als die monatlich für den FR 2 zulässige Ableitung radioaktiver Stoffe ausmachen.

Ein Rohrbruch vor der Meßblende würde wegen der schnelleren Abschaltung des Reaktors durch den unteren Grenzwert der Durchflußmeßstellen einen um den Faktor 10 geringeren Aktivitätsaustritt zur Folge haben.

Allerdings könnte die Schadensstelle in diesem Fall außerhalb des Second-Containment liegen. Bei Räumung des Reaktorgebäudes innerhalb von 4 Minuten beträgt die Personendosis etwa 50 mrem.

6.2.8. Druckrohrdefekt

Zur Vermeidung eines Druckrohrdefektes wurden folgende Punkte beachtet:

- Sorgfältige Druckrohr-Berechnung und-Fertigung
- Abnahme des Druckrohres als Druckbehälter gemäß gesetzlichen Vorschriften
- Wasserdruckprobe des Druckrohres mit 1,7-fachem maximalen Betriebsdruck (325 atü)
- Begrenzte Einsatzdauer des Druckrohres
- Regelmäßige Besichtigung und Ausmessung während der Einsatzzeit.
- Werkstoffprüfungen an bestrahlten Proben aus Werkstoff Nr. 4961

Trotz dieser Maßnahmen wurde das Druckrohr mit einem Tauchrohr umgeben, das als zweites Druckrohr für den vollen Betriebsdruck ausgelegt ist. Das Tauchrohr wird gegen einen Druck von 2 atü durch eine Berstmembrane gesichert, die den Spalt zwischen Tauch- und Druckrohr mit dem Abblasebehälter für Sicherheitsventile verbindet. Dadurch werden bei einem Druckrohrdefekt der Deckelzwischenraum und die Umgebung vor austretendem Dampf geschützt. Ein Bruch des Tauchrohres wird ausgeschlossen.

6.2.9. Schmelzen des Prüflings

Ein Schmelzen des Prüflings und die damit verbundene plötzliche Freisetzung hoher Aktivitäten kann nur erfolgen, wenn nach Kühlmittelausfall der Reaktor weiter betrieben würde. Schließt man das Versagen des Sicherheitssystems aus, sind nur zwei sehr unwahrscheinliche Ursachen denkbar:

- a) Ein großer Bypaß des Dampfes im Versuchseinsatz

- b) Verstopfen der Meßblende der Meßstellen P-Q 1, P-Q 10, P-Q 11 (s. a. 6.3.1.).

Der geschmolzene Prüfling würde in das untere Teil des Dampf-
führungsrohres fallen. Dieses Teil ist als stabiler Lochboden
ausgebildet, so daß nur kleinere Brennstoffteile bis in die
Abschlußkalotte des Druckrohres gelangen können. Diese liegt
im unteren Reflektor, so daß die Leistungsentbindung des Brenn-
stoffes verringert ist. Durch die große Wärmekapazität des
Druckrohres und dessen relativ niedrigere Ausgangstemperatur
ist ein Durchschmelzen nicht zu erwarten.

Aus dem geschmolzenen Prüfling werden etwa 3000 Ci flüchtige
Spaltprodukte in das Kreislaufsystem freigesetzt. Bei weiter-
hin dichtem Kreislaufsystem werden die Spaltprodukte mit Hil-
fe der Vakuumpumpe (A-Vp 1) in die Edelgasverzögerungsstrecke
gefördert und dort festgehalten. Innerhalb des Second-Contain-
ment wird sich eine Dosisleistung von rd. 10 rem/h, außerhalb
eine von rd. 250 mrem/h ergeben.

Das Abklingverhalten geht aus der folgenden Tabelle hervor, die
die Aktivität der aus dem Prüfling freigesetzten flüchtigen
Spaltprodukte darstellt:

Abklingzeit	[d]	0	0,1	1	10
Halogene	[Ci]	1300	730	300	57
Edelgase	[Ci]	1700	540	220	63
Halogene+Edelgase	[Ci]	3000	1270	520	120

6.3. Sicherheits- und Schutzsystem

Verschiedene kritische Grenzwerte, die zu einer Gefährdung der
Anlage und des Reaktors führen können, bewirken über das Sicher-
heitssystem eine automatische Abschaltung.

6.3.1. Mehrfachinstrumentierung

Einige physikalische Größen, die für die Sicherheit der Anlage
und des Reaktors besonders wichtig sind, werden dreifach gemes-
sen. Daraus resultierende Sicherheitsoperationen werden durch

eine 2-von-3-Auswahlschaltung veranlaßt.

Beim Auftreten der kritischen Signale folgender Meßstellen werden Versuchskreislauf und Reaktor abgeschaltet:

Dampfdurchsatz nach dem Reaktoreinsatz, Meßstellen P-Q 1, P-Q 10, P-Q 11.

Die Festlegung der Grenzwerteinstellungen erfolgt nach Maßgabe der Experimente. Es ist nur eine Meßdüse eingebaut. Damit beginnt die Dreifachinstrumentierung erst bei den Differenzdrucktransmittern.

Zu dieser Ausführung haben folgende Überlegungen geführt:

1. Die Meßdüse hat infolge des kleinen Durchsatzes einen sehr kleinen Durchmesser. Wegen des geforderten großen Fahrbereiches von Druck, Temperatur und Durchfluß waren Analogrechner zur Korrektur der Durchsatzanzeige erforderlich. In Anbetracht der unumgänglichen Fertigungstoleranzen der Meßdüse ist die Hintereinanderschaltung von drei Meßdüsen nicht sinnvoll.
2. Fremdkörper, Brennstoffpartikel oder Korrosionsprodukte, die vom Dampf mitgeführt werden, können die Meßdüse nicht plötzlich zusetzen, da sich zwischen Reaktoreinsatz und Meßdüse ein Sieb mit einer Maschenweite von 1 mm befindet, während die Meßdüse einen lichten Durchmesser von 5,07 mm hat.
3. Da die Summe der Durchsätze Q1 und Q2 gleich Q6 sein muß, sind die Durchsatzmeßstellen P-Q 1, P-Q 10 und P-Q 11 hinreichend genau kontrollierbar.

Strangvergleich der Durchsatzmeßstellen P-Q 1, P-Q 10, P-Q 11. Wegen der Wichtigkeit des Dampfdurchflusses wird diese Meßstelle kontinuierlich überwacht. Die Strangvergleichseinheit bildet die Differenz zwischen den drei Meßkanälen und einem Vergleichsnormal. Weicht einer der Meßkanäle um mehr als 7,5 - 10 % (einstellbar) des Meßbereichs von der Vergleichsspannung ab, so tritt ein Störsignal auf, das in 2-von-3-Auswahlschaltung die Sicherheitsoperation auslöst.

Dampfdruck nach dem Reaktoreinsatz, Meßstellen P-P 6, P-P 23,

P-P 24. Auch hier erfolgt die Festlegung der Grenzwerteinstellungen nach Maßgabe der Experimente. Ein plötzliches Abfallen des Dampfdruckes nach dem Reaktoreinsatz kann nur als Folge einer größeren Leckage auftreten, wobei mit Spaltprodukten vermischter Heißdampf in die Raumluft gelangt (s. 6.2.9.).

Druck im Vakuumspalt des Reaktoreinsatzes, Meßstellen V-P 16, V-P 21, V-P 22.

Tritt Überdruck im Vakuumspalt des Reaktoreinsatzes auf, so kann die Ursache in einem Defekt des Druckrohres liegen. Das Tauchrohr ist dann noch die einzige Trennwand zwischen dem Heißdampf und dem Moderator des Reaktors. Ansprechdruck liegt unter dem Berstdruck der Berstscheibe.

Druckrohrtemperatur des Reaktoreinsatzes, Meßstellen P-T 29, P-T 30, P-T 34.

Die Druckrohrtemperatur darf einen Wert von 550 °C nicht übersteigen. Dieser Wert wurde der Festigkeitsrechnung zu Grunde gelegt. Die Überschreitung des Grenzwertes führt zur Abschaltung des Reaktors.

6.3.2. Wirkungsweise des Sicherheitssystems

Das Sicherheitssystem ist ein dynamisches, sich selbst überwachendes System /12/ (Abb. 12).

Der Signalfluß geht folgendermaßen vor sich: Von jeder Meßstelle werden drei statische Signale über drei im ungestörten Betrieb geschlossene Grenzkontakte auf drei 2-von-3-Auswahlschaltungen gegeben. In diesen werden die Signale mit einem zusätzlichen Impulssignal verknüpft, so daß am Ausgang jeder 2-von-3-Logik im ungestörten Fall ein Impulssignal ansteht. Der Ausgangsimpuls dient der im Abschaltstrang nachgeschalteten 2-von-3-Logik, die zu der nächsten Meßstelle gehört, als Eingangsimpuls. Auf diese Art können beliebig viele Meßkanäle auf drei parallele Abschaltstränge aufgeschaltet werden. Der Ausgangsimpuls der letzten 2-von-3-Logik im Abschaltstrang wird von einem Ausgangsverstärker in Gleichspannung umgeformt. Dadurch wird das Abschaltstrangrelais in Ruhestromschaltung betrieben.

Das Abfallen der Abschaltstrangrelais führt in 2-von-3-Auswahlschaltung zur Reaktorabschaltung.

Werden bei mindestens zwei von drei Meßsträngen eines Meßkanals Grenzwerte erreicht, so tritt das Sicherheitssystem in Tätigkeit und schaltet den Versuchskreislauf und den Reaktor ab. Das Impulssignal überwacht das Sicherheitssystem, das Fehlen dieses Signals führt zur Abschaltung des Versuchskreislaufes und des Reaktors. Es können daher nur ungefährliche Fehler auftreten.

Durch die Verwendung von drei parallelen Strängen wird die Störanfälligkeit des Sicherheitssystems weiter reduziert. Der Ausfall eines Bauteils führt noch nicht zur Reaktorabschaltung, d. h. ein defektes Bauteil kann während des Betriebes ausgetauscht werden.

6.3.3. Versorgung und Prüfung des Sicherheitssystems

Jeder Abschaltstrang wird durch einen separaten Impulsgeber versorgt. Die Gleichspannungsversorgung der kritischen Grenzkontakte erfolgt durch zwei über Dioden parallel geschaltete Netzgeräte, von denen jedes die erforderliche Leistung aufbringt, um allein das Sicherheitssystem zu speisen. Netzgeräteausfall wird signalisiert.

Die richtige Funktion der Relaiskontakte der Abschaltstränge kann während des Reaktorbetriebes und in den Abschaltphasen mit Prüftasten kontrolliert werden.

Weitere Prüfungen erfolgen gemäß Prüfhandbuch.

6.3.4. Abschaltlinie "Core-Einbauten"

Die Druckrohrtemperaturmeßstellen P-T 29, P-T 30, P-T 34 wirken in 2-von-3-Auswahlschaltung direkt auf die Reaktorabschaltlinie "Core-Einbauten" und schalten nur den Reaktor ab.

Das Ansprechen der oberen und unteren Grenzwerte dieser Meßstellen werden in der FR 2-Warte signalisiert.

7. Erprobungen und Prüfungen

7.1. Instrumentierung

Die Instrumentierung wurde während eines Probelaufs erprobt. Der Probelauf bot Gelegenheit, durch die meßtechnische Aufnahme von Übergangsfunktionen das Zeitverhalten der Anlage kennenzulernen. Dadurch konnten die Reglerparameter auf einen optimalen Wert bei gleichzeitiger Erhaltung der Regelkreisstabilität eingestellt werden.

Störeinflüsse in der Energieversorgung wurden zufriedenstellend von der Regelung aufgefangen. Änderungen der Dampfdaten müssen langsam durchgeführt werden. Kurzzeitige Änderungen dürfen nicht mehr als 10 % der jeweils vorhandenen Werte betragen.

Ein wesentliches Ergebnis der Erprobung ist die Feststellung, daß die thermodynamische Trägheit der Anlage der Meßtechnik erlaubt, Störungen so rechtzeitig zu melden, daß Eingriffe von Hand noch möglich sind.

7.2. Verfahrenstechnik und Maschinenbauteile

Während der Projektierung, des Aufbaus und der out-of-pile-Versuche wurden verschiedene Komponenten der Versuchsanlage experimentell untersucht und ggf. verbessert. Diese Versuche erwiesen sich dort als notwendig, wo keine ausreichenden Erfahrungen vorlagen oder die durchgeführten Berechnungen bzw. Angaben aus der Literatur oder von Lieferfirmen in ihrer Aussagekraft zu unsicher erschienen.

Zudem wurde bei einem rd. achtwöchigen Probetrieb in der Versuchshalle und beim out-of-pile-Betrieb mit der Gesamtanlage im Reaktorgebäude die Verfahrenstechnik und die Funktionsfähigkeit des Versuchskreislaufes überprüft.

8. Literaturverzeichnis

- /1/ Müller, A., u. a.
Referenzstudie für den 1000 MWe dampfgekühlten schnellen Brutreaktor (D 1)
Kernforschungszentrum Karlsruhe, Bericht KFK 392, 1966
- /2/ Kornbichler, H.
Der Heißdampfreaktor in Großwelzheim
Atomwirtschaft - Atomtechnik 10 (1965) S. 286 - 291
- /3/ Dubbels Taschenbuch für den Maschinenbau
Hrsg. von F. Sass, Ch. Bouché, A. Leitner. 12. Auflage. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1963
- /4/ Säufferer, H.
Die Nachweisgrenze von Brennelementschäden in wassergekühlten Reaktoren
Kerntechnik, Isotopentechnik u. -chemie 4 (1962) S. 453 - 458
- /5/ Jacobi, S.
Burst can detection system in the FR 2
IAEA Panel on Detection and Location of Failed Fuel Elements, Vienna, 13 - 17 November 1967
In: Detection and Location of Failed Fuel Elements. Vienna: IAEA 1968. S. 81 - 106 = Panel Proceedings Series, STI/PUB/204
- /6/ Jacobi, S.; Golly, W.
Detection and localisation of a fuel element with a simulated failure in the FR 2
wie unter /5/ S. 107 - 128
- /7/ Jaeger; Ulrichs; Greinert; Dörrscheidt
Dampfkessel, Errichtung und Betrieb
Köln, Berlin, Bonn, München: Heymann 1967
- /8/ LOGISTAT I-Si, Lieferprogramm 1967/1968
Hrsg. von AEG-Meßwesen, Heiligenhaus 1967
- /9/ Technische Regeln für Dampfkessel
Hrsg. von der Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e. V., Essen. Köln, Berlin: Heymann 1964 ff.
- /10/ Waibel, E.
Invent - a Fortran IV computer program for the calculation of fission product inventory, and its application to fission product release studies at EVESR
Kernforschungszentrum Karlsruhe, Externer Bericht 8/68-3, 1968
- /11/ Terfloth, H. P.
Zur Lokalisierung von Brennelementhüllenschäden in Kernreaktoren
Atomkernenergie 11 (1966) S. 273 - 277
- /12/ Andrich, W.; Runkel, D.
Das fehlersichere ruhende Verknüpfungssystem LOGIPULS
AEG-Mitteilungen 56 (1966) S. 149 - 151

9. Verzeichnis der Abbildungen

- /1/ Prinzipschaltbild
- /2/ Meß- und Regelschema
- /3/ Abhängigkeit des maximalen Massendurchsatzes
- /4/ Prinzipskizze: Kondensator-Entgaser
- /5/ Kondensator-Entgaser
- /6/ Rieselentgaser
- /7/ Präzipitator
- /8/ Prinzipskizze: Reaktoreinsatz
- /9/ Reaktoreinsatz
- /10/ Aufstellungsplan in R 110a und R 110b
- /11/ Sicherheitssystem
- /12/ HDR-Stab-Prüfung
- /13/ Leitstand



10. Störmeldungsverzeichnis

Blatt 1

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folgeoperation
<u>Druck</u>								
P-P3	Dampfdruck	Kontaktmanometer	in P-Hz2	165 atü	Ix		Versagen des Regelkreises P-P5	je 1 Heizstab von P-Hz1 und P-Hz2 aus
P-P3	"	"	"	185 atü	IIx		"	Abschalten von P-Hz 1/2/3
P-P5	"	Meßumformer, Anzeiger m.indukt. Grenzkontakt	nach P-Hz3	10 atü		x	Abschalten der Heizungen P-Hz 1/2/3 Leitungsbruch	Kondensatpumpe aus
P-P5	"	"	"	162 atü	x		Versagen des Regelkreises P-P5	keine
P-P6 P-P23 P-P24	"	Kontaktmanometer	vor P-Eh1	10 atü		x	Leitungsbruch	a) Reaktorschnellschluß (in 2 von 3-Auswahl) b) Abschalten von P-Hz1/2/3 (in 2 von 3-Auswahl)
P-P6 P-P23 P-P24	Druck	"	vor P-Eh1	185 atü	x		Versagen des Regelkreises P-P5	keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folgeope- ration
P-P7	Dampfdruck	Kontaktmanometer	nach P-Eh1	-0,2 atü	x		ungenügende Erhitzung oder Kondensation	keine
P-P8	Kondensatwasserdruck	"	nach P-Pu3 Pu4	2 atü		x	Ausfall oder Abschaltung einer Kondensatpumpe	Umschaltung auf Reservepumpe und verzögert "Aus" für Einspritzpumpen
P-P9	Druckdifferenz	Kontaktmanometer für Differenzdruck	über Filter P-Fil/Fi2	1,5 Kp/cm ²	x		Filter verstopft	keine
A-P10	Sekundär- dampfdruck	Kontaktmanometer	vor A-Pz1	-0,2 atü	x		ungenügende Erhitzung oder Kondensation	keine
P-P11	Einspritzwasserdruck	"	nach P-Pu5/ Pu6	2,5 atü		x	Ausfall oder Abschaltung einer Einspritzpumpe oder der Kondensatpumpen	Umschalten auf Reservepumpe und verzögert "Aus" für Speisepumpen

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
V-P15	Vakuum	Pirani- Vakuum- messer	in P-Le (Isola- tionsspalt)	$5 \cdot 10^{-2}$ Torr	x			V-Vp4 aus und verzögert V-Vp3 aus
V-P16 V-P21 V-P22	Druck	Druck- schal- ter	"	1,0 atü	x		Leckage des Druckrohres	a) Reaktorschnellschluß (in 2 von 3-Auswahl) b) Abschalten der Hei- zungen P-Hz 1/2/3 (in 2 von 3-Auswahl) c) V-Ve 401 zu (1 von 3 Auswahl)
G-P25	Gasdruck	Kontakt- mano- meter	Gasdosie- rung	0,5 atü	x		zu hohe Gas- dosierung	Schließen von G-Ve 324
P-P34	Druck	"	P-Bh7	0,3 atü	x		ungenügende Kondensation im Abblasebe- hälter	keine
P-P50	"	Druck- schalter	nach P-Ve 102	0,7 atü	x		zu große Leck- rate von P-Ve 102	keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
<u>Temperatur</u>								
P-T1.12	Diffe- renz- tempe- ratur	Th.-Ele- ment, Verstär- ker, An- zeiger mit in- dukt. Abgriff	zwischen P-Hz2 und P-Hz1	10 °C		Ix	Versagen des Re- gelkreises P-T1	1 Grundheizstab von P-Hz1 aus
P-T1.12	"	"	"	5 °C		IIx	"	P-Hz 1 aus
P-T4	Heiß- dampf- tempe- ratur	"	nach P-Hz3	560 °C		Ix	Versagen des Regelkreises P-T3	1 Thyristorstellglied aus
P-T4	"	"	"	580 °C		IIx	"	beide Thyristorstell- glieder aus
P-T5 P-T25 P-T26	Diffe- renz- tempe- ratur	"	zwischen Eingang/ Ausgang des P-Le			x	zu geringer Dampfdurchfluß, Versagen des Re- gelkreises P-T3	keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
P-T6 P-T31 P-T32	Heiß- dampf- tempe- ratur	Th.-Ele- ment, Verstär- ker, An- zeiger mit in- dukt. Abgriff	Ausgang P-Le	550 °C	x		zu geringer Dampfdurchfluß, Versagen des Re- gelkreises P-T3	keine
P-T8	Tempe- ratur	Wider- stands- thermo- meter, Verstär- ker, An- zeiger mit in- dukt. Abgriff	nach P-Eh1	100 °C	x		Versagen der Enthitzung oder Kondensation im P-Kd2	a) P-Ve209 zu b) P-Ve225 zu c) Heizungen P-Hz5/6 aus
P-T9 P-T10	Tempe- ratur	Th.-Ele- ment, Verstär- ker, An- zeiger mit in- dukt. Abgriff	im P-Kd2	60 °C	x		ungenügende Kon- densation im P-Kd2	Heizung P-Hz5 aus

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	OGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
P-T11	Konden- satwas- sertem- peratur	Wider- stands- thermo- meter, Verstär- ker, An- zeiger mit in- dukt. Abgriff	nach P-Pu3 P-Pu4	50 °C	x		Ausfall des Wär- metauschers P-Wt1	Kondensatpumpen ab- schalten
P-T12 A-T22 A-T23	"	Wider- stands- thermo- meter, Anzeiger mit ind. Abgriff	T12: nach P-Fi1 T22: vor A-Pz1 T23: nach A-Pz1	80 °C	x			keine
H-T13 H-T27 H- 28	D ₂ O- Tēmpē- ratur	Th.-Ele- ment, Verstär- ker, An- zeiger m. indukt. Abgriff	im Tauch- rohr des P-Le	80 °C	x		ungenügender D ₂ O-Durchfluß	keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW nach I	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
P-T14	Ein- spritzen- und Speise- wasser- tempe- ratur	Wider- stands- thermo- meter, Verstär- ker, An- zeiger m.indukt. Abgriff	nach P-Pu5/ Pu6	60 °C	x		Ausfall des Wär- metauschers P-Wt1	Einspritzpumpen ab- schalten
P-T16	Druck- rohr- tempe- ratur	Th.-Ele- ment, Ver- stärker, Anzeiger m.indukt. Abgriff	im P-Le (Umlenk- stelle)	550 °C	x		zu geringer Dampfdurchfluß, Versagen des Re- gelkreises P-T3	keine
P-T17 P-T18 P-T19	Heiß- dampf- tempe- ratur	"	T17/18: im Experi- mentier- teil des P-Le T19: Flansch- temp. am Austritt des P-Le	550 °C	x	"		keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II	uGW nach I	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
P-T33	Druck- rohr- tempe- ratur	Th.-Ele- ment, Verstär- ker, An- zeiger m. ind. Abgriff	im Druck- rohr außen, auf Höhe Core- oberkante	360 °C		x	Regelkreis von A-Hz4 defekt	keine
P-T40	Konden- sat- tempe- ratur	Th.-Ele- ment, Grenz- wertge- ber für Logistat	nach P-Ve102	80 °C	x		Ansprechen des Sicherheitsven- tils P-Ve102	Abschalten der Heizun- gen PHz1/2/3/5/6
P-T41	"	Wider- stands- thermo- meter, Verstär- ker, Grund- wertge- ber für Logistat	nach P-Ve229	80 °C	x		Ansprechen des Sicherheits- ventils P-Ve229	"

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II	uGW nach I	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
Durchfluß								
P-Q1 P-Q10 P-Q11	Heiß- dampf- durch- fluß	Viertel- kreis- Meß- strecke, Meßumfor- mer, Ana- logrech- ner, An- zeiger m. indukt. Abgriff	vor P-Eh1	40 kg/h		x	Heizungsausfall, Pumpenausfall, Leitungsbruch v. Meßstelle	a) Reaktorschnellschluß (2 von 3-Auswahl) b) Abschalten der Hei- zungen P-Hz1/2/3/5/ 6 (2 von 3-Auswahl)
P-Q1 P-Q10 P-Q11	"	"	"	<100 kg/h		x	Versagen des Re- gelkreises P-P5	keine
P-Q1.4 P-Q10.4 P-Q11.4	Strang- ver- gleich des Dampf- durch- flusses	Diffe- renz- verstär- ker	Ausgang der Ana- logrech- ner P-Q1.7/ 10.7/ 11.7	$\pm 7,5$ kg/h		x	defekte Meßtech- nik	a) Reaktorschnellschluß (2 von 3-Auswahl) b) Abschalten der Hei- zungen P-Hz1/2/3/5/6 (2 von 3-Auswahl)

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
P-Q2	Ein- spritzen- wasser- durch- fluß	Schwebe- körper	vor P-Ve285	4 kg/h		x	Ausfall der Ein- spritzen-/Kondens.- pumpe, extreme Sollwerterhöhung von Regelkreis P-T8	keine
H-Q3	D ₂ O- Durch- fluß	"	vor D ₂ O- Eingang im P-Le	250 kg/h		x	falsche Ventil- stellung von H-Ve501	"
F-Q9	Frisch- wasser- durch- fluß	"	Zugang P-Kd2	0,4 m ³ /h		x	a) Frischwasser- ausfall b) Extreme Soll- werterhöhung von Regelkreis A-T20	"
P-Q15	Konden- sat- durch- fluß	"	vor Gas- dosie- rung	40 kg/h		x	Versagen der Kon- densatpumpe, fal- sche Ventilstellung	"

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
Höhenstand								
P-H1	Höhenstand	Bartonzelle m. Meßformer	im P-Hz2	120 mm		x	a) Versagen der Höhenstandsregelung b) zu große Sollwertänderung am P-P5, bzw. zu große Änderung am P-Ve111	Abschalten der Heizungen P-Hz 1/2/3
P-H1 P-H4	"	"	"	210 mm		x	"	Abschalten der Speisepumpe und der Heizungen P-Hz 1/2/3
P-H2	"	Magnetschwimmerschalter	im P-Bh1	50 l		x	ungenügender Wasservorrat evtl. Leckage im Kreislauf	keine
P-H3	"	"	im P-Kd2	60 l		x	Versagen der automatischen Nachfüllung über P-Ve227	P-Ve227 zu
A-H5	"	Schwimmerschalter	im A-Kd3	5 l		x	ungenügender Kondensatablaß	keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II	uGW nach I	mögliche Ursache	automatische Folgeoperation
P-H6	Höhenstand	Magnet-schwimmer-schalter	im P-Bh7	+200mmWs	x		Ansprechen von P-Ve102 oder P-Ve229	keine
P-H6	"	"	"	-200mmWs		x	ungenügende Nachfüllung	"
<u>Heizstabstrom</u>								
P-Hz1.1 +1.2	Heizstabstrom	Stromwandler	Heizung im P-Hz1	100 A	x		Kurzschluß	keine
P-Hz1.3 bis 1.6	"	"	"	50 A	x		"	"
P-Hz1.1 bis 1.6	"	"	"	0 A		x	Heizdrahtunterbrechung	"
P-Hz2.1 +2.2	"	"	Heizung im P-Hz2	100 A	x		Kurzschluß	"
P-Hz2.3 bis 2.6	"	"	"	50 A	X		"	"
P-Hz2.1 bis 2.6	"	"	"	0 A		x	Heizdrahtunterbrechung	"

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW nach I	mögliche Ursache	automatische Folge- operation
P-Hz3.1 + 3.2 + 3.3	Heiz- stab- strom	Strom- wandler	Heizung im P-Hz3	100 A	x		Kurzschluß	keine
P-Hz3.4 + 3.5 + 3.6	"	"	"	100 A	x		"	"
P-Hz3.1 bis 3.6	"	"	"	0 A		x	Heizdraht- unterbre- chung	"
<u>Drehzahl</u>								
P-R1	Drehzahl	Genera- tor, An- zeiger m. indukt. Grenz- kontakt	am P-Pu1	100 U-min		x	Pumpenausfall	Umschaltung auf P-Pu2
P-R2	"	"	am P-Pu2	100 U/min		x	"	Umschaltung auf P-Pu1

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW	uGW	mögliche Ursache	automatische Folgeoperation
						II nach I		

Leitfähigkeit

P-L1	Leitfähigkeit	Leitfähigkeitgeber, Verstärker, Anzeiger m. ind. Grenzkontakt	nach P-F1	0,2 μ S/cm	x		ungenügende Speisewasserqualität	keine
P-L2	"	Leitfähigkeits-schaltverstärker	Membranen-zwischenraum in P-Pu1	Leitfähigkeits-Vermin-derung um 25% der Sperrkammer-flüssigkeit	x		Membranbruch	Umschaltung auf P-Pu2
P-L3	"	"	Membran-zwischenraum in P-Pu2	"	x		"	Umschaltung auf P-Pu1

Pos.-Nr. Meßgröße Meßgerät Meßstelle Grenzwert oGW uGW mögliche Ursache automatische Folgeoperation
II nach I

Motorschutzschalter

P-Mo2	Strom	Motor- schutz- schalter	P-Pu1	5.5 A	x	Überstrom, Kurzschluß	Umschaltung auf P-Pu2
P-Mo1	"	"	Hubver- stellung von P-Pu1	1 A	x	"	"
P-Mo4	"	"	P-Pu2	5,5	x	"	Umschaltung auf P-Pu1
P-Mo3	"	"	Hubver- stellung von P-Pu2	1 A	x	"	"
P-Mo6	"	"	P-Pu5	5,5 A	x	"	Umschaltung auf P-Pu6
P-Mo7	"	"	P-Pu6	"	x	"	Umschaltung auf P-Pu5
P-Mo10	"	"	P-Pu4	"	x	"	Umschaltung auf P-Pu3
P-Mo11	"	"	P-Pu3	"	x	"	Umschaltung auf P-Pu4
A-Mo15	"	"	A-Vp1	1 A	x	"	keine
V-Mo16	"	"	V-Vp3	1 A	x	"	keine
V-Mo17	"	"	V-Vp4	1,6	x	"	keine

Pos.-Nr.	Meßgröße	Meßgerät	Meßstelle	Grenzwert	oGW II nach I	uGW	mögliche Ursache	automatische Folgeoperation
----------	----------	----------	-----------	-----------	------------------	-----	------------------	-----------------------------

Sicherungsautomaten

Summen- siche- rungs- fall	Strom	Siche- rungs- auto- mat	alle Meß- Regel- Steuer- kreise u. wichtige Strom- versor- gungen	bis zu 16 A	x		Überstrom, Kurzschluß	keine
-------------------------------------	-------	----------------------------------	--	----------------	---	--	--------------------------	-------

Zeit

Z6	Zeit	Zeit- relais		2,5 Stdn	x		periodische Quittierung des Bedie- nungsperso- nals ver- gessen	Erfolgt nach einer einstell- baren Zeit (3-6 Stdn) keine Quittierung, so werden die Heizungen P-Hz 1/2/3 abge- schaltet
----	------	-----------------	--	----------	---	--	--	---

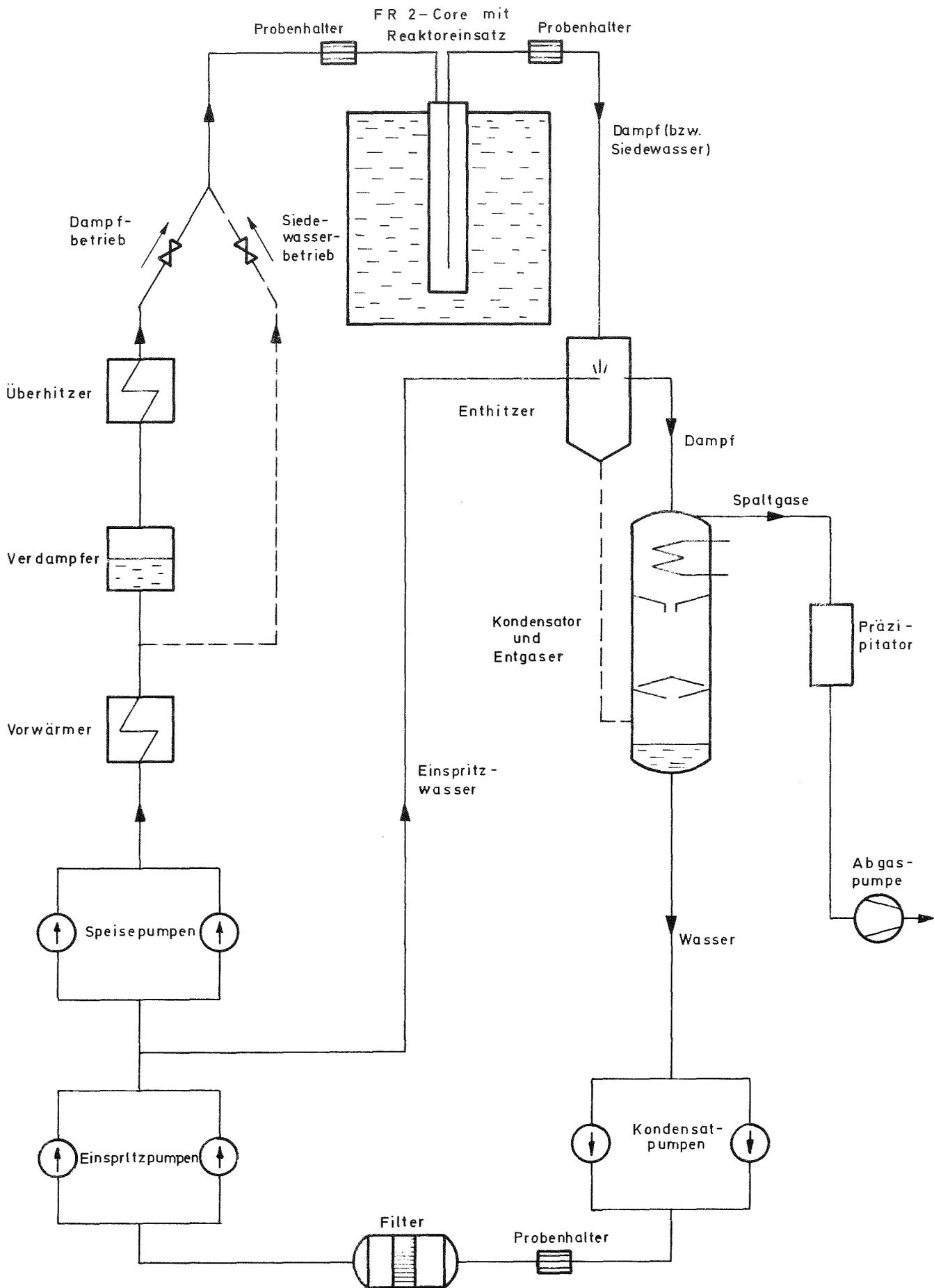
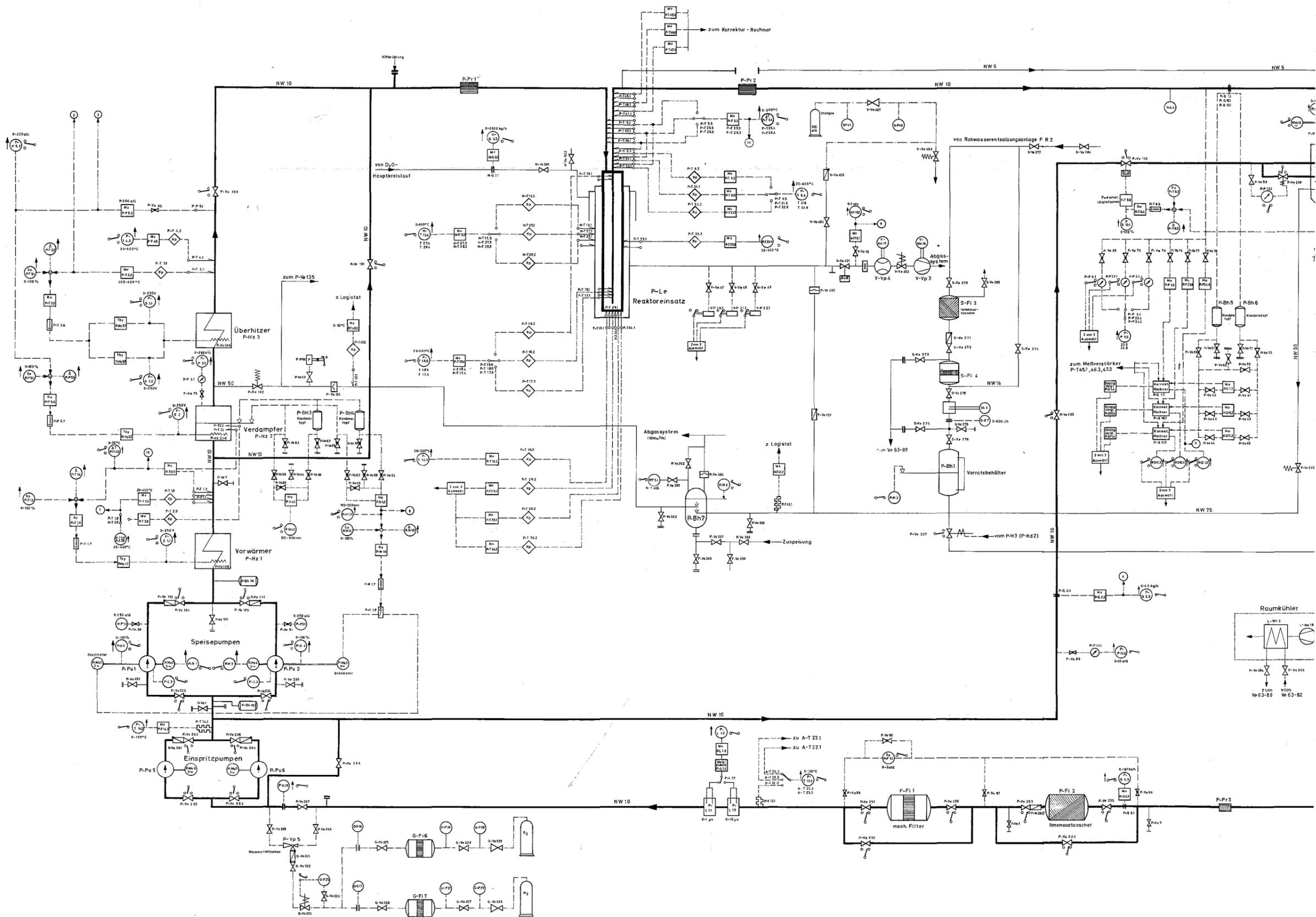
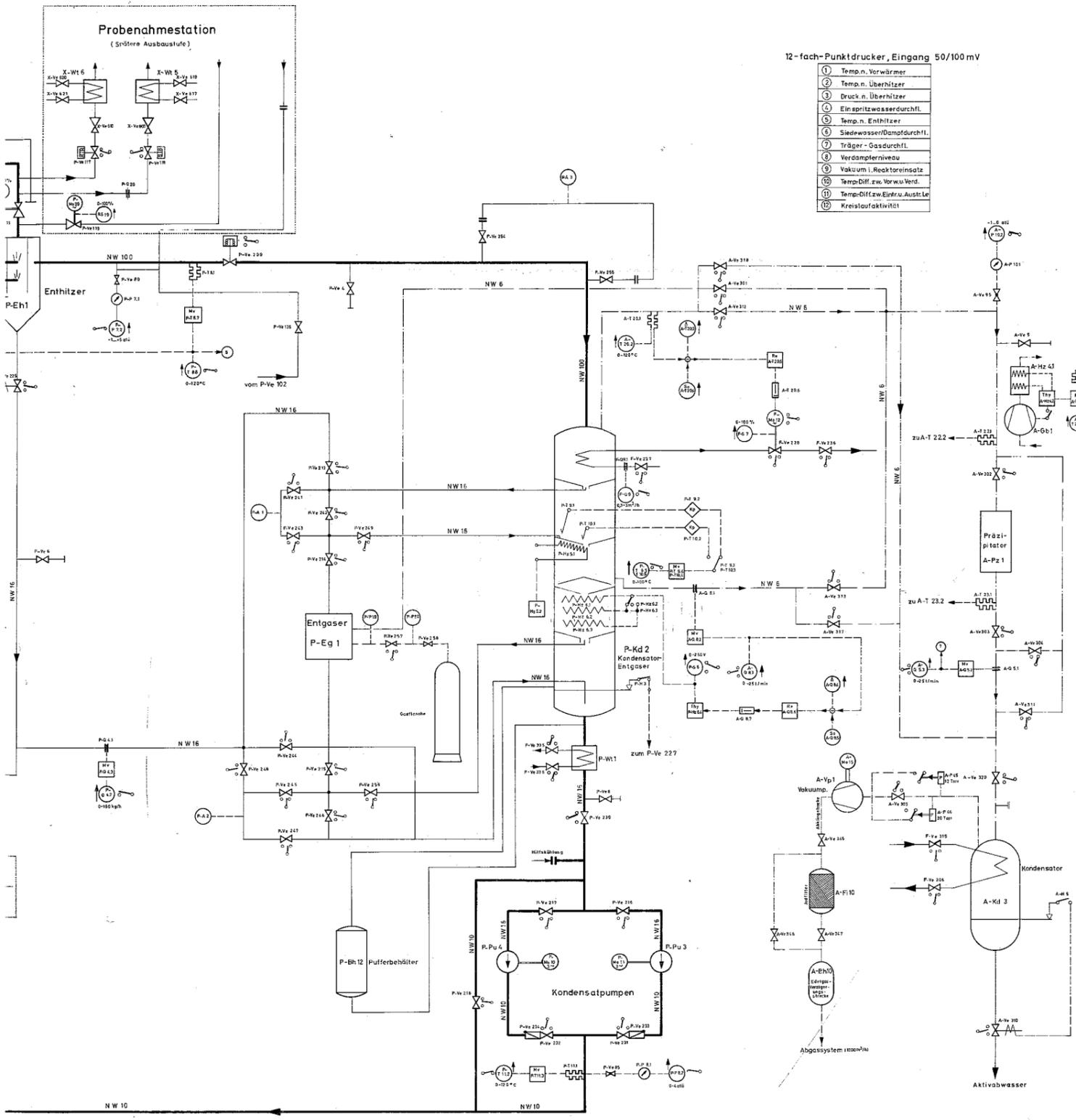


Abb.1 HSD-Loop Projekt FR 2/55
Prinzipschaltbild





- 12-fach-Punkt drucker, Eingang 50/100 mV
- 1 Temp. n. Vorwärmer
 - 2 Temp. n. Überhitzer
 - 3 Druck n. Überhitzer
 - 4 Einspritzwasserdurchfl.
 - 5 Temp. n. Enthitzer
 - 6 Siedwasser/Dampfdurchfl.
 - 7 Träger-Gasdurchfl.
 - 8 Verdampferniveau
 - 9 Vakuum l. Reaktoreinsatz
 - 10 Temp. Diff. zw. Vorw. u. Verd.
 - 11 Temp. Diff. zw. Einstr. u. Austr. Le.
 - 12 Kreislaufaktivität

Legende

- Kreislaufbezeichnungen:**
- A = Abgassystem
 - D = Druckluftsystem
 - F = Frischwasserkreislauf
 - G = Gasversorgung
 - H = Hilfskreislauf
 - P = Primärkreislauf
 - S = Sekundärkreislauf
 - V = Vakuumsystem (Le)
 - X = Experimentierbox
 - L = Raumluft
- Anlagenteile:**
- Bh = Behälter
 - Fi = Filter
 - Le = Reaktoreinsatz (Loopinsatz)
 - Hx = Heizapparat
 - Ve = Ventil
 - Vp = Vakuumpumpe
 - Eh = Enthitzer
 - Pu = Pumpe
 - Eg = Entgaser
 - Pr = Probenhalter
 - Kd = Kondensator
 - Pz = Präzipiator
 - Gb = Gehäuse
 - Wt = Wärmetauscher

- Kreislauf-Leitungen:**
- Wasserdampf oder Wasser
 - - - Gase
 - Meß- und Regeltechnik

- Sinnbilder:**
- ⊗ Ventil mit Handantrieb
 - ⊗ Absperrventil
 - ⊗ Druckminderventil
 - ⊗ Sicherheitsventil
 - ⊗ Magnetventil
 - ⊗ Pneumat. Ventil
 - ⊗ Motorisch bet. Ventil
 - ⊗ Dampfsperre
 - ⊗ Rückschlagventil
 - ⊗ Probenentnahme
 - ⊗ Blindflansch
 - ⊗ Probenhalter
 - ⊗ Kreiselpumpe
 - ⊗ Membranpumpe
 - ⊗ Berscheibe
 - ⊗ Drehschieberpumpe
 - ⊗ Diffusionspumpe

- Meßgeräte u. Meßstellen:**
- A = Aktivität
 - F = Frequenz
 - H = Höhenstand
 - L = Leitfähigkeit
 - P = Druck, Δp = Druckdiff.
 - Q = Durchfluß
 - R = Drehzahl
 - S = Stellungsanzeige
 - So = Sollwert
 - T = Temperatur, ΔT = Temp.-Diff.
 - U = Spannung
 - Δ = Regelabweichung

Meß- und Regelungstechnik Sinnbilder

- Mu Meßumformer mit Verstärker
- Re Regler
- Mv Meßverstärker
- St Stell-Transformator
- Thy Thyristorstellglied
- K Kompensationsdose
- H Höhenstandsmessung
- S Subtraktionsstelle mit
- A Anzeiger für Regelabweichung
- D Druckgeber mit örtlichem Anzeiger
- Z Zum Anschluß an Punktdrucker
- H Hand-Regler-Umschalter
- U Umschalter sowohl hand- als fernbetätigt
- D Durchflußmessung ohne Anzeiger
- M Meßstelle mit örtl. Anzeige, mit Fernanzeige
- D Doppel-Widerstandsthermometer
- T Thermolement
- D Druckgeber ohne Anzeiger
- H Handumschalter
- G einfacher Grenzkontakt
- G oberer u. unterer Grenzkontakt
- D Druckschalter

Abb. 2

Teil	Bezeichnung	Verbrauch	Abmessung	Zustellung	Bezeichnung
Stand	10 2.62				
Stand	26.267				
Stand	25.267				
Stand	15.267				
Stand	15.267				
Stand	15.267				

Projekt FR 2755
Hüllenschaden-Dampfkreislauf
Meß- u. Regelschema

LEM/M-2/2-00

Abb.3

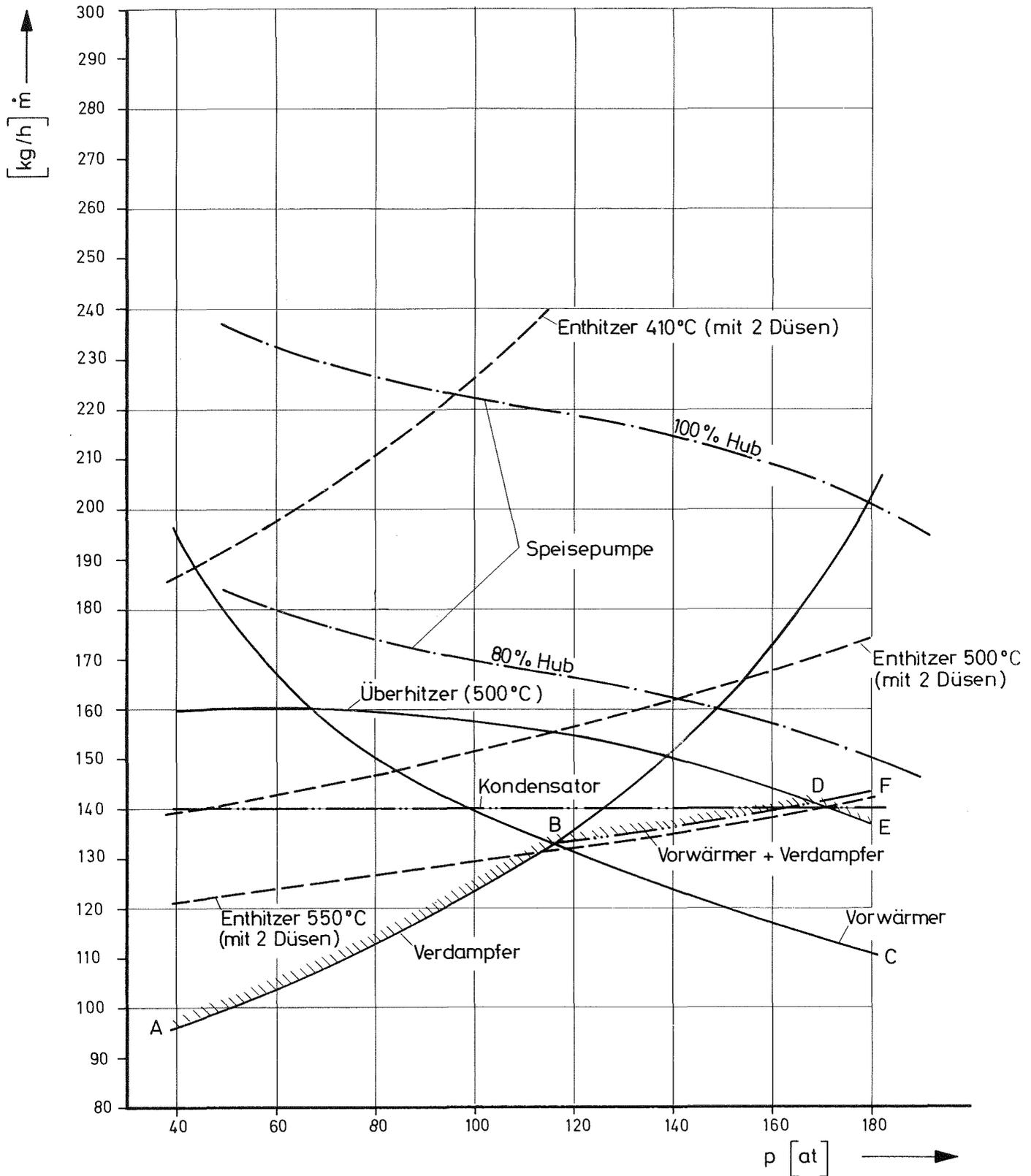
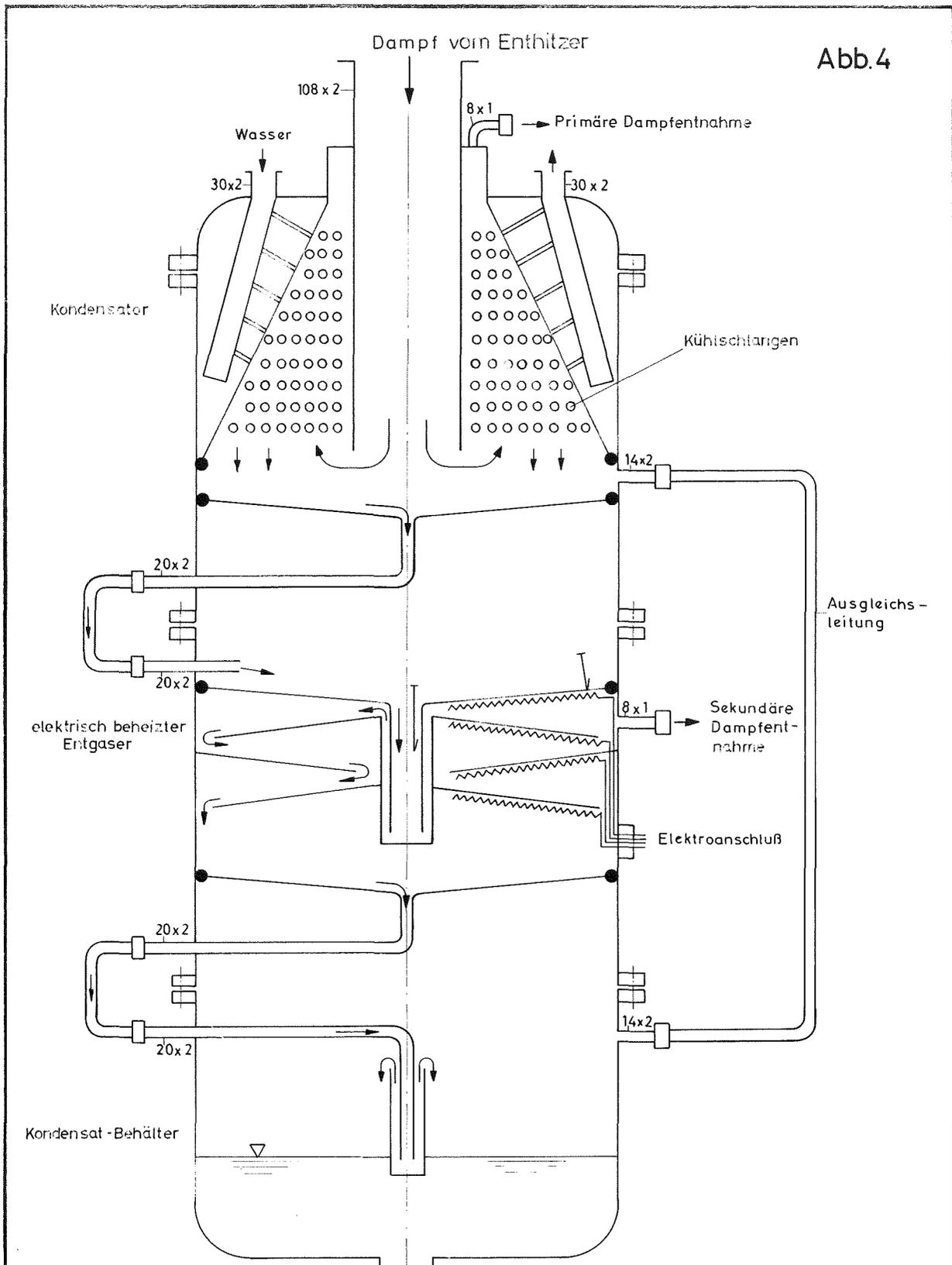


Abb.4



Prinzipskizze :

Kondensator –
Entgaser

Projekt FR2 / 55

Name:

*Brang
Lambert Perini*

Datum: 22.5.1967

Zeichnungs-Nr. P055-2-1-28

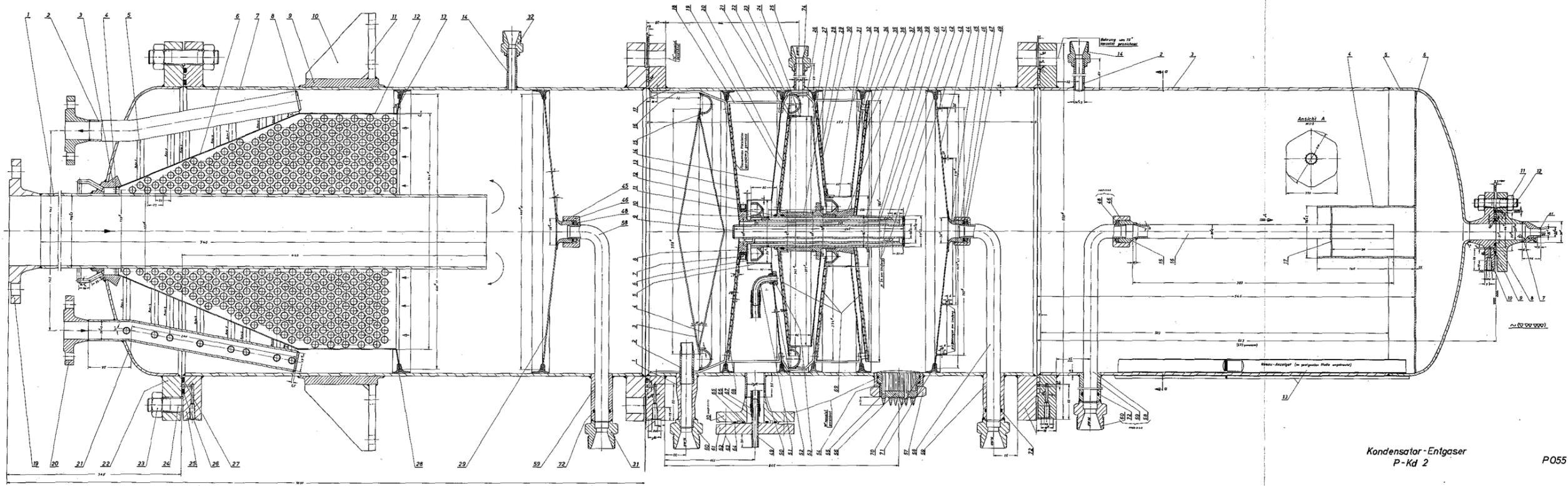
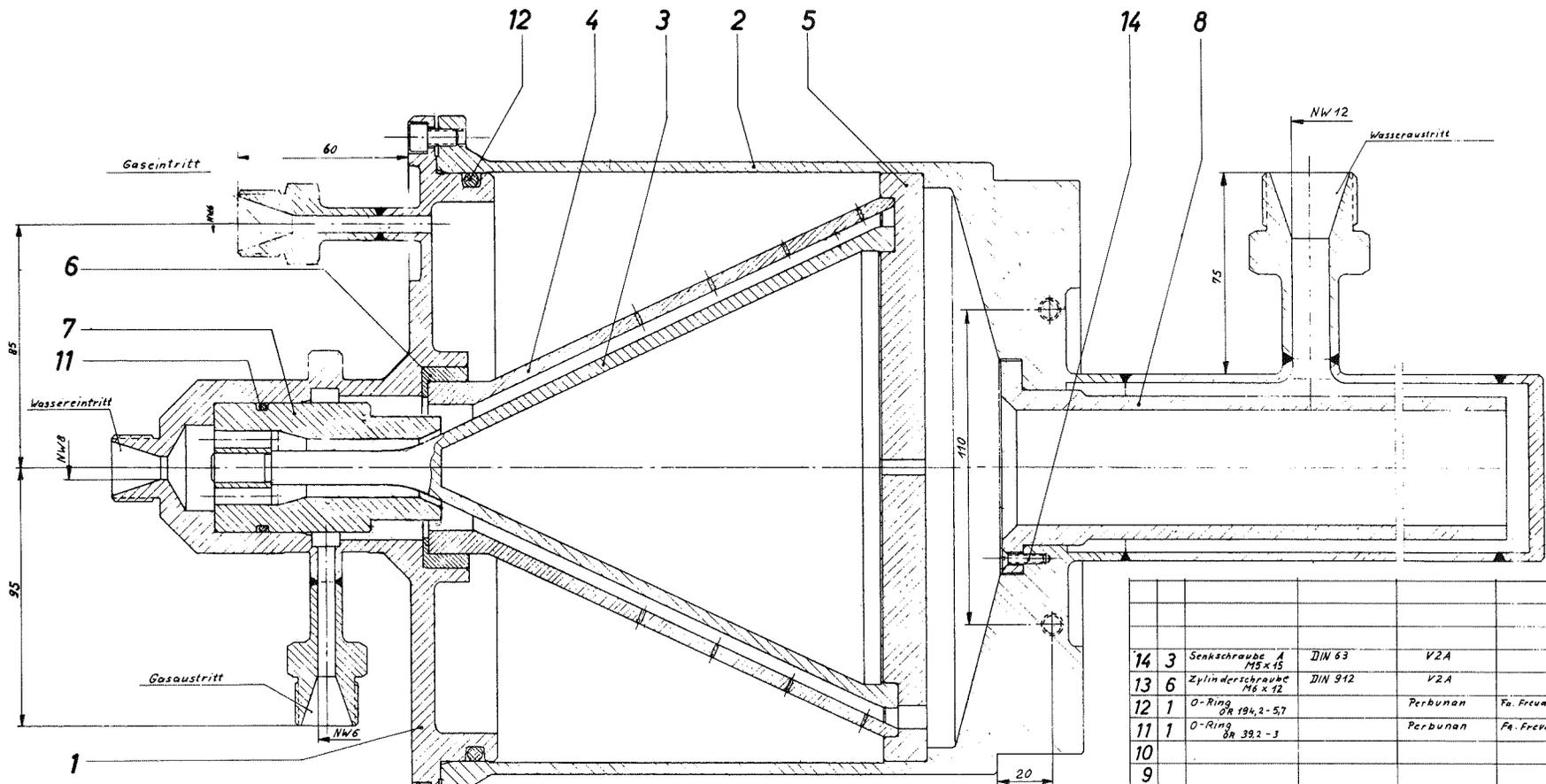


Abb. 5

Kondensator-Entgaser
P-Kd 2

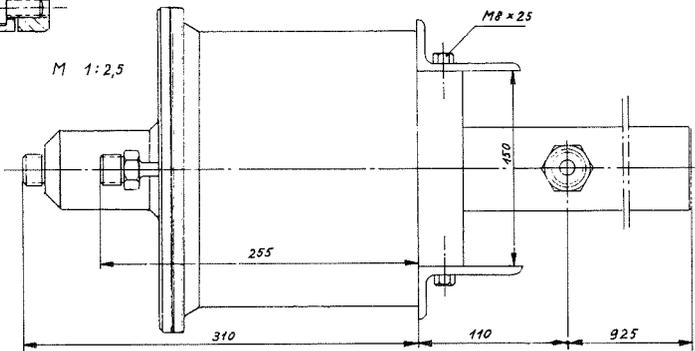
PO55-2-1-23



Vor der Montage sind alle V2A-Teile zu beizen u. zu passivieren, alle Aluminium-u. Kunststoffteile sorgfältig zu reinigen. Bei der Montage ist auf größte Sauberkeit zu achten.

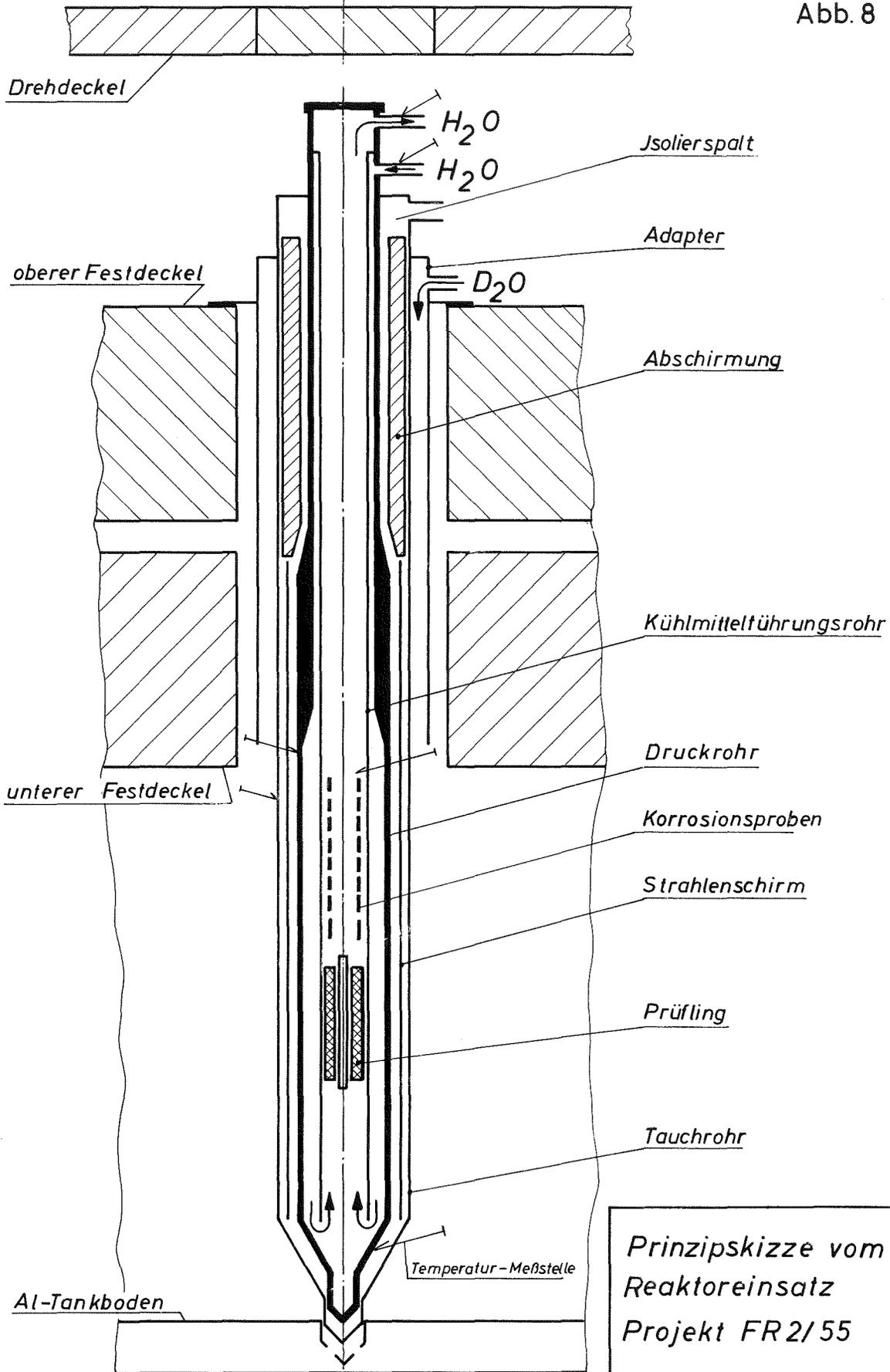
Gasdichtigkeitsprüfung des Behälters: Heliumdichte 10^{-5} Torr l/s

14	3	Senkschraube A M8 x 15	DIN 63	V2A	
13	6	Zylinderschraube M6 x 12	DIN 912	V2A	
12	1	O-Ring Øn 194,2-5,7		Perbunan	Fa. Freudenberg
11	1	O-Ring Øn 39,2-3		Perbunan	Fa. Freudenberg
10					
9					
8	1	Siloneinsatz	MRTA 173		
7	1	Führungseinsatz	MRTA 187		
6	1	Isolier-Ring	MRTA 168		
5	1	Auflagescheibe	MRTA 167		
4	1	Kegelmanuel	MRTA 166		
3	1	Kegel	MRTA 165		
2	1	Schweißzng für Sifen	MRTA 164		
1	1	Entgaserdeckel	MRTA 155		



Teil	Stückzahl	Benennung	Zeichnungs-Nr. DIN-Bezeichnung	Hilfszeug Werkstoff	Bemerkung Modell-Nr.
Abweichungen für Maße ohne Toleranzangabe in mm nach DIN 7180 in µm					
Nennmaßbereich		Toleranz		Oberflächenrauhigkeit	
bis 6		±0,1		Ra	
6 bis 30		±0,15		Ra	
30 bis 100		±0,2		Ra	
100 bis 300		±0,3		Ra	
300 bis 500		±0,4		Ra	
500 bis 1000		±0,5		Ra	
1000 bis 3000		±0,8		Ra	
3000 bis 10000		±1,2		Ra	
Zul. Abweichung		±0,1		±0,2	
1967		Tag		Name	
gez.		21.11		P. A.	
geg.		13.12		P. A.	
Maßstab:		1:1		Besetzung:	
Pultab:		1:1		Zusammen-Nr.:	
Abbild:		1:2,5		Abbildung:	

Abb.6 Entgaser MRTA 152



Prinzipskizze vom
 Reaktoreinsatz
 Projekt FR 2/55

Name:	Baumgarten K. Haukeberg	Datum:	10. 5. 1967	Zeichnungs-Nr:	P055-1-41-1a
-------	----------------------------	--------	-------------	----------------	--------------

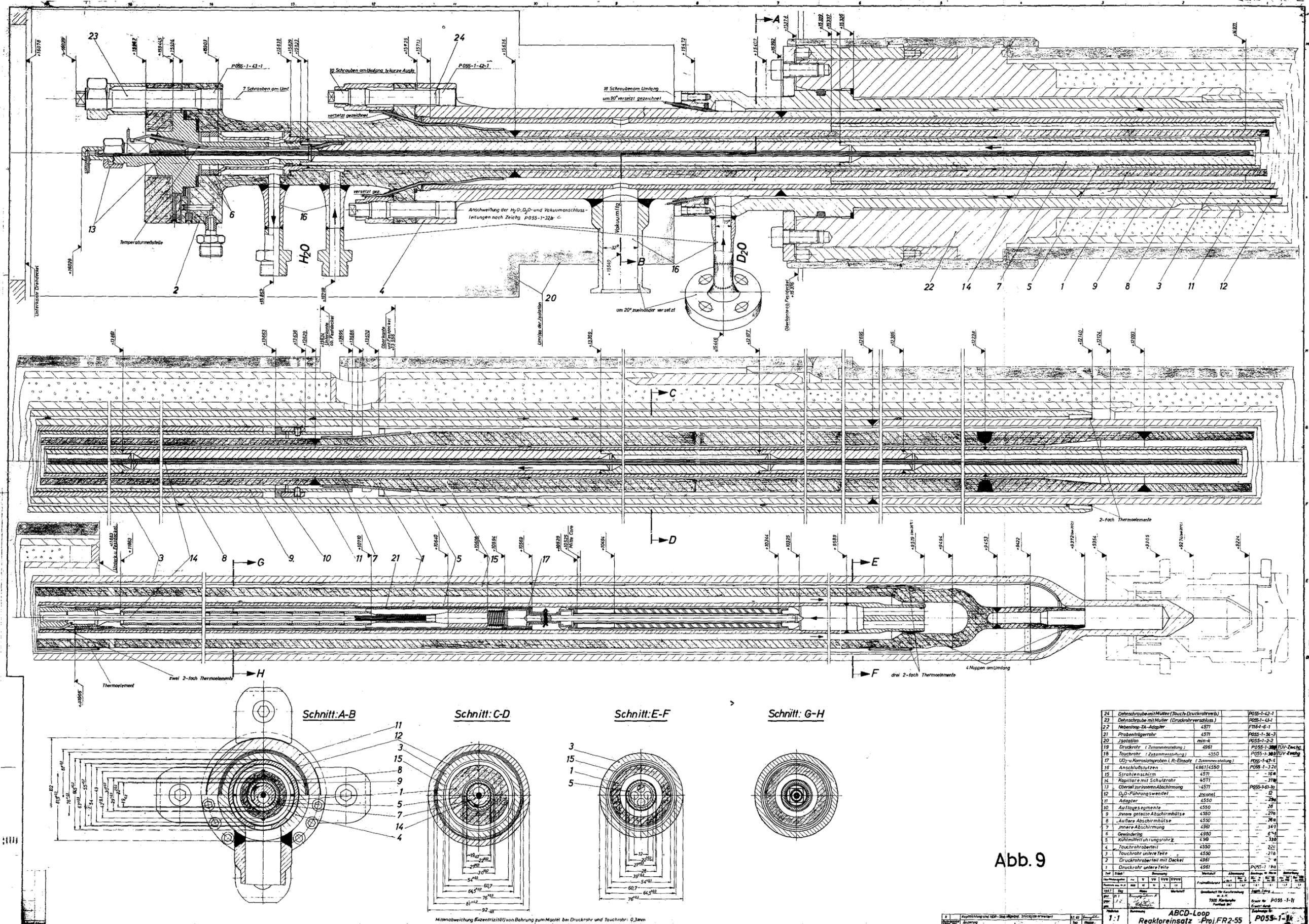
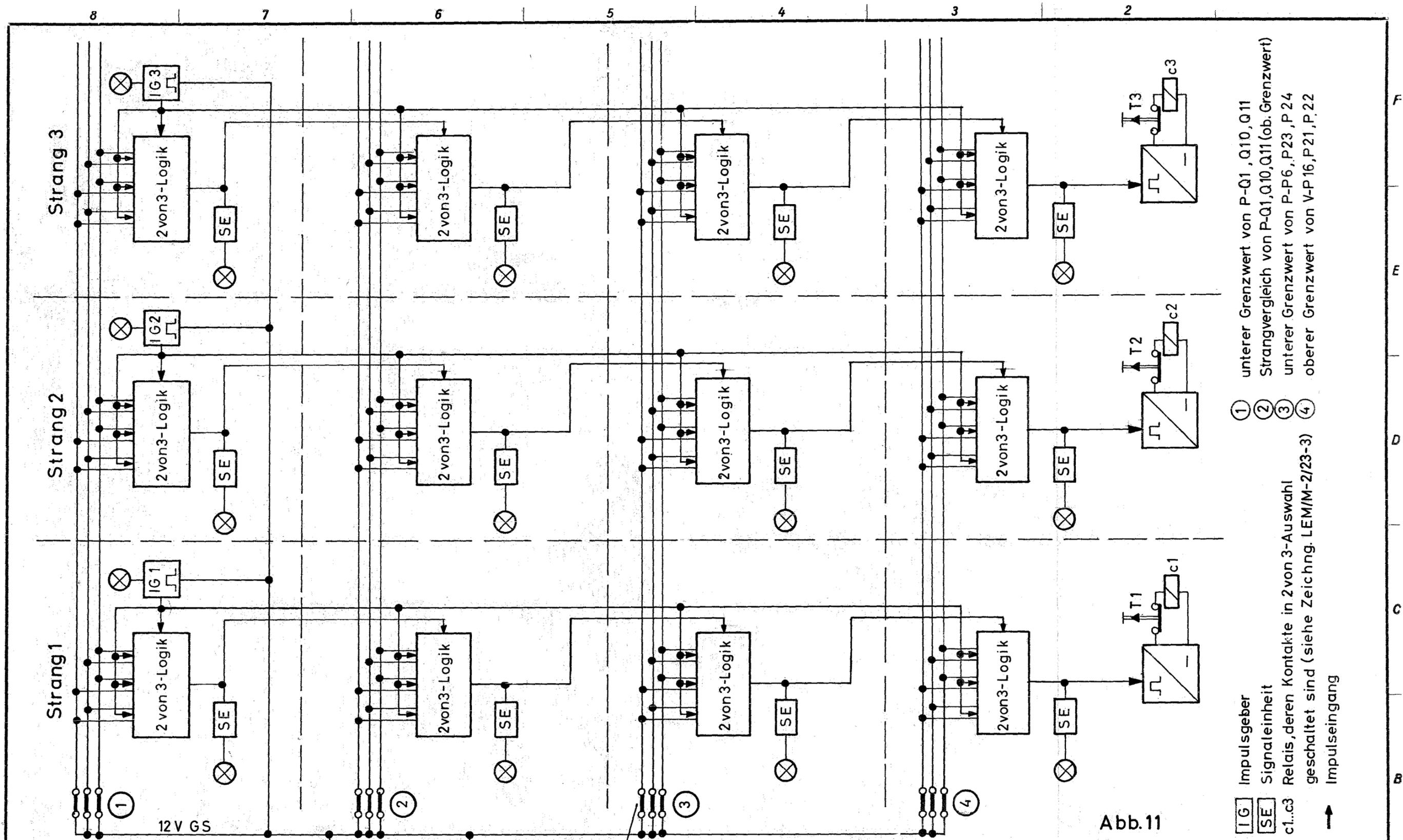


Abb. 9

24	Dehnschraube mit Mutter (Druckrohrverb.)	P055-1-43-1
23	Dehnschraube mit Mutter (Druckrohrverschluss)	P055-1-43-1
22	Nebenloop-TA-Adapter	FHE4-6-1
21	Probenträgerrohr	4571
20	Isolation	min-k
19	Druckrohr (Zusammenstellung)	P055-1-2-2
18	Tauchrohr (Zusammenstellung)	P055-1-3-2
17	U ₂ O ₃ -Korrosionsproben L-R-Einsatz (Zusammenstellung)	P055-1-43-1
16	Anschlußstutzen	4951/4250
15	Strahlenschutz	4571
14	Kapillare mit Schutzrohr	4571
13	Oberhalbtauchrohrabschirmung	4571
12	D ₂ O-Führungswendel	4571
11	Adapter	4550
10	Auflagesegmente	4550
9	Innere geteilte Abschirmhülse	4550
8	Äußere Abschirmhülse	4550
7	Innere Abschirmung	4550
6	Gewinding	4590
5	Kühlmittelführungsröhre	4590
4	Tauchrohrabstufung	4550
3	Tauchrohr untere Teile	4550
2	Druckrohrabstufung mit Deckel	4591
1	Druckrohr untere Teile	4591



- ① Impulsgeber
 - ② Signaleinheit
 - ③ Relais, deren Kontakte in 2 von 3-Auswahl geschaltet sind (siehe Zeichng. LEM/M-2/23-3)
 - ④ Impulseingang
- unterer Grenzwert von P-Q1, Q10, Q11
 Strangvergleich von P-Q1, Q10, Q11 (ob. Grenzwert)
 unterer Grenzwert von P-P6, P23, P24
 oberer Grenzwert von V-P16, P21, P,22

Abb. 11

12V GS

380V DS/50Hz

Notschiene ohne Unterbrechung

Grenzkontakte der Meßstellen

Paßmaß	Abmaß

Buchstabe	kommt vor	Änderung	Tag	Name

Teil	Stück	Benennung					Werkstoff	Abmessung		Zeichngs. Nr. Norm		Bemerkung
Oberflächenzeichen	~	▽	▽▽	▽▽▽	▽▽▽▽	Freimaßtoleranz	bis 6	über 6 bis 30	über 30 bis 100	über 100 bis 300	über 300 bis 1000	über 1000 bis 2000
Rauhtiefe max. in µ	1000	40	10	4	1,6		± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2
19 69	Tag	Name			Werkstoff		Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.		Zugeh. Zeichng.			
gez.	21.7.	<i>Watz</i>					7500 Karlsruhe		Ersatz für			
gepr.		<i>Stoll</i>					Postfach 947		Ersetzt durch			
ges.									Zeichnungs Nr.			
Maßstab		Benennung							LEM/M-2/22-3			
		Sicherheitsystem v. Projekt FR 2/55										
		Blockschaltbild										

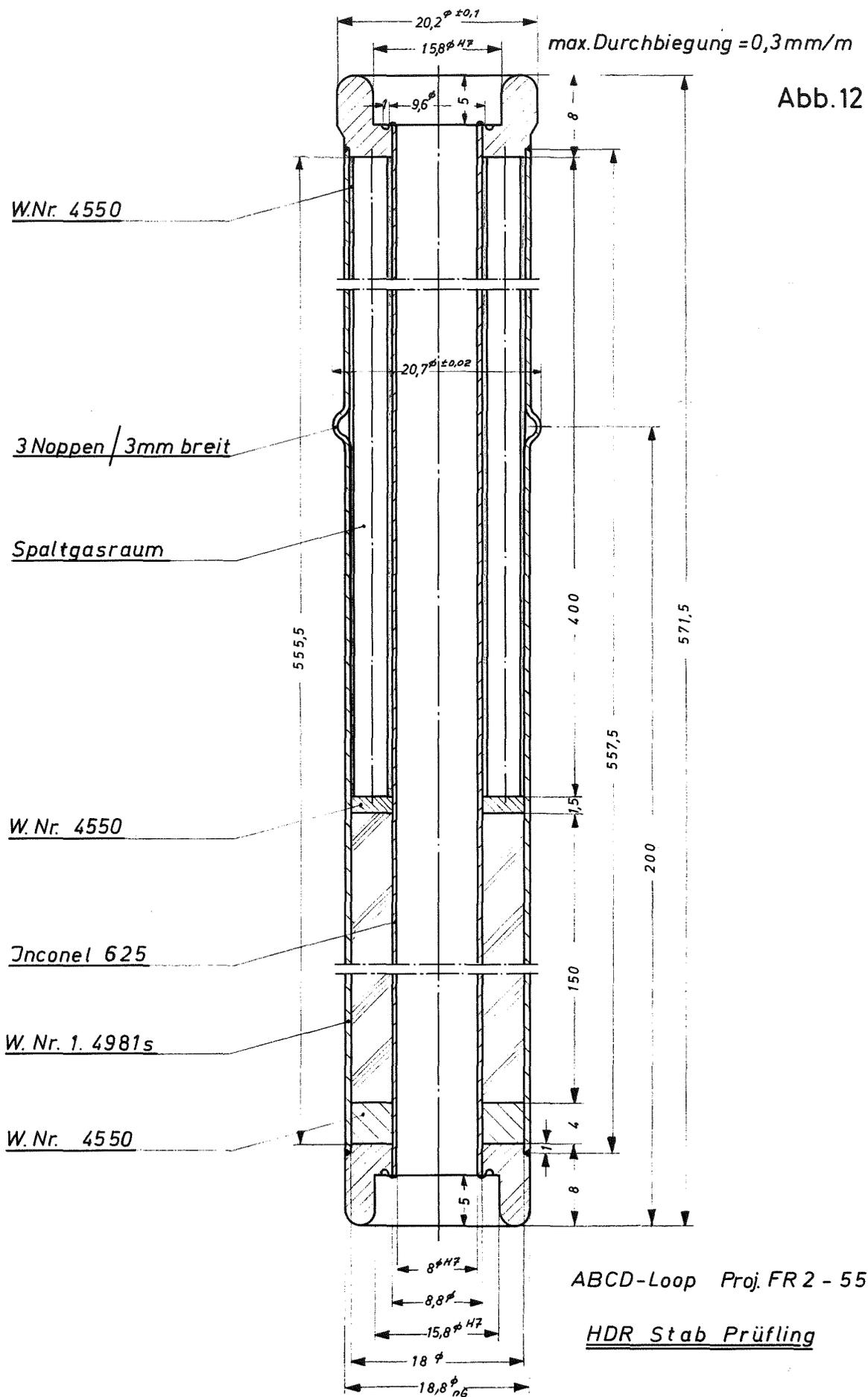


Abb.12

ABCD-Loop Proj. FR 2 - 55

HDR Stab Prüfling

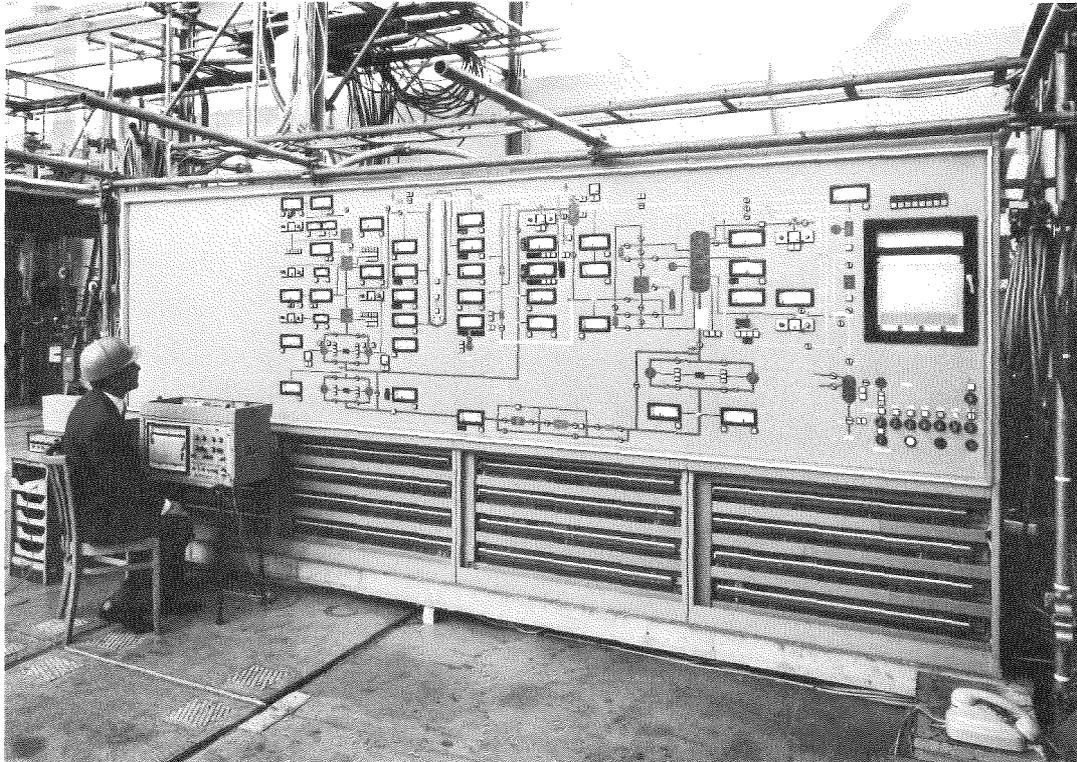


Abb. 13 Leitstand während der out-of-pile-
Erprobung