

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

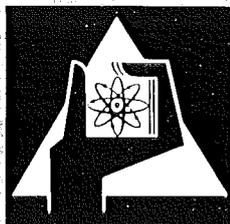
März 1971

KFK 1379

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

Die inhärenten Eigenschaften der verschiedenen
Primärkreislaufausführungen natriumgekühlter Reaktoren

R. A. Müller



**GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

März 1971

KFK 1379

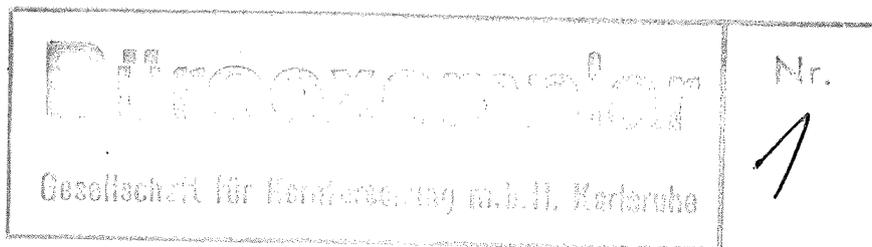
Institut für Reaktorentwicklung

Projekt Schneller Brüter

Die inhärenten Eigenschaften der verschiedenen
Primärkreislaufausführungen natriumgekühlter Reaktoren

von

R.A. Müller



Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Abstract

This report is an analysis of the fundamental structure of the system "primary circuit of sodium-cooled reactors". On the basis of a general description found by abstraction additional parameters are introduced stepwise so that the variants under consideration approach the real engineered designs. The method yields a consistent scheme comprising all possible variants up to a defined degree of refinement. The inherent properties are clearly attributed to the individual variants and indicated in this report.

All designs investigated and realized so far can be placed on specific positions in this "family tree" and thus can be definitely recognized as the specific solutions of the general system.

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die innere Struktur des Systems "Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren" analysiert. Ausgehend von einer durch Abstraktion gefundenen allgemeingültigen Beschreibungsform werden dabei schrittweise zusätzliche Einflußgrößen hinzugefügt, so daß sich die betrachteten Varianten den konkreten technischen Ausführungsformen immer mehr annähern. Das Verfahren führt auf ein logisch strukturiertes System, das alle bis zu einem bestimmten Detaillierungsgrad möglichen Varianten umfaßt. Den einzelnen Varianten können ihre inhärenten Eigenschaften eindeutig zugeordnet werden; diese werden angegeben.

Alle bisher ausgeführten Anlagen fügen sich in diesen "Stammbaum" an den entsprechenden Plätzen ein, so daß sie objektiv als die speziellen Lösungen des allgemeinen Systems erkennbar werden.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Die Basisdarstellung des Systems: "Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren"	2
3. Das normale Fließbild	3
4. Die räumliche Darstellung	4
5. Die Berücksichtigung der Schwerkraft	6
6. Schlußbemerkung	12

Abbildungen

- Abb. 1 Basisdarstellung des Systems:
"Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren"
- Abb. 2 Aus der Basisdarstellung hervorgehende Varianten bei Berücksichtigung der Zähigkeit des Kühlmittels
- Abb. 3 Aus Variante 1 (kalte Pumpe) hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von einfachen gegenseitigen Umschließungen der Kühlkreisabschnitte
- Abb. 4 Leckverhalten der Varianten 1.1 bis 1.10 bei Berücksichtigung der Schwerkraft
- Abb. 5 Aus Variante 1.1 hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von Kühlmittelspiegeln im Kühlsystem
- Abb. 6 Aus Variante 1.3 und 1.4 hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von Kühlmittelspiegeln im Kühlsystem
- Abb. 7 Aus Variante 1.6 und 1.7 hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von Kühlmittelspiegeln im Kühlsystem
- Abb. 8 Ausführungsformen und Methoden der Verankerung des Kühlsystemes
- Abb. 9 "Stammbaum" des Systemes:
"Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren"

1. Einleitung

Für die Primärkreise von natriumgekühlten Reaktoren sind bisher im wesentlichen zwei Bausysteme gebräuchlich: die konventionelle Loop-Bauweise und eine vollintegrierte Ausführung, die sogenannte Pool-Bauweise. Daneben werden verschiedene Zwischenlösungen, d.h. teilintegrierte- oder auch Multipool-Systeme diskutiert. Bei diesen befindet sich der Reaktorkern in einem zentralen Behälter und der Wärmeaustauscher und die Umwälzpumpe jedes Kühlkreises sind in einem gemeinsamen Komponentenbehälter eingebaut.

In der Vergangenheit ist wiederholt versucht worden herauszufinden, welche dieser Baulinien die optimale Ausführungsform für große Leistungsreaktoren darstellt. Zu einem zufriedenstellenden Ergebnis haben diese Bemühungen bisher jedoch nicht geführt. Dies ist vor allem auf die Tatsache zurückzuführen, daß jede dieser Ausführungen sehr spezielle betriebs- und sicherheitstechnische Eigenschaften aufweist, so daß letztlich die mehr oder weniger subjektive Wichtung dieser Eigenschaften bei der Beurteilung den Ausschlag gibt.

Um das Verständnis für die einzelnen Baulinien und Ausführungen und damit auch deren Beurteilung zu verbessern, wird in der vorliegenden Arbeit die innere Struktur des Systems "Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren" analysiert. Hierdurch werden die bestehenden Verknüpfungen und insbesondere die inhärenten Eigenschaften der einzelnen Varianten offengelegt.

Bei dieser Strukturanalyse wird das zu behandelnde System zunächst so weit abstrahiert, bis eine Beschreibungsform gefunden ist, die bei größtmöglichem Informationsinhalt für alle in Betracht zu ziehenden Einzelausführungen gilt. Der innere Aufbau des Reaktors, des Wärmeaustauschers und der Pumpe bleiben dabei unberücksichtigt. Diese Komponenten werden als geschlossene Teilsysteme betrachtet. Von dieser Basis ausgehend werden dann die bei der Abstraktion eliminierten Einflußgrößen schrittweise und systematisch wieder hinzugefügt. Jeder Schritt führt auf eine Ebene höheren Detaillierungsgrades, die eine endliche Anzahl möglicher Ausführungsformen enthält. Den einzelnen Varianten können dabei ihre inhärenten Eigenschaften eindeutig

zugeordnet werden. In den auf diese Weise entstehenden Stammbaum fügen sich alle bisher ausgeführten und projektierten Anlagen ein, so daß sie als spezielle Lösungen des allgemeinen Systems erkennbar werden.

2. Die Basisdarstellung des Systems "Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren"

Die durch Abstraktion gefundene grundlegende Beschreibungsform des Systems "Primärkreis" ist auf Abb. 1 dargestellt. Sie gilt für alle bisher bekannt gewordenen Ausführungen; die Namen der wichtigsten Anlagen sind mit angegeben.

Um diese Allgemeingültigkeit zu erreichen, mußte sehr weit abstrahiert werden. Wie aus der Abbildung ersichtlich, ist sogar die Umwälzpumpe weggefallen, d.h. auch die Reibung des Kühlmittels ist eliminiert worden. Das System besteht nur noch aus den beiden Kreislaufkomponenten Reaktor und Wärmeaustauscher, den diese Komponenten verbindenden Strömungskanälen und dem darin umlaufenden Kühlmittel. Das Zurückgehen bis zu dieser elementaren Stufe ist notwendig, um die gemeinsame Basis zu erfassen aus der alle speziellen Varianten durch zunehmende Differenzierung hervorgehen.

Es ist bemerkenswert, daß selbst der bescheidene Informationsinhalt dieser ersten Stufe bereits ausreicht, um den Wärmetransport bilanzmäßig zu beschreiben, d.h. den Zusammenhang zwischen der übertragenen Wärmeleistung, der spezifischen Wärme des Kühlmittels, dem Kühlmittelmassenstrom und der Aufwärmspanne des Kühlmittels sowie, in Verbindung mit der Dichte des Kühlmittels, auch dem Volumenstrom zu erfassen.

Die inhärenten Eigenschaften sind auf dieser Stufe naturgemäß noch sehr schwach ausgeprägt. Aus dem Temperaturverlauf im Kreislauf kann man lediglich ableiten: es ist ein unter niedriger und ein unter hoher Temperatur stehender Kühlmittelstrang vorhanden.

3. Das normale Fließbild

Eine erste Aufspaltung ergibt sich, wenn die Zähigkeit des Kühlmittels berücksichtigt wird. Hierdurch entsteht der Reibungsdruckabfall im Kühlkreis, zu dessen Überwindung eine dritte Kreislaufkomponente, die Umwälzpumpe, erforderlich ist. Sie kann an zwei Stellen in den Kreislauf eingeschaltet werden: in den heißen Strang, d.h. zwischen Reaktor und Wärmeaustauscher oder in den kalten Strang zwischen Wärmeaustauscher und Reaktor. Beide Ausführungen sind auf Abb. 2 dargestellt. Für die überwiegende Mehrzahl aller Anlagen wurde die kalte Anordnung der Pumpe gewählt, lediglich der KNK, der SNR und die FFTF verwenden Pumpen im heißen Strang.

Obwohl der mit Einführung der Umwälzpumpe erreichte Detaillierungsgrad noch sehr weit von dem einer realen Anlage entfernt ist, erlaubt diese Darstellung, bzw. diese "eindimensionale" Betrachtungsweise, bereits die Durchführung aller grundlegenden wärme- und strömungstechnischen Berechnungen und vieler sicherheitstechnischer Untersuchungen. So ist es möglich, die Heizflächen des Reaktors und Wärmeaustauschers zu bestimmen, die Druckverteilung, den Druckabfall im Kreislauf und die Pumpenenergie festzulegen usw. Mit angenommenen Kanallängen können außerdem die Transportzeiten und das Wärmespeichervermögen bestimmt und damit das dynamische Verhalten der Anlage untersucht werden. Hierbei haben der innere Aufbau und die Betriebscharakteristik der drei Kreislaufkomponenten Reaktor, Wärmeaustauscher und Umwälzpumpe selbstverständlich ebenfalls einen maßgebenden Einfluß.

Die inhärenten Eigenschaften der beiden auf Abb. 2 gezeigten Varianten ergeben sich aus den Temperatur- und Druckverläufen; diese sind auf der Abbildung in abgewickelter Form qualitativ mit dargestellt. Der Druckabfall tritt bei einer technisch sinnvollen Auslegung zum überwiegenden Teil, so wie dargestellt, im Reaktor auf. Analog zur Temperatur kann deshalb auch für den Druck als inhärente Eigenschaft festgehalten werden: es ist ein Niederdruck- und ein Hochdruck-Kühlmittelstrang vorhanden. Die weiteren inhärenten Eigenschaften sind für die beiden Varianten unterschiedlich. So gibt es bei Variante 1 keinen Kühlkreisabschnitt, der sowohl unter hoher Temperatur als auch unter hohem Druck steht, während bei Variante 2 ein solcher Abschnitt vorhanden ist. Vor allem aber gilt generell bezüglich der

Pumpen: bei (1) hat die Pumpe die niedrige Temperatur, bei (2) hat die Pumpe die hohe Temperatur. Dieses Merkmal beeinflusst die konstruktive Auslegung dieser Komponente. Bei der hohen Temperatur ist außerdem nach den derzeit vorliegenden Erfahrungen mit stärkeren Ablagerungen im Schutzgasraum zu rechnen. Bei gleichen Zulaufbedingungen der Pumpen kann man weiterhin festhalten, daß der Druck im Reaktor (Schutzgasdruck) bei Variante 1 höher als bei Variante 2 und im Wärmeaustauscher bei Variante 1 niedriger als bei Variante 2 ist. Diese Gesetzmäßigkeit ergibt eine weitere inhärente Eigenschaft, wenn man die bei natriumgekühlten Anlagen allgemein erhobene Forderung nach einem zur Primärseite gerichteten Druckgefälle im Wärmeaustauscher erfüllen will, um damit bei einem inneren Leck den Übertritt von Primärkühlmittel zur Sekundärseite zu verhindern. Diese Forderung kann bei (1) mit einem niedrigeren Sekundärdruck im Wärmeaustauscher als bei (2) erfüllt werden.

4. Die räumliche Darstellung

Die nächste Ebene mit höherem Detaillierungsgrad erhält man, wenn die Strömungskanäle nicht mehr lediglich als Stromfäden aufgefaßt werden, sondern wenn deren Querausdehnung, d.h. ihr endlich großer Strömungsquerschnitt mit berücksichtigt wird. Es besteht dann die Möglichkeit, die zwischen den Komponenten liegenden drei Abschnitte des Kühlkreises so zu führen, daß sie sich streckenweise oder gänzlich gegenseitig umschließen. Im folgenden sollen dabei allerdings zwei Einschränkungen gelten: einmal soll sich eine vorhandene Umschließung stets über die volle Länge des umschlossenen Abschnittes erstrecken und zum anderen sollen nur einfache Umschließungen zugelassen sein.

Für jede der beiden vorstehend erläuterten Varianten ergeben sich dann neun zusätzliche Ausführungsmöglichkeiten, d.h. zusammen mit der Grundausführung ohne Umschließung insgesamt zehn Untervarianten. Auf Abb. 3 sind die Untervarianten für die Ausführung 1 mit kalter Pumpe, die im folgenden allein weiter betrachtet werden soll, schematisch dargestellt. Die Rechtecke symbolisieren dabei die Querschnitte der Strömungskanäle I; II und III, entsprechend der ebenfalls mit dargestellten Fließbilddarstellung der Variante 1. In I

tritt die hohe, in II und III die niedrige Temperatur und in I und in II der niedrige, in III der hohe Druck auf, wie man anhand des auf Abb. 2 dargestellten Temperatur- und Druckverlaufes leicht nachprüfen kann. Bei den Untervarianten lassen sich vier Gruppen unterscheiden: die Ausführung ohne Umschließung und die drei Ausführungen, bei denen jeweils die Abschnitte I; II und III die Umschließung übernehmen.

Interessant ist jetzt die Zuordnung der Anlagen. Es bilden sich die beiden großen Gruppen: die Loop-Systeme, bei denen von der Möglichkeit des Einschlusses kein Gebrauch gemacht wird und die vollintegrierten Pool-Systeme, bei denen der Abschnitt II sowohl den Abschnitt I als auch den Abschnitt III einschließt. Dazwischen ist die 1970 auf der IAEA-Konferenz in Monaco veröffentlichte Ausführung einer teilintegrierten Anlage, das sogenannte Multipool-System eingeordnet. Mit diesem wird eine insgesamt optimalere Lösung angestrebt, als es die Loop- und Pool-Ausführungen für sich darstellen. Die Außenwandung des Kühlkreises wird hier von I und II gebildet, III ist von I umschlossen.

Jeder dieser Untervarianten lassen sich nun weitere inhärente Eigenschaften zuordnen. Man erkennt, daß alle Ausführungen außer den reinen Loop-Systemen nach (1.1) innere Trennwände im Kühlsystem aufweisen. Diese sind insgesamt oder in einzelnen Bereichen nur druckbelastet bei den Untervarianten 1.6; 1.7; 1.9; 1.10, nur temperaturbeansprucht bei (1.2; 1.3; 1.5; 1.6) und sowohl druck- als auch temperaturbeansprucht bei (1.3; 1.4; 1.8; 1.9). "Temperaturbeanspruchung" bedeutet dabei, daß es aufgrund der bestehenden Temperaturdifferenz zwischen den durch die Wand getrennten Kühlmittelströmen und der Stoffeigenschaften des Wandmaterials zu einem Wärmeaustausch und infolge der in der Wand dabei auftretenden Temperaturgradienten zu Wärmespannungen kommt. Beide Effekte müssen ausreichend niedrig gehalten werden und erfordern im allgemeinen eine im Kühlmittel liegende Wärmeisolierung.

Es ist weiterhin ersichtlich, daß die Außenwandung des Kühlmittelraumes, die das Kühlmittel von der Umgebung trennt, bei den einzelnen Untervarianten mit unterschiedlichen Temperaturen beaufschlagt wird.

Steht die gesamte Außenwandung unter gleichmäßiger Temperatur, so wie bei (1.3; 1.5; 1.6; 1.8; 1.9), dann sind keine Übergangszonen zwischen Bereichen unterschiedlicher Temperatur erforderlich. Bei (1.1; 1.2; 1.4; 1.7; 1.10) ist dies demgegenüber der Fall. Berücksichtigt man den bei Leistungsreaktoren üblicherweise auftretenden Temperaturbereich und wiederum die Stoffeigenschaften der infrage kommenden Materialien, dann sind bei niedriger Temperatur der Außenwandung prinzipiell auch billige ferritische Werkstoffe geeignet (1.5; 1.6; 1.8; 1.9). Bei hoher Temperatur sind hingegen teure ferritische Sonderlegierungen oder teure austenitische Werkstoffe erforderlich (1.3). Bei den Untervarianten 1.1; 1.2; 1.4; 1.7; und 1.10 treten schließlich beide Temperaturen an der Außenwandung auf, so daß hier eine gemischte Bauweise infrage kommen könnte.

Die Außenwandung ist schließlich auch druckmäßig unterschiedlich belastet. Dies ist von ausschlaggebender Bedeutung für das nachstehend noch im einzelnen zu behandelnde Verhalten nach einem Leck. Generell ist die Wandung bei den Untervarianten 1.3; 1.4; 1.6 und 1.7 niedrig, bei (1.9) hoch und bei (1.1; 1.2; 1.5; 1.8; 1.10) sowohl niedrig als auch hoch belastet.

5. Die Berücksichtigung der Schwerkraft

Eine weitere Detaillierung des Systems ergibt sich, wenn man als zusätzlichen Parameter die Schwerkraft einführt, d.h. wenn man die besonderen Eigenschaften der senkrechten Richtung des dreidimensionalen Raumes berücksichtigt. Die Schwerkraft hat zur Folge:

- daß der Druck in einem mit Kühlmittel gefüllten Raum eine Funktion der Höhe ist
- daß sich bei auftretenden Lecks außerhalb des Kühlkreises ein horizontaler Kühlmittelspiegel bildet
- daß sich bei abnehmender oder teilweiser Füllung innerhalb des Kühlkreises ein horizontaler Kühlmittelspiegel bildet
- daß das System im Raum verankert werden muß.

Damit können jetzt auch die Aussagen bezüglich des Leckverhaltens präzisiert werden. Hierbei ist wieder zu unterscheiden zwischen den Varianten, deren Außenwandung mit dem niedrigen Druck und denen, deren Außenwandung ganz oder teilweise mit dem hohen Druck belastet ist. Auf Abb. 4 sind diese beiden Gruppen mit den ihnen zugeordneten Anlagen und ihren inhärenten Eigenschaften zusammengestellt. Zu der ersten Gruppe (niedriger Druck auf Außenwandung) gehören neben dem Multipool-System alle Pool-Reaktoren. Bei ihnen läßt sich der Kühlmittelausfluß nach einem Leck durch eine drucklose, oben offene Auffangschale mit begrenztem Leervolumen, d.h. durch eine einfache passive Maßnahme, zum Stillstand bringen. Der Ausfluß endet, wenn die Höhe der sich in der Auffangschale bildenden Flüssigkeitssäule so weit angewachsen ist, daß ihr Druck zusammen mit dem auf den Spiegel der Säule wirkenden Gasdruck an der Leckstelle mit dem Innendruck ins Gleichgewicht tritt. Bei der zweiten Gruppe (hoher bzw. niedriger und hoher Druck auf Außenwandung) ist diese Maßnahme wegen der aus räumlichen Gründen begrenzten Bauhöhe für die Auffangschale immer dann nicht anwendbar, wenn das Leck in einer mit hohem Druck belasteten Wandung auftritt. Hier muß entweder eine druckfeste, allseitig geschlossene Auffanghülle, d.h. eine Doppelwandausführung (passive Maßnahme) vorgesehen werden oder, bei Verwendung einer drucklosen, oben offenen Auffangschale, muß durch zusätzliche aktive Maßnahmen sichergestellt werden, daß die Pumpe rechtzeitig schnell abgeschaltet wird bzw. die Absperrventile in den Kühlmittleitungen schnell geschlossen werden. Bei den dieser Gruppe zugeordneten Anlagen werden diese Maßnahmen in verschiedener Auswahl und Kombination angewendet.

Bei einigen Anlagen sind die genannten Maßnahmen allerdings allein noch nicht ausreichend, um nach Auftreten eines Lecks den Reaktorkern vom Kühlmittel bedeckt zu halten und die Abfuhr der Nachzerfallswärme sicherzustellen. In diesen Fällen werden weitere aktive Maßnahmen ausgelöst, wie z.B. das Nachspeisen von Kühlmittel in den Kühlkreis, das Absenken des Schutzgasdruckes usw. Andererseits gibt es auch einige Fälle, bei denen der Leckstrom allein durch das Absenken des Innenspiegels zum Stillstand kommt, sei es, daß dieser Spiegel selbst die Leckstelle erreicht, so daß dann nur noch Schutzgas austritt oder, daß bei Ausfluß infolge einer vorhandenen Heber-

wirkung diese Heberwirkung durch eine besondere Einrichtung unterbrochen wird. Hierauf kann im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht im einzelnen eingegangen werden.

Sind einzelne Strömungskanäle des Kühlkreises von vornherein nur teilweise mit Kühlmittel gefüllt, dann befindet sich über dem durch die Schwerkraft hervorgerufenem inneren Kühlmittelspiegel ein freier Raum, der wegen der Reaktionsfreudigkeit des Natriums mit Schutzgas gefüllt werden muß. Je nach Anordnung dieses Schutzgasraumes in einem oder mehreren der drei Abschnitte entstehen dadurch neue Untervarianten des Systems. Die Außenwandung des Kühlmittelraumes ist bei diesen nicht mehr in allen Bereichen vom Kühlmittel benetzt und die Strömungskanäle mit Schutzgasraum sind nicht mehr als Rohrleitungen, sondern als Rinnen, Schalen oder Behälter ausgebildet.

Auf Abb. 5 sind die entsprechenden Untervarianten für die Loop-Ausführung nach 1.1 dargestellt. Zusätzlich zu der Grundausführung 1.1.1, die keinen Gebrauch von der Möglichkeit eines freien Kühlmittelspiegels macht (der Spiegel liegt hier nur innerhalb der in dieser Arbeit als geschlossene System betrachteten Komponenten), ergeben sich die drei Untervarianten 1.1.2; 1.1.3 und 1.1.4. Praktisch ist von diesen Möglichkeiten allerdings bisher nur einmal beim italienischen PEC Gebrauch gemacht worden, diese Anlage spaltet sich deshalb hier von der Gruppe der reinen Loop-Systeme ab. Bei dieser Anlage werden die beiden Komponenten Wärmeaustauscher und Umwälzpumpe von einem gemeinsamen Tank eingeschlossen, der den teilweise gefüllten Kühlkreisabschnitt II darstellt.

Zu bemerken ist hierbei, daß sich jetzt gewisse Abweichungen von der realen Ausführung bemerkbar machen. Dies ist auf die der vorliegenden Untersuchung zugrunde gelegte Vereinfachung: "einheitliche Ausbildung der Kühlkreisabschnitte über ihre Länge" zurückzuführen. So befindet sich z.B. beim PEC die Pumpe nicht, wie hier gezeichnet, in der Wandung des Abschnittes II, sondern innerhalb des Kühlmittelraumes II, so daß ein von der Pumpe bis zur Durchtrittsstelle in der Wandung führendes Stück des Abschnittes III ebenfalls innerhalb des Kühlmittelraumes II liegt. Der Durchtritt erfolgt außerdem, abweichend von der schematischen Darstellung auf Abb. 5, durch den im Schutzgasraum liegenden Bereich der Außenwandung des Kühlmittelraumes.

Ähnliche Abweichungen treten auch bei einigen der folgenden Untervarianten auf. Sie haben jedoch keinen wesentlichen Einfluß auf die hier gemachten Aussagen.

Den Untervarianten nach Abb. 5 lassen sich bezüglich des Schutzgasraumes wieder einige inhärente Eigenschaften zuordnen. Bei (1.1.3; 1.1.4) tritt lediglich eine niedrige Schutzgastemperatur auf, so daß kaum mit Ablagerungen im Gasraum zu rechnen ist; bei (1.1.2) müssen derartige Ablagerungen wegen der hohen Temperatur in Betracht gezogen werden. Der Schutzgasdruck ist bei (1.1.2; 1.1.3) niedrig, so daß für die Abdichtung nach außen ein verhältnismäßig geringer Aufwand erforderlich sein wird. Außerdem ist dabei die im Schutzgas gespeicherte Energie gering, so daß bei einem auftretenden Leck durch das dann expandierende Schutzgas nur wenig Kühlmittel zusätzlich ausgetrieben wird. Zusätzliche aktive Sicherheitseinrichtungen, durch die im Falle eines Lecks der Schutzgasdruck schnell abgesenkt werden kann, sind deshalb hier entbehrlich. Bei (1.1.4) ist der Schutzgasdruck hoch, so daß sich eine vergleichsweise schwierigere Situation ergibt.

Im folgenden sollen nur noch die Varianten berücksichtigt werden, die aufgrund eines niedrigen Druckes auf der Außenwandung ein günstiges Leckverhalten zeigen. Von der zweiten Gruppe der Abb. 3 sind demnach die Varianten 1.3 und 1.4, von der dritten Gruppe die Varianten 1.6 und 1.7 zu berücksichtigen, die vierte Gruppe scheidet gänzlich aus.

Auf den Abb. 6 und 7 sind die hieraus hervorgehenden Untervarianten dargestellt. Dabei tritt in einzelnen Fällen ein Schutzgasraum auf, der sowohl mit einem auf niedriger Temperatur stehenden Kühlmittelspiegel als auch mit einem auf hoher Temperatur stehenden Kühlmittelspiegel in Kontakt steht. Dies ist z.B. der Fall bei der Untervariante 1.6.2 auf Abb. 7, d.h. den Anlagen PFR, PHENIX und BN 600. Der EBR II spaltet sich jetzt von dieser Gruppe ab, da bei ihm der Abschnitt II ohne Kühlmittelspiegel ausgeführt ist und der Schutzgasraum infolgedessen nur mit einem Kühlmittelspiegel einheitlicher niedriger Temperatur in Kontakt steht (1.6.1). Bei der Multipool-Ausführung nach (1.4.2) auf Abb. 6 tritt ebenfalls nur ein Kühlmittelspiegel mit einheitlicher niedriger Temperatur auf. Bei den Pool-

Reaktoren nach (1.6.2) muß infolgedessen wegen der hohen Schutzgastemperatur mit stärkeren Ablagerungen im Schutzgasraum gerechnet werden, bei (1.6.1; 1.4.2) ist derartiges nicht zu erwarten.

Die Schwerkraft stellt schließlich, wie vorstehend bereits erwähnt, zusätzlich die Aufgabe, das Primärkreissystem an einer raumfesten Umgebungsstruktur zu verankern. Aus geometrischen Gründen muß diese Verankerung an der Außenwandung des Kühlmittelraumes angreifen oder diese Wandung durchdringen. Im folgenden wird deshalb bezüglich der Verankerung und der daraus resultierenden Konsequenzen nur diese Außenwandung betrachtet. Für eine Klassifizierung und Beurteilung der auf diesem Gebiet bestehenden Möglichkeiten sind zunächst die vorgegebenen Bedingungen zu definieren.

Für die Außenwandung des Kühlmittelraumes gilt:

- die Temperaturen der Wandung können in einzelnen Bereichen unterschiedlich sein
- das Temperaturniveau der Wandung ändert sich beim Übergang von einem Betriebszustand zu einem anderen (z.B. von Stillstand zum Leistungsbetrieb); dabei können jedoch auch Bereiche mit konstanter Temperatur (meist Raumtemperatur) vorhanden sein.

Die raumfeste Umgebungsstruktur ist demgegenüber durch die folgende, idealisierte Eigenschaft gekennzeichnet:

- die Umgebungsstruktur hat eine niedrige, zeitlich konstante Temperatur (Raumtemperatur), alle Punkte dieser Struktur behalten deshalb stets die gleiche Lage.

Die Verankerung zwischen den beiden Systemen muß die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Das System Primärkreis ist mit der Umgebungsstruktur kraftschlüssig zu verbinden.
- An der Verbindungsstelle muß die Temperatur der Außenhülle des Primärsystems auf die Temperatur der raumfesten Umgebungsstruktur abgesenkt sein, um einen Wärmeabfluß und die Aufheizung der Umgebungsstruktur zu vermeiden (praktisch können allerdings geringe Wärmeströme zugelassen werden).

Hieraus lassen sich zunächst die folgenden allgemeinen Aussagen ableiten:

- Infolge der Ankerpunkte entstehen im Primärkreissystem raum-feste Punkte, sogenannte Fixpunkte.
- Bei mehr als einem Fixpunkt ist infolge der Temperaturänderung (Ausdehnung) in der Außenhülle eine Ausdehnungskompensation erforderlich.

Bezüglich der technischen Ausbildung der Verankerung gibt es verschiedene Möglichkeiten. So kann die Temperaturabsenkung in der Außenwandung selbst (im Gasraum) oder auch in den an der Wandung außen angebrachten Ankerteilen erfolgen. Im letzteren Fall ist neben der stetigen auch eine sprungförmige Temperaturabsenkung, z.B. an den Auflagerstellen, möglich. Man kann weiterhin unterscheiden zwischen einer festen mechanischen Verbindung, oder einer verschiebbaren Auflagerung (gleitend, rollend oder durch elastisch-plastische Deformation). Bei einer festen Verbindung ergibt jede Verankerungsstelle einen Fixpunkt, der allerdings auch räumlich ausgedehnt sein kann, wenn die feste Verbindung an einem zusammenhängenden Bereich der Hülle angreift, in dem die Temperatur konstant auf Umgebungstemperatur gehalten wird. (Z.B. beim englischen PFR ausgeführt.) Bei der verschiebbaren Auflagerung bilden jeweils 2 symmetrisch gegenüberliegende Auflager einen (inmateriellen) Fixpunkt. Hierbei können bei Verwendung von mehr als einem Auflagerpaar auch mehrere Fixpunkte in einem Punkt zusammenfallen.

Die Behandlung aller dieser möglichen Ausführungsformen der Verankerung in Verbindung mit allen bisher betrachteten Varianten ist wegen der sehr großen Anzahl der sich ergebenden Untervarianten hier nicht mehr möglich. Es sollen deshalb jetzt nur noch die Varianten betrachtet werden, denen wenigstens eine der bisher namentlich genannten Anlagen zugeordnet ist. Bezieht man die Beurteilung bezüglich der inhärenten Eigenschaften weiterhin nur auf die Zahl der Fixpunkte (bei den vier reinen Loop-Ausführungen), sowie zusätzlich auf die Beanspruchungsart an den Ankerstellen und die Ausführung der Verankerung (bei den übrigen namentlich genannten Anlagen), dann ergibt sich die auf Abb. 8 dargestellte Aufteilung. Man erkennt, daß lediglich bei den Pool-Reaktoren nach Variante 1.6.2 eine weitergehende Differenzierung erfor-

derlich ist. Diese Pool-Reaktoren haben zwar alle nur einen Festpunkt, bezüglich der Beanspruchungsart und der Ausführung der Verankerung unterscheiden sie sich jedoch. So sind beim BN 600 die verschiebbaren Verankerungsteile lediglich auf Druck beansprucht, so daß selbst ein größerer Schaden an diesen Ankerteilen zu keiner größeren Verlagerung des Primärsystems führen kann. Die Anlagen PHENIX und EBR II verwenden ebenfalls verschiebbare Auflager, diese sind hier jedoch auf Zug beansprucht. Der PFR ist gleichfalls aufgehängt, d.h. in der Verankerung auf Zug beansprucht. Hier wurde jedoch eine feste Verankerung gewählt (der Temperaturabbau erfolgt hier in der Außenwandung im Gasraum). Das gleiche System ist beim Monaco-Multipool und PEC vorgesehen, diese Anlagen haben jedoch zwei Fixpunkte, so daß hier eine Ausdehnungskompensation in der Außenhülle erforderlich ist.

Für die Loopsysteme wurde die Verankerung im einzelnen hier nicht behandelt. Es kann lediglich festgehalten werden, daß generell in jedem Kühlkreis des Primärsystems drei Festpunkte vorhanden sind zwischen denen eine Ausdehnungskompensation in der Außenhülle erforderlich ist.

6. Schlußbemerkung

Die vorstehend ausgeführte systematische Entwurfsanalyse hat gezeigt, daß man, ausgehend von der durch Abstraktion gefundenen Basisdarstellung, durch schrittweise Annäherung an die realen technischen Gegebenheiten die möglichen Varianten des Systems "Primärkreis für natriumgekühlte Reaktoren" und die diesen Varianten zugeordneten inhärenten Eigenschaften definieren kann. Die Zahl der Varianten steigt allerdings mit zunehmender Annäherung an die reale technische Ausführung sehr stark an, so daß eine systematische manuelle Bearbeitung sehr bald ihr Ende findet. Es erscheint jedoch nicht ausgeschlossen, daß sich durch den Einsatz von Datenverarbeitungsanlagen auch hier in absehbarer Zeit wesentlich erweiterte Möglichkeiten ergeben.

Bemerkenswert ist andererseits, daß sich die grundlegenden Baulinien bereits auf den ersten, durchaus noch manuell zu behandelnden Ebenen des "Stammbaumes" herausbilden. Dies zeigt nochmals die Abb. 9, auf

der die vorstehend ausgeführte Analyse vereinfacht zusammengefaßt ist:

Aus der Basisdarstellung gemäß Abb. 1 ergaben sich nach Berücksichtigung der Zähigkeit die beiden Varianten 1 und 2. Für die Variante 2 wurden die Untersuchungen hier bereits abgebrochen. Aus der Variante 1 ergaben sich nach Berücksichtigung der räumlichen Ausdehnung und der Möglichkeit einer gegenseitigen Umschließung der Kühlkreisabschnitte insgesamt 10 Untervarianten. Hier trennten sich die Loop- und die Pool-Systeme sowie das Multipool-System. Nach Einführung der Schwerkraft konnte das Leckverhalten konkretisiert werden, wobei zwischen zwei Gruppen (mit passiven und aktiven Schutzmaßnahmen) zu unterscheiden war. Eine weitere Differenzierung wurde erzielt, nachdem innere Kühlmittelspiegel zugelassen wurden. Hierdurch kam es bei den Loop-Systemen zur Abspaltung der Anlage PEC und bei den Pool-Systemen separierte sich der EBR II. Der letzte Schritt bezog sich schließlich auf die Verankerung; hierdurch wurden in ersten Ansätzen die Probleme der thermischen Ausdehnung erkennbar. Die inhärenten Eigenschaften jeder Variante sind stets durch die von den Vorläufern "vererbten" und die auf der letzten Detaillierungsstufe neu hinzugekommenen gegeben.

Eine Vertiefung der hier begonnenen Analyse ist in drei Richtungen möglich: einmal können ähnliche systematische Entwurfsanalysen für die hier als geschlossene Teilsysteme betrachteten Komponenten (Reaktor, Zwischenwärmeaustauscher, Pumpe) ausgeführt werden. Die auf diese Weise gefundenen Ergebnisse wären dann in das Gesamtsystem einzufügen. Zum anderen könnten die Auswirkungen der Höhenlage der einzelnen Komponenten untersucht werden. In Verbindung mit der Schwerkraftwirkung würden hierdurch das Leckverhalten der Systeme und die in diesem Zusammenhang stehenden Sondereinrichtungen, wie z.B. Vakuum- und Syphonbrecher, detailliert erfaßt werden. Außerdem ließen sich dabei Fragen der Strömungsrichtung in den Komponenten und des Naturumlaufs behandeln. Die dritte Richtung schließlich betrifft die Umgebung des Primärsystemes, in dem z.B. die Erfordernisse der Strahlenabschirmung, des Wechsels der Brennelemente und der Komponenten behandelt würden. Wegen der Dominanz der senkrechten Richtung würden hierbei u.a. die räumlichen Wechselwirkungen zwischen

einer heißen Montagezelle über dem Reaktor und der darunter befindlichen Reaktoranlage sichtbar werden. Diese Frage ist z.B. für reine Pool-Reaktoren von großer Bedeutung, wenn diese mit einer Montagezelle kombiniert werden sollen.

Literaturverzeichnis

Dounreay: Proceedings of the Symposium on the Dounreay Fast Reactor. USAEC file No. NP-10685, London, 1961

J. L. Phillips, A. G. Frame;
The Dounreay Fast Breeder Reactor Experiments.
Symposium Proceedings (STI/PUB /51), Vienna, 1961

D. R. Mathews, K. J. Henry;
Location and Repair of a Leak in the Dounreay Fast Reactor Primary Circuit.
J. Brit. Nucl. Energy Soc., 8(3), July 1969

PFR: R. H. Campbell;
PFR Design and Construction - A Progress Statement.
Nuclex 69, Technical Meeting 4/1, 1969

A. G. Frame et al. ;
Design of the Prototype Fast Reactor.
BNES Conf. on Fast Breeder Reactors, Paper 3/3,
London, 1966

Enrico Fermi: N. T. Peters;
Development of the Primary System for the Enrico Fermi Atomic Power Plant.
USAEC Report APDA-308, June 1968

Enrico Fermi Atomic Power Plant.
Part B: Technical Information and Hazards Summary Report, Vols 1-6
USAEC file No. NP-10458, July 1961

Enrico Fermi Atomic Power Plant.
USAEC-Report APDA-124, Jan. 1959

- EBR II: L. J. Koch, et al. ;
Hazard Summary Report of the Experimental Breeder
Reactor II (EBR - II)
ANL-5719, Argonne National Laboratory, May 1957
- L. J. Koch, et al. ;
Addendum to Hazard Summary Report: Experimental
Breeder Reactor II (EBR-II)
ANL-5719(Addendum), Argonne Nat. Lab., June 1962
- SEFOR: G. Belluris, et al. ;
SEFOR Plant Design, Proceedings of the National
Topical Meeting on Fast Reactors.
ANS-101 (CONF-670413), San Francisco, 1967
- B. Wolfe, et al. ;
SEFOR- A Status Report.
ANS-100, American Nuclear Society, Detroit, 1965
- FFTF: Fast Flux Test Facility, Periodic Technical Reports
BNWL-Reports (UC-80), Battelle Northwest, May 1969
- Design Safety Criteria for Fast Flux Test Facility.
BNWL-823, Battelle Northwest, June 1968
- RAPSODIE: C.P. Zaleski, L. Vautrety;
The Fast Breeder Reactor Rapsodie.
USAEC-Report, AEC-tr-6310, Nov. 1963
- J. Fournier, et al. :
Safety Examination of the Rapsodie Reactor.
Proceedings of the International Conference on the
Safety of Fast Reactors.
p. VI-9-1, Internat. Conf. on the Safety of Fast Reactors,
Aix-en-Provence, 1967
- PHENIX: Phenix, Prototypes Fast Neutron Nuclear Power Station.
AEC-tr-7130, United States Energy Commission, Febr. 1970
- R. Carle, et al. ;
The Phenix Reactor.
ANS-101 (CONF-670413), San Francisco, 1967
- BR-5: A. Leipunski;
Experience d'Exploitation du Reacteur BR-5.
Conf. sur l'Expérience d'Exploitation de Reacteurs de
Puissance, Vienne, Juin 1963

BN 350:

A. I. Leipunski, et al. ;
The BN-350 Atomic Power Plant.
ANS-100 (Suppl.), Papers to the Conf. on the Fast
Reactor Technology, Detroit, 1965

A. I. Leipunski, et al. ;
The BN-350 and BOR Fast Reactors .
Paper No. 3/1 to the Conf. on Fast Breeder Reactors,
May 1966

A. A. Pineskii, et al. ;
The Coolant System Safety of the Reactor BN-350
and BOR.
p. VI-4-1, Internat. Conf. on the Safety of Fast Reactors,
Aix-en-Provence, 1967

A. I. Leipunski, et al. ;
Das Kernkraftwerk BN-350.
KFK-tr-169, Veröffentl. des Instituts für Physik und
Energetik Obninsk, April 1965

W. Mitchell;
The BN-350 Reactor.
Reactor and Fuel-Processing Technology, Vol. 12
1969, p. 323-333

BOR:

A. I. Leipunski, et al. ;
The BN-350 and BOR Fast Reactors.
Paper No. 3/1 to the Conf. on Fast Breeder Reactors,
May 1966

A. A. Pineskii, et al. ;
The Coolant System Safety of the Fast Reactors,
BN-350 and BOR.
p. VI-4-1, Internat. Conf. on the Safety of Fast Reactors,
Aix-en-Provence, 1967

BN-600:

A. I. Leipunski, et al. ;
The BN-600 Fast Reactor.
Nuclex 69, Technical Meeting No. 4/5, 1969

A. I. Leipunski, et al. ;
The Atomic Power Station BN-600.
IPRS-46747 (CONF-680829-6), Oct. 1968

JOYO:

K. Tomabechi;
Present Status of Fast Reactor "JOYO"
N241 71-02, Topical Meeting on Fast Flux Test
Reactor Design, Karlsruhe, 1971

- KNK: H. Tebbert, et al.;
Die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
Karlsruhe (KNK)
Atom und Strom, Jahrg. 13, 1967, S. 117-129
- R. Harde, K. W. Stöhr;
Die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage
Karlsruhe (KNK).
Atomwirtschaft-Atomtechnik, Jahrg. XI, 1966, S. 354-360
- SNR: R. Ernst, et al.;
Schnelle Brutreaktoren - wirtschaftliche und technische
Aussichten und aktueller Stand verschiedener Ausle-
gungen, insbesondere hinsichtlich des Kühlmittels.
Nuclex 69, Technical Meeting No. 4 /4, 1969
- H. Hillekum;
Anlagenaufbau des 300 MWe SNR.
Tagungsbericht (S. 601), Reaktortagung, Berlin, 1970
- PEC: P. Aiello, et al.;
PEC: Status of the Design before Construction.
ANL-7520, Part II; Internat. Conf. on Sodium Technology
and Large Fast Reactor Design, Nov. 1968
- F. Pierantoni, et al.;
The PEC Reactor - A Fuel Testing Fast Reactor.
ANS-101 (CONF-670413), San Francisco, 1967
- Multipool: R. A. Müller;
A Partly Integrated Cooling System for Liquid Metal
Cooled Reactors.
IAEA-SM-130/42, Conf. on Sodium Cooled Fast Reactor
Engineering, Vienna, 1970

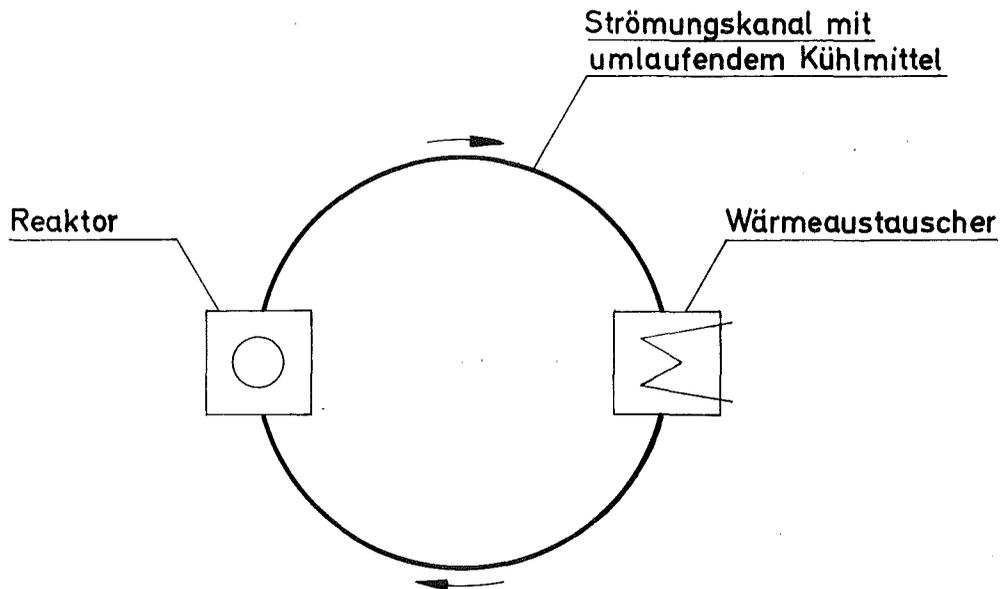
Zusammenfassende Literatur

- P. V. Evans;
Fast Breeder Reactors.
Proceedings of the London Conf. on Fast Breeder
Reactors, organized by the British Nuclear Energy
Society, 17 - 19 May, 1966
Program Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford
- International Atomic Energy Agency;
Directory of Nuclear Reactors.
Vol. I - IV, May 1961

I. Charak;
The Emergency Core-Cooling Problem in LMFBR' s.
Reactor Technology, Vol. 13, No. 3

M. Aberdam, G. Gros;
Liquid Metal Reactor Cooling Systems.
EURFNR-42F, Übersetzung aus dem Französischen,
Februar 1965

American Nuclear Society;
Fast Reactor Technology.
ANS-100, National Topical Meeting, April 1965



gültig für alle bisher bekanntgewordenen Anlagen, u.a.

für:	Dounreay	BR 5	
	PFR	BN 350	SNR
	FERMI	BOR	PEC
	EBR II	BN 600	Monaco-M. P.
	SEFOR	JOYO	
	FFTF	KNK	
	Rapsodie		
	PHENIX		

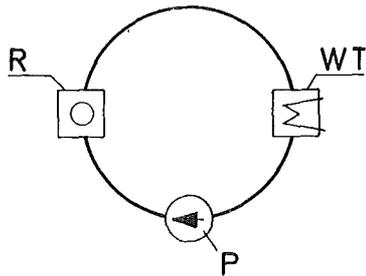
Inhärente Eigenschaften:

Es ist ein unter niedriger und ein unter hoher Temperatur stehender Kühlmittelstrang vorhanden

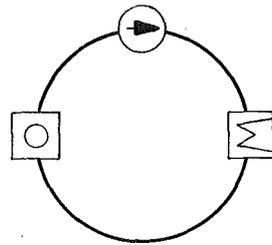
Abb. 1 Basisdarstellung des Systems:
„Primärkreis für Na - gekühlte Reaktoren“

Mögliche Varianten :

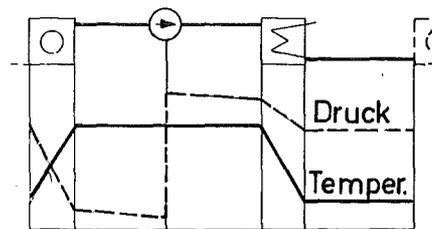
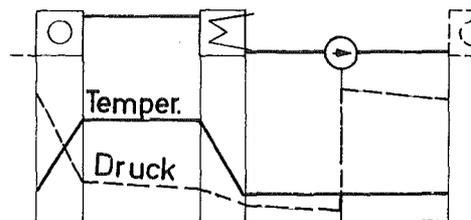
„kalte“ Pumpe (1)



„heiße“ Pumpe (2)



Druck- und Temperaturverläufe :



Zugeordnete Anlagen :

Dounreay	Rapsodie	BN 600	KNK
PFR	PHENIX	JOYO	SNR
FERMI	BR 5	PEC	FFTF
EBR II	BN 350	Monaco M.-P.	
SEFOR	BOR		

Inhärente Eigenschaften:

<ul style="list-style-type: none"> - es ist ein Niederdruck- und ein Hochdruck-Kühlmittelstrang vorhanden - es gibt keinen Kühlkreisabschnitt, der sowohl unter hoher Temperatur als auch unter hohem Druck steht - Pumpe hat niedrige Temperatur - Druck im Reaktor höher, im WT niedriger als bei (2) - für „inwärts“- Druckgefälle im WT niedriger Sekundärdruck ausreichend als bei (2) 	<ul style="list-style-type: none"> - es ist ein Niederdruck- und ein Hochdruck-Kühlmittelstrang vorhanden - unter hoher Temperatur und hohem Druck stehender Kühlkreisabschnitt ist vorhanden - Pumpe hat hohe Temperatur - Druck im Reaktor niedriger, im WT höher als bei (1) - für „inwärts“- Druckgefälle im WT höherer Sekundärdruck erforderlich als bei (1)
--	---

Abb. 2 Aus der Basisdarstellung hervorgehende Varianten bei Berücksichtigung der Zähigkeit des Kühlmittels (normale Fließbilder)

Mögliche Untervarianten:		ohne Um- schließung	Abschnitt I schließt ein			Abschnitt II schließt ein			Abschnitt III schließt ein			Definition der Kühlkreisabschnitte:	
		I II III	I II III	I II III	I III II	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III		
Nr.		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10		
Zugeordnete Anlagen:		Dounréay FERMI SEFOR Rapsodie BR 5 BN 350 BOR JOYO PEC			Monaco- M.-P.		EBR 2 PFR PHENIX BN 600						
Inhärente Eigenschaften:													
Trennwände im Kühlmit- telraum	nein	×											
	ja	druckbe- lastet					×	×		×	×		Trennwand nur Druckbeansprucht
		nicht dr.- belastet			×	×				×	×		Trennwand Druck- und Temperaturbeansprucht Wärmeisolierung im Natrium erforderlich
Temperatur der Außen- wandung des Kühlmit- telraumes	niedrig					×	×		×	×		billige ferritische Werkstoffe geeignet keine Temperaturübergangszonen in der Außenwandung	
	niedrig u. hoch	×	×		×			×			×	evtl. Austenit mit Ferrit kombiniert Temperaturübergangszonen in der Außenwandung	
	hoch			×								teure austenitische Werkstoffe erforderlich keine Temperaturübergangszonen in der Außenwandung	
Druck auf die Außen- wandung des Kühlmit- telraumes	niedrig			×	×		×	×				Bei auftretendem Leck niedrige Druckdifferenz wirksam	
	niedrig u. hoch	×	×			×			×		×	Bei auftretendem Leck niedrige oder erhöhte Druckdifferenz wirksam, je nach Lage der Leckstelle	
	hoch									×		Bei auftretendem Leck, um Pumpendruck erhöhte Druckdifferenz wirksam	

Abb. 3 Aus Variante 1 (kalte Pumpe) hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von einfachen gegenseitigen Umschließungen der Kühlkreisabschnitte

Varianten mit niedrigem Druck auf die Außenwandung des Kühlmittelraumes:

Nr.	1.3	1.4	1.6	1.7
<u>Zugeordnete Anlagen:</u>		Monaco M. - P.	EBR II PFR PHENIX BN600	

Inhärente Eigenschaften:

Begrenzung des Kühlmittelverlustes ist möglich durch eine drucklose, oben offene Auffangschale mit begrenztem Leervolumen
(passive Maßnahme)

Varianten mit hohem bzw. mit hohem und niedrigem Druck auf die Außenwandung des Kühlmittelraumes:

Nr.	1.1	1.2	1.5	1.8	1.9	1.10
<u>Zugeordnete Anlagen:</u>	Dounreay FERMI SEFOR RAPSODIE BR 5 BN 350 BOR JOYO PEC					

Inhärente Eigenschaften:

Begrenzung des Kühlmittelverlustes ist möglich: durch
 - eine druckfeste, allseitig geschlossene Auffanghülle,
 (passive Maßnahme)
 oder eine drucklose, oben offene Auffangschale und zusätzliches Abschalten bzw. schnelles Zurückregeln der Pumpe bzw. schnelles Schließen von Absperrventilen
 (aktive Maßnahmen)

Abb. 4 Leckverhalten der Varianten 1.1 bis 1.10 bei Berücksichtigung der Schwerkraft

Mögliche
Untervarianten:

Prinzip				
Schema				
Nr.	1. 1. 1.	1. 1. 2.	1. 1. 3.	1. 1. 4.

Zugeordnete Anlagen:

Dounreay
FERMI
SEFOR
RAPSODIE
BR 5
BN 350
BOR
JOYO

PEC

Inhärente Eigenschaften:

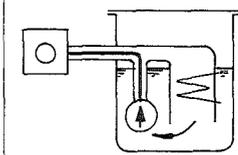
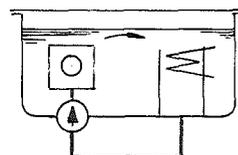
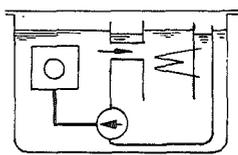
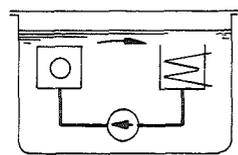
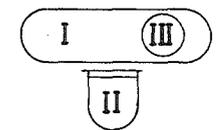
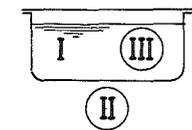
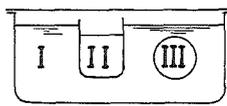
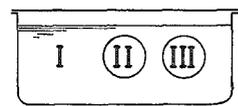
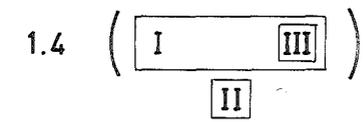
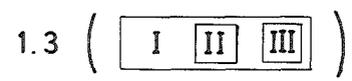
Schutzgastemperatur (Spiegeltemperatur)	niedrig			×	×	geringe Ablagerungen im Schutzgasraum
	hoch		×			starke Ablagerungen im Schutzgasraum
Schutzgasdruck	niedrig		×	×		geringer Aufwand für Abdichtung nach außen erf., geringe gespeicherte Energie
	hoch				×	größerer Aufwand für Abdichtung nach außen erf., höhere gespeicherte Energie

Abb.5 Aus Variante 1.1 (I II III) hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von Kühlmittelspiegeln im Kühlsystem

Ausgangsvariante

Mögliche Untervarianten:

Prinzip
Schema
Nr.



1.3.1

1.3.2

1.4.1

1.4.2

Zugeordnete Anlagen:

Monaco - Multipool

Inhärente Eigenschaften:

Schutzgastemperatur (Spiegeltemperatur)	niedrig				×	geringe Ablagerungen im Schutzgasraum
	niedrig u. hoch		×			Ablagerungen abhängig von spezieller Ausführung, evtl. erhöht wegen verstärkter Konvektion im Schutzgasr.
	hoch	×		×		starke Ablagerungen im Schutzgasraum

Abb.6 Aus Variante 1.3 (I II III) und 1.4 (I III)
II hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von Kühlmittelspiegeln im Kühlsystem

Ausgangsvariante

Mögliche Untervarianten:

Prinzip

Schema

Nr.

Zugeordnete Anlagen:

Inhärente Eigenschaften:

		1.6 (I II III)		1.7 (I II III)		
Schutzgastemperatur (Spiegeltemperatur)	niedrig	×		×		geringe Ablagerungen im Schutzgasraum
	niedrig u. hoch		×			Ablagerungen abhängig von spezieller Ausführung, evtl. erhöht wegen verstärkter Konvektion im Schutzgasr.
	hoch				×	starke Ablagerungen im Schutzgasraum

Abb. 7 Aus Variante 1.6 (I II III) und 1.7 (I II III) hervorgehende Untervarianten bei Zulassung von Kühlmittelspiegeln im Kühlsystem

Varianten:

Prinzip							
Schema							
Nr.	1. 1. 1	1. 1. 3	1. 4. 2	1. 6. 1	1. 6. 2		
Zugeordnete Anlagen:	Dounreay FERMI SEFOR Rapsodie BR 5 BN350 BOR JOYO	PEC	Monaco Multipool	EBR-II	PFR	PHENIX	BN600
Inhärente Eigenschaften:							

Anzahl der Fixpunkte in der Außenwandung des Kühlsystemes	1				×	×	×	×	keine Ausdehnungskompensation in Außenwandung erforderlich
	2		×	×					Ausdehnungskompensation in Außenwandung erforderlich
	3	×							Ausdehnungskompensation in Außenwandung erforderlich
Beanspruchungsart an den Ankerstellen	Zug		×	×	×	×	×		bei Ankerschäden evtl. größere Verlagerung des Kühlsystemes
	Druck	nicht mit betrachtet						×	bei Ankerschäden keine größere Verlagerung des Kühlsystemes
Ausführung der Verankerung	feste Verbindung	nicht mit betrachtet	×	×		×			jede Verankerungsstelle bildet einen Fixpunkt, dieser kann räumlich ausgedehnt sein
	verschiebbare Auflagerung	nicht mit betrachtet				×		×	×

Abb. 8 Ausführungsformen und Methoden der Verankerung des Kühlsystemes

Basisdarstellung
(1. Ebene; Abb.1)

+ Zähigkeit, d.h. Pumpe
(2. Ebene; Abb. 2)

+ räumliche Ausdehnung der Kanäle,
d. h. Umschließung
(3. Ebene; Abb.3)

+Schwerkraft
(4. Ebene)

1. Leckverhalten
(Abb. 4)

2. innerer Kühlmittelspiegel
(Abb. 5; 6; 7)

3. Verankerung
(Abb. 8)

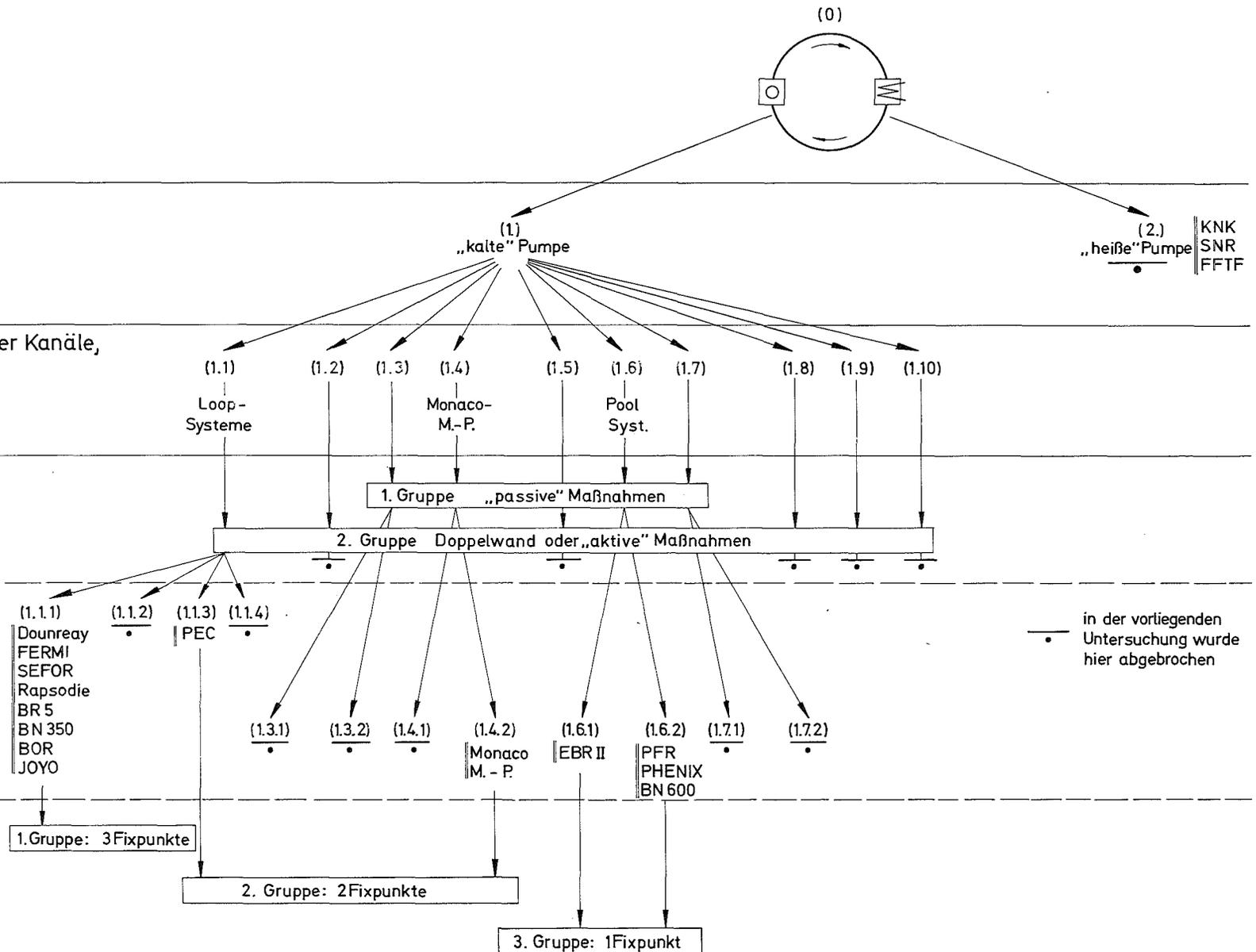


Abb. 9 „Stammbaum“ des Systemes: „Primarkreis für Na-gekühlte Reaktoren“