

DE 217 9111



KfK 5155
August 1993

Die Geschichte von Bau und Betrieb des deutschen Schnellbrüter- Kernkraftwerks KNK II

W. Marth
European Fast Reactor

Kernforschungszentrum Karlsruhe

19 20 1993

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

European Fast Reactor

KfK 5155

**Die Geschichte von Bau und Betrieb
des deutschen Schnellbrüter-Kernkraftwerks KNK II**

W. Marth

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Kurzfassung

"Die Geschichte von Bau und Betrieb
des deutschen Schnellbrüter-Kernkraftwerks KNK II"

Der Bericht beschreibt das deutsche Schnellbrüterprojekt KNK von seinen Anfängen 1957 bis zur endgültigen Abschaltung im Jahre 1991. Der ursprünglichen Planung lag ein natriumgekühlter, aber thermischer Reaktor zugrunde. Schon während der Inbetriebsetzung der KNK I im Kernforschungszentrum Karlsruhe wurde der Umbau auf ein schnelles Kernkraftwerk beschlossen, wobei beträchtliche Genehmigungsschwierigkeiten zu überwinden waren. KNK II erzielte hohe Brennelementabbrände und es gelang die Schließung des Brennstoffkreislaufs. Verschiedene technische Probleme bei einzelnen Komponenten werden detailliert dargestellt. Nach der politisch verursachten Beendigung des Schnellbrüterprojekts SNR 300 Kalkar wurde die KNK II im August 1991 endgültig abgeschaltet.

Abstract

"The History of the Construction and Operation of the
KNK II German Fast Breeder Power Plant"

This report describes the German KNK fast breeder project from its beginnings in 1957 until permanent shutdown in 1991. The initial design provided for a sodium-cooled, but thermal reactor. Already during the commissioning of KNK I on the premises of the Karlsruhe Nuclear Research Center modification into a fast nuclear power plant was decided. Considerable difficulties in licensing had to be overcome. KNK II reached high burnup values in the fuel elements and closing of the fuel cycle was achieved. A number of technical problems concerning individual components are described in detail. After the politically motivated discontinuation of the SNR 300 fast breeder project at Kalkar, KNK II was shut down for good in August 1991.

Gliederung

1. KNK - Die Vorstufe des Schnellen Brütters

(1957-1974)

2. Der Umbau von KNK I auf KNK II

(1968-1977)

3. Der Betrieb mit dem Erstkern KNK II

(1977-1983)

4. Der Betrieb mit dem Zweitkern KNK II

(1983-1991)

5. Die Beendigung des Projekts

(1989-1991)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
Abstract	3
Gliederung.....	5
Inhaltsverzeichnis	7
Vorwort	11
1 KNK - Die Vorstufe des Schnellen Brütters	13
1.1 Die Anfänge	13
1.1.1 Frühe Atomprogramme	13
1.1.2 Die Gründung der Interatom	15
1.2 Das Entwicklungsprogramm für KNK.....	18
1.2.1 Physik und Sicherheit.....	19
1.2.2 Materialfragen	21
1.2.3 Versuchsanlagen.....	22
1.3 Das Kernforschungszentrum Karlsruhe schaltet sich ein.....	24
1.3.1 Vom Kernreaktor zum Kernforschungszentrum	24
1.3.2 Interatom/GfK: eine delikate Interessenslage	26
1.3.3 Die GfK/Versuchsanlagen als Vertragspartner	29
1.3.4 Der Lieferauftrag an Interatom	31
1.3.5 Die KBG/Badenwerk als Betreiber	33
1.4 Die Realisierung der KNK	34
1.4.1 Die Auslegung der Anlage.....	34
1.4.2 Zügige Errichtung	40
1.4.3 Betrieb mit Unterbrechungen	42
1.5 Erfahrungsgewinn bei Bau und Betrieb.....	46
2 Der Umbau von KNK I auf KNK II.....	51
2.1 Eine schwierige Entscheidung für KNK II.....	52
2.1.1 Ein Bestrahlungsreaktor wird notwendig	52
2.1.2 Die Beherrschung der Natriumtechnologie	55

2.1.3	Eine böse Überraschung	57
2.1.4	Überholt der SNR 300 die KNK II?	58
2.1.5	RSK-Votum und Liefervertrag KNK II	60
2.2	Die Auslegung der KNK II	62
2.2.1	Reaktorkern und Brennelemente	62
2.2.2	Sicherheit und Instrumentierung	65
2.2.3	Ertüchtigung gegen Erdbeben	67
2.2.4	Handhabung und Entsorgung	70
2.3	Das Genehmigungsverfahren	72
2.3.1	Die atomrechtliche Anhörung	72
2.3.2	Begutachtung und Genehmigung	74
2.3.3	Spezifikation und Dokumentation	76
2.4	Erfahrungen beim Umbau von KNK I auf KNK II	77
2.4.1	Probleme bei Beschaffung und Fertigung	77
2.4.2	Montage unter schwierigen Umständen	80
2.4.3	Die Projektbesprechungen	83
3	Der Betrieb mit dem Erstkern KNK II	86
3.1	Betrieb zum Spitzenabbrand	87
3.1.1	Die Inbetriebnahme des Schnellen Kerns	87
3.1.2	Probleme mit Gasblasen	90
3.1.3	100.000 MWd/t Abbrand erreicht	92
3.1.4	Zuverlässige Komponenten	94
3.2	Die Schließung des Brennstoffkreislaufs	95
3.2.1	Wiederaufarbeitung und Rezyklierung des Brennstoffs	95
3.2.2	KNK II-Studien zum externen Brennstoffkreislauf	101
4	Der Betrieb mit dem Zweitkern KNK II	104
4.1	Neue Brennelemente für Kalkar	104
4.1.1	Auslegung und Fertigung	105
4.1.2	Gemischte Betriebserfahrungen	108
4.1.3	Zur Verfügbarkeit der KNK II	113
4.2	Phänomene und Probleme	115
4.2.1	Erfahrungen mit Brennelementdefekten	115
4.2.2	Schwingungen der Brennstäbe	117

4.2.3	Temperaturdrift am Brennelementaustritt	120
4.2.4	Das Gestängeproblem	121
4.3	Entsorgung und Standzeitverlängerung.....	124
4.3.1	Der Streit um die Lagerhalle.....	125
4.3.2	Das Genehmigungsverfahren zur Standzeitverlängerung	128
4.4	Das Versuchsprogramm an der KNK.....	130
4.4.1	Physikalische Versuche	131
4.4.2	Bestrahlungsversuche.....	133
4.4.3	Natriumchemie und Betriebstechnik.....	135
5	Die Beendigung des Projekts.....	137
5.1	Lagebeurteilung	137
5.1.1	Die Situation der KNK II	138
5.1.2	Der SNR 300 und sein politisches Umfeld	139
5.2	Die Beendigung der deutschen Brüterprojekte	141
5.2.1	Der Stopp des KKW Kalkar	141
5.2.2	Die KNK II wird abgeschaltet.....	142
	Literatur	145
	Chronologie	175
	Personen	189

Vorwort

In den politisch verursachten Wirren um die deutsche Brüterentwicklung darf eines nicht der Vergessenheit anheimfallen: es gab ein in Deutschland entwickeltes und gebautes Schnellbrüter-Kernkraftwerk, welches über mehr als zehn Jahre erfolgreich in Betrieb gewesen ist! Die Anlage KNK II im Kernforschungszentrum Karlsruhe, von der INTERATOM geplant und errichtet, von der KBG betrieben, lieferte den Beweis, daß die Schnellbrüterechnologie selbst hierzulande unter den bekannt schwierigen politischen und genehmigungsrechtlichen Bedingungen zum Erfolg geführt werden konnte.

Dieser Bericht versucht die Geschichte dieses Kernkraftwerks nachzuzeichnen, die sich mit dem Vorprojekt KNK I über den langen Zeitraum von 1957-91, also über 34 Jahre, erstreckte; die Projektdokumentation beläuft sich auf mehr als 250 Meter Aktenordner. Das Problem der geschichtlichen Beschreibung war vor allem, diese außerordentliche Stofffülle zu kondensieren, die wichtigsten Entwicklungslinien herauszuarbeiten und dennoch eine lesbare Darstellung zu erreichen.

Die Verdienste Einzelner sind in diesem Bericht so hervorgehoben, wie es meinem subjektiven Verständnis entspricht. Die Fairness gebietet jedoch festzustellen, daß ein Projekt vom Umfang der KNK nicht das Werk Weniger, sondern nur das Verdienst Aller sein kann, die daran mitgewirkt haben. Ich möchte deshalb diesen rückblickenden Bericht all meinen Kolleginnen und Kollegen **widmen**, die an der KNK mitgearbeitet haben, insbesondere bei

KfK, INTERATOM und KBG,

aber auch bei den

Ministerien, Behörden und Gutachterorganisationen.

Erst die Summe all ihrer Anstrengungen hat den Erfolg der KNK bewirkt. Ihnen allen gebührt deshalb Dank; dieser Bericht soll ihre Verdienste festhalten.

Dr. Willy MARTH

1 KNK - Die Vorstufe des Schnellen Brütters

1.1 Die Anfänge

1.1.1 Frühe Atomprogramme

Es begann im schönen Rheinstädtchen Eltville.

Professor Winnacker, Chef der Farbwerke Hoechst AG, hatte die Spitzen der deutschen Industrie und Kernenergieforschung zu einer Klausurtagung in das Gästehaus seiner Firma in Eltville eingeladen. Unter der Leitung von Professor Maier-Leibnitz sollte der Arbeitskreis "Kernreaktoren" am 26./27. Januar 1957 die Grundzüge für ein deutsches Atomprogramm ausarbeiten^{1,2}.

Nach dem 2. Weltkrieg hatten die Siegermächte der Bundesrepublik Deutschland jegliche Beschäftigung mit der Kerntechnik verboten. Mit Erhalt der politischen Souveränität in den Pariser Verträgen wurde dieses Verbot 1955 aufgehoben; gleichzeitig verzichtete der junge Staat auf die Herstellung von Atomwaffen. Die Teilnahme an der ersten internationalen Konferenz der Vereinten Nationen über die friedliche Nutzung der Atomenergie im August 1955 in Genf wirkte wie "ein Schock" auf einige der deutschen Teilnehmer, so z. B. auf Leo Brandt, den damaligen Staatssekretär in Nordrhein-Westfalen:

"Plötzlich wurde allen Beteiligten klar, daß sich in der Welt, gänzlich unabhängig von der Frage der Atombombe, große Dinge auf dem Gebiet der Atomwissenschaften entwickelt hatten ... Die deutsche Öffentlichkeit wurde von einer tiefen Sorge erfaßt, daß all diese großen Veränderungen an uns in Deutschland vorübergehen würden und möglicherweise für immer der Anschluß verloren sei".³

Der Eltviller Kreis schlug als Einstieg in die Kernenergie den Entwurf und den Bau von fünf technisch verschiedenen Kernkraftwerkstypen von je 100 MWe Leistung vor. Er konnte sich auf den Rat mehrerer renommierter deutscher Elektrizitäts- und Maschinenbauunternehmen stützen, welche zum Teil schon kleine Reaktorentwicklungsgruppen gebildet hatten. So schlug Siemens einen Schwerwasserreaktor vom Druckröhrentyp

vor, die AEG einen Leichtwasserreaktor, das Konsortium BBC/Krupp einen Hochtemperaturreaktor und die Deutsche Babcock & Wilcox einen Natururanreaktor des englischen Typs Calder Hall.

Der Demag-Chef Dr. Hans Reuter brachte in der Schlußsitzung im Dezember 1957 noch ein 100 MWe Kraftwerk mit organischer Kühlung und Moderation ein, mit deren Ausführung eine eigenständige Tochtergesellschaft, die Interatom GmbH, beauftragt werden sollte; ihre Gründung kündigte er noch für das laufende Jahr an. Professor Wirtz, schließlich, gab das grundsätzliche Interesse des Kernforschungszentrums Karlsruhe an der Entwicklung eines natriumgekühlten Schnellen Brütters zu Protokoll, ohne damit schon unmittelbare Bauabsichten zu verknüpfen.

Dieses "500 Megawatt-Programm", später "Eltviller Programm" genannt, beherrschte zwar die Diskussion der darauffolgenden Jahre, aber es war ihm kein großer Erfolg beschieden. Von den fünf genannten Anlagen wurde nur eine, nämlich das von Siemens vorgeschlagene Schwerwasser-Druckröhrenreaktorkraftwerk in Niederaichbach wirklich gebaut. Im Rückblick gesehen, wäre auch der Verzicht auf dessen Realisierung kein Schaden gewesen. Die neu gegründete Firma Interatom wurde bis ins Frühjahr 1961 vertröstet, ehe sie endlich einen 4-Millionen Projektierungsauftrag von der damaligen Firma Kernkraftwerk Baden-Württemberg für die Entwicklungsarbeiten am organisch gekühlten Reaktor erhielt. Zum Bau dieses Typs in der Bundesrepublik kam es nie, obwohl Euratom zeitweilig seine Unterstützung dafür angeboten hatte.

Der Hauptgrund für das Scheitern des 500 Megawatt-Programms war der entschiedene Widerstand der Elektrizitätswirtschaft, die schon früher zum vorsichtigen Einstieg in die Kernenergie geraten hatte.⁴ Das Eltviller Programm reflektierte im wesentlichen die Interessen der Herstellerfirmen und des Atomministeriums und wurde von den Energieversorgungsunternehmen (EVU) nicht angenommen. Sie betrachteten Kernkraftwerke mit der damals relativ großen Blockgröße von 100 MWe als zu großes wirtschaftliches Risiko und waren im übrigen verstimmt darüber, daß sie bei der Auswahl der technischen Typen kaum zu Rate gezogen worden waren.

Um die Stagnation, welche sich über etwa zwei Jahre hinzog, zu überwinden, schlug das Atomministerium Ende 1959 ein "Programm für fortgeschrittene Reaktoren" vor. Man verstand darunter eine Reihe kleinerer Versuchsreaktoren mit einer Leistung um 20 MWe. Sie sollten maßgeblich mit staatlicher Förderung errichtet werden; von den EVU wollte man sich bei diesem Programm nicht abhängig machen.

Die Projektvorschläge wurden im März 1960 eingereicht. Die AEG benannte einen Siedewasserreaktor mit nuklearer Dampfüberhitzung; er wurde später als HDR in Großwelzheim mit einer Leistung von 23 MWe gebaut, 1969 in Betrieb gesetzt und schon 2 Jahre später wegen technischer Probleme bei den Brennelementen stillgelegt. Die Deutsche Babcock & Wilcox sowie BBC/Krupp boten jeweils Reaktoren mit Gaskühlung an, die jedoch nicht realisiert wurden. Unabhängig von den genannten zwei Programmen entwickelte Siemens (mit eigenem Geld) einen Schwerwasserdruckreaktor. Er wurde später als MZFR, hauptsächlich mit staatlichen Geldern, auf dem Gelände des Kernforschungszentrums Karlsruhe gebaut und mit großem Erfolg betrieben.

Interatom, schließlich, hatte zunächst einen organisch-gekühlten Reaktor vorgeschlagen; aber noch in der Vorbereitung zu diesem Programm wechselte die Firma zu einem natriumgekühlten Reaktor über, der mit festem Zirkonhydrid moderiert werden sollte. Hierfür war eine Reaktorleistung von 10 MWe vorgesehen.⁵

Er sollte KNK heißen.

1.1.2 Die Gründung der Interatom

Wer war diese Firma Interatom, die sich mit der Chuzpe des newcomer in die Phalanx deutscher Renommierfirmen, wie Siemens, AEG oder Krupp drängelte?

Sie verdankt ihre Existenz, wie bereits vermerkt, einem firmenstrategischen Konzept von Dr. Hans Reuter, dem Generaldirektor der Demag AG. Er suchte nach Wegen, den Vorsprung der genannten Elektrokonzerne in der Atomtechnik aufzuholen, den diese durch ihre bereits bestehenden Reaktorentwicklungsgruppen besaßen. Den Blick ins Ausland wendend, kam er in Kontakt mit der US-amerikanischen Atomics International (AI) Division der North American Aviation Inc. (NAA) und ihrem eloquenten Chef Chauncey Starr.

Die Chemie zwischen diesen Herren stimmte offensichtlich ganz vorzüglich, und auch die Expertise beider Firmen ergänzte sich: Demag war eine Maschinenfabrik mit Weltgeltung, und Atomics International konnte auf dem noch jungen Gebiet der Kerntechnik bereits einiges vorweisen. So waren in einem einzigen Jahr zwei von Atomics International gebaute Reaktoranlagen in Betrieb gegangen, nämlich im Frühjahr 1957 der graphitmoderierte und natriumgekühlte 7,5 MWe SRE in den Santa Susanna Bergen nörd-

lich von Los Angeles und im Herbst des gleichen Jahres die organisch moderierte und gekühlte Versuchsanlage OMRE in Idaho.^{6,7}

Man war sich schnell einig, und so wurde am 13.12.1957 die Internationale Atomreaktorbau GmbH - genannt INTERATOM - als gemeinsame Tochter der Demag und NAA gegründet.⁸ Der Firmensitz war anfangs noch Duisburg, aber schon ein Jahr später zog Interatom nach Bensberg bei Köln um. Dort kam man zunächst im Alten Schloß unter, erwarb aber kurz darauf ein Gelände im Moitzfeld für Laboratorien, Werkstätten und Verwaltungsgebäude. Das Firmenkapital betrug anfangs nur 100.000 DM, wurde aber bald auf 6 Mio. DM aufgestockt.



Die Väter der INTERATOM:

Dr. Ing. Hans Reuter (rechts), Demag AG und
Dr. Chauncey Starr, Atomics International, U.S.A.

Dem Zwecke nach sollte Interatom eine Entwicklungsfirma sein; sie blieb es auch später, obwohl sie zeitweilig (1972) mit dem SNR 300 den größten Anlagenauftrag der Bundesrepublik besessen hatte.⁹

Die Gesellschaftsverträge sahen unter anderem vor, daß der deutsche Partner sein Personal über fünf Jahre hinweg kostenlos bei NAA ausbilden lassen konnte. Demag machte davon regen Gebrauch und sandte schon Mitte 1958 die ersten Firmenangehörigen zu Atomics International, darunter Dr. Hans Mausbeck sowie Dr. Rudolf Harde, der später, 1966, technischer Geschäftsführer der Interatom wurde.

Bei den beiden von Atomics International (AI) verfolgten Reaktorlinien - organische Kühlung und Natriumkühlung - war nur der letztgenannten Erfolg beschieden. Beim Versuchskraftwerk Piqua, das AI im Auftrag der amerikanischen Atomkommission US-AEC errichtete, stellten sich bald nach der Inbetriebnahme technische Schwierigkeiten ein, die sich bei der Anlage OMRE bereits als "fouling" angedeutet hatten. Die Reaktorstrahlung zersetzte das organische Kühlmittel Terphenyl, und es kam zu Ablagerungen

auf den heißen Brennelementen. Die Folge war, daß dieses Projekt aufgegeben wurde. Interatom, welche die Erfahrungen ihrer amerikanischen Mutter für eigene Projekte nutzen wollte, mußte in der Folge zwei Reaktorprojekte zurückgeben, für die organische Kühlung vorgesehen war. Die Kenntnisse im Umgang mit Natrium mündeten letztlich in das Projekt KNK ein, welches das Thema dieses Berichts darstellt.

Die Besitzverhältnisse bei Interatom änderten sich in der Folge noch mehrmals, u.a. 1966 durch den Eintritt der Deutschen Babcock als dritter Gesellschafter. 1969 erwarb Siemens eine 60 % Beteiligung an Interatom, bei gleichzeitigem Ausscheiden von North American Aviation und Verminderung der Anteile der anderen Gesellschafter. Zur gleichen Zeit beendete Siemens seine Brüterentwicklungsarbeiten und versetzte das Personal - sofern dazu bereit - von Erlangen nach Bensberg. Später zogen sich auch die übrigen Interatom-Gesellschafter Demag (1971) und Deutsche Babcock & Wilcox (1972) zurück, so daß Siemens nunmehr alle Anteile von Interatom hielt. Diese wurden 1974 der Kraftwerk-Union übertragen, als die kerntechnischen Bereiche von Siemens und AEG einbezogen worden waren. 1987 wurde die KWU als Unternehmensbereich in die Siemens AG eingegliedert, wodurch auch Interatom zu Siemens gelangte - allerdings noch als selbständige GmbH.¹⁰

Kaufmännischer Geschäftsführer (später Vorsitzender der Geschäftsführung) bei Interatom war Dr. Claus Berke von 1962 bis 1991, währenddessen er Aufstieg und Ende seiner Firma miterlebte.

In memoriam: INTERATOM

Beim Niederschreiben dieses Berichts über KNK erfüllte sich das Schicksal der Firma Interatom:

Im Oktober 1991, nach der politischen Beendigung des Projekts Kalkar, wurde Interatom GmbH in die SIEMENS AG, Bereich Energieerzeugung KWU, eingegliedert. Den Namen INTERATOM, unter dem das Unternehmen als Reaktorfirma bekannt und als Brüterfirma weltweit berühmt war, gab es fortan nicht mehr. Mit dem Namen war auch die Identität verlorengegangen. Aber noch sollte Bergisch Gladbach, früher Bensberg - neben Erlangen und Offenbach - als selbständiger Standort verbleiben.

Diese Konzeption wurde per Siemens-Erlaß vom 30. März 1993 aufgegeben¹¹. Der Standort Bergisch Gladbach wird bis 1994 aufgehoben werden. Der Großteil der Brü- terexperten wird in den (vorzeitigen) Ruhestand geschickt, der Rest an andere Standor- te verteilt oder schlicht entlassen werden. Die mit viel Aufwand errichteten Natriumver- suchsanlagen wie ILONA oder die 5 MW-Anlage werden abgerissen; die technischen Dokumente, soweit noch vorhanden, verschwinden (mikroverfilmt) in einem Tresor.

Was bleibt, ist die Erinnerung. Dieser Bericht soll dazu beitragen.

1.2 Das Entwicklungsprogramm für KNK

Die junge Firma Interatom hatte 1960 im mutigen Zugriff vom Bundesatomministerium einen Auftrag zur Auslegung eines Kernkraftwerks an Land gezogen, den es nun zu erfüllen galt. Die technischen Spezifikationen waren am Anfang noch recht vage. Man dachte an ein mit thermischen Neutronen arbeitendes 10 MWe Kernkraftwerk - später wurden 20 MWe daraus -, das mit Natrium gekühlt werden sollte. Von dem Flüssigme- tall versprach man sich zumindest zwei Vorteile: Natrium war ein sehr effizientes Kühlmittel, welches konventionelle Dampftemperaturen um 500 °C zu erzeugen erlaub- te. Es ermöglichte, das Kraftwerk sehr kompakt zu bauen, was - aus damaliger Sicht - Kostenvorteile vermuten ließ.

Letzterer Umstand gab dem Projekt auch seinen Namen: "Kompakte Natriumgekühlte Kernkraftanlage", abgekürzt KNK, sollte es fortan heißen. Später wurde das zweite K vielfach mit dem schließlich gewählten Standort Karlsruhe in Verbindung gebracht. Diese Assoziation ist nicht korrekt, denn anfangs hatte man, mangels einer EVU-Kund- schaft, als Standort noch die Kernforschungsanlage Jülich im Auge. Das Interesse am Kernforschungszentrum Karlsruhe wurde erst geweckt, als sich dort das Projekt Schneller Brüter etabliert hatte.

Interatom war sich von Anfang an bewußt, daß die Auslegung der KNK nur belastbar war, wenn sie von einem parallelen Entwicklungsprogramm unterfüttert wurde. Es galt deshalb, die wesentlichen technischen Probleme frühzeitig zu identifizieren und ein F+E-Programm auf den Weg zu bringen. Zum Neuland, bei dem die deutsche Kon- zernmutter Demag nur geringe Hilfestellung geben konnte, gehörten die Nuklearphysik, die Reaktorsicherheit, spezifische Materialanforderungen und vor allem das Kühlmittel Natrium. Nur die wenigen Firmenangehörigen, welche einige Monate zur amerikani-

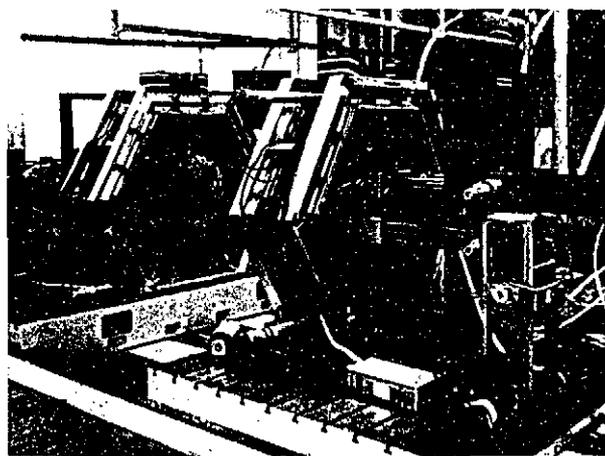
schen Mutter Atomics International delegiert worden waren, hatten das Flüssigmetall Natrium je gesehen und eine gewisse Vorstellung von seinen Eigenschaften. Die Kenntnis hierüber galt es zu verbreitern, auch unter den auslegenden Ingenieuren, und das erforderte den Aufbau von Versuchsanlagen.¹²

Die Aufwendungen für dieses Versuchsprogramm waren aus der damaligen Sicht durchaus nennenswert, heute erscheinen sie uns geradezu winzig.¹³ So wurden zwischen 1960 und 1966 für reaktorphysikalische Experimente 5 Mio. DM ausgegeben, für Werkstoffuntersuchungen etwa 2,5 Mio. Die Bestrahlungsversuche, im wesentlichen für Zirkonhydrid, kosteten 1,2 Mio., die sicherheitstechnischen Experimente 1,3 Mio. Den größten Brocken im planungsbegleitenden F+E-Programm stellten die Versuchsstände dar (11 Mio.), allen voran die 5 MW-Anlage. Alles in allem waren dies Discountpreise, insbes. verglichen mit späteren Aufwendungen für den SNR 300.

Die junge Mannschaft bei Interatom, vorzugsweise Physiker, Chemiker, Ingenieure und Metallkundler, war mit Begeisterung dabei, die technischen Aufgaben zu lösen, welche wegen ihrer Neuartigkeit noch nicht in Lehrbüchern nachzulesen waren. Fast alle jünger als 30 Jahre, waren sie von der Notwendigkeit der Kernenergie überzeugt, und diese wiederum war getragen vom Wohlwollen der Politiker und der breiten Öffentlichkeit. Namen wie Harde, Stöhr, Brandstetter, Berke, Hennies, Hübel, Memmert, Knecht, Ruppert, Guthmann, Henssen, Mausbeck, Höchel und Jansing seien hier stellvertretend für viele andere genannt. Sie haben der Interatom schon bald Respekt bei den Reaktorentwicklungsgruppen konkurrierender Firmen wie Siemens oder AEG verschafft.

1.2.1 Physik und Sicherheit

Die KNK war zwar mit einem thermischen Reaktor konzipiert, aber die Neutronenphysik unterschied sich doch beträchtlich von den damals schon aufkommenden Leichtwasserreaktoren. Die Wasserstoffkonzentration des als Moderator vorgesehenen Zirkon-



Split table-Anlage für kritische Experimente zur KNK bei der GKSS in Geesthacht

hydrids war vergleichbar mit dem von Wasser bei 250 °C. Das Volumenverhältnis Moderator zu Brennstoff war jedoch kleiner als bei den LWR, weil bei KNK wegen des Festmoderators die Materialanordnung zwangsläufig heterogener ausfallen mußte. Ein weiterer Unterschied gegenüber Wasserreaktoren ergab sich aus der verschiedenen starken Temperaturabhängigkeit der Moderatorichte; bei der Zirkonhydridmoderierung entfiel der stark negative Temperaturkoeffizient des Druckwassersystems.

Zur Absicherung der neutronenphysikalischen Eigenschaften des KNK-Reaktorkerns waren also Experimente nötig. Deshalb wurden in einem breit angelegten Programm zahlreiche unterkritische und kritische Experimente durchgeführt, zumeist nach der Methode der gepulsten Neutronenfelder.^{14,15} Untersucht wurden neben anderen die Reaktivitätswerte verschiedener Abschaltkonfigurationen, ihre Abhängigkeit von der Temperatur und die Reflektorwirkung diverser Kernmaterialien. Ferner wurde das Neutronenspektrum in Zirkonhydrid bei Temperaturen bis zu 550 °C gemessen.

Ein Teil der kritischen Experimente wurde im Reaktorzentrum Geesthacht, der nachmaligen GKSS, durchgeführt, an einer eigens dafür gebauten Anlage nach dem split-table-Prinzip. Die kritische Konfiguration KNK bestand aus einer Matrix von Aluminiumrohren, die mit Brennstoff-, Moderator- und Reflektorstäben beladen war. Die Anlage - übrigens vom späteren Interatom-Geschäftsführer Amandus Brandstetter gebaut - wurde entweder durch Auseinanderfahren der Matrixhälften oder durch Herausschießen von Brennstoff oder auch durch Einfahren von Absorberstäben abgeschaltet. Das Versuchsprogramm diente vorzugsweise zur Bestimmung der kritischen Reaktormasse bei verschiedenen Kernanordnungen sowie der Wirkung von Abschaltstäben. Mit einem pile-Oszillator, der kleine Proben periodisch in den Kern hinein- und herausbewegte, wurden Reaktivitätswerte und Absorptionsquerschnitte gemessen. Die genannten Versuche wurden von Dr. Hans-Henning Hennies durchgeführt. Er hat über 30 Jahre hinweg bei vielen Phasen des Projekts KNK I/KNK II, zuerst bei Interatom, später im Kernforschungszentrum Karlsruhe, an entscheidender Stelle mitgewirkt.^{16,17}

Im Gefolge der Sicherheitsanalysen für KNK traf man auf den Umstand, daß der Reaktorkern bei niedriger Leistung und hohem Abbrand einen positiven Leistungskoeffizienten besaß. Diese Eigenschaft hatte KNK gemeinsam mit anderen Reaktoren, die einen festen Moderator benutzten, also den britischen und französischen CO₂-gekühlten und graphitmoderierten Anlagen. In allen Fällen kommt der positive Effekt durch das mit steigender Moderatortemperatur härter werdende Neutronenspektrum zustande, das zu größerer Diffusionslänge und verringerter parasitärer Absorption führt.¹⁸

Natürlich rief dieser Effekt das Stirnrunzeln der Genehmigungsbehörde hervor. Es waren detaillierte Untersuchungen des Exkursionsverhaltens notwendig, sowie umfangreiche Analysen des Sicherheitssystems. Schließlich gelangte man aber doch zu der gemeinsamen Überzeugung, daß KNK mit seinen Abschalteneinrichtungen die für thermische Reaktoren üblichen Sicherheitsanforderungen voll erfüllte.^{19,20}

1.2.2 Materialfragen

Die Anstrengungen in der Werkstoffentwicklung konzentrierten sich darauf, den Moderator Zirkonhydrid preiswert herzustellen sowie unter Reaktorbedingungen zu testen. Daneben wurde mit Erfolg die Verwendbarkeit ferritischer Stähle für die Komponenten, anstelle kostspieligerer Austenite festgestellt.

Zirkonhydrid mit nuklear interessanten Wasserstoffgehalten zwischen 61 bis 63 Atomprozenten ($ZrH_{1,57}$ bis $ZrH_{1,7}$) ist ein keramikartiger Werkstoff, der auch bei hohen Temperaturen mit Natrium und Stahl voll verträglich ist. Er wird durch Einwirkung von reinem Wasserstoff auf metallisches Zirkon unter sorgfältig kontrollierten Bedingungen erzeugt. Interatom gelang es nach mehrjährigen Versuchen, große Formkörper mit wirtschaftlichem Aufwand und bei geringem Ausschuß herzustellen.^{21,22}

Wegen der relativ beweglichen Wasserstoffatome im Zirkonhydridgitter war die Feststellung der Wasserstoffverluste im Reaktorbetrieb sowie eventueller Umlagerungen ein beherrschendes Untersuchungsthema. Weiteres Augenmerk galt der Ribildung der Moderatorkörper bei Thermoschockbelastungen. Schließlich war die Strahlenbeständigkeit nachzuweisen, was in Vorlaufversuchen bis zu einer Dosis von $1,2 \times 10^{21}$ Neutronen/cm² erfolgte.²³

Die Werkstoffingenieure bei Interatom gingen mit der Wahl von Zirkonhydrid als Moderator ein beträchtliches Risiko ein. Von ihrer erfahrenen amerikanischen Mutter Atomics International waren sie nämlich gedrängt worden, Graphitmoderatoren zu verwenden, wie dies bereits Atomics International in der SRE-Anlage vorexerziert hatte. Dr. Harde, der damalige Entwicklungschef bei Interatom und spiritus rector für das KNK-Projekt, hatte jedoch Bedenken wegen der möglichen chemischen Reaktion zwischen Graphit und Natrium sowie ob der Formbeständigkeit der Graphitkörper im Reaktor (Neutronenschwellen!) und entschied deshalb, eine eigene Moderatorentwicklung zu starten. Die-

ser Schritt war richtig, denn sowohl bei KNK als auch später bei KNK II bereiteten die Zirkonhydridkörper nie irgendwelche Probleme.



Schnitt durch das Brennelement der KNK I mit innerem und äußerem ZrH_2 -Moderator

Eine glückliche Hand hatte Interatom auch mit der Wahl warmfester ferritischer Stähle für Komponenten wie Reaktortank und Natriumrohrleitungen. Im Vergleich zu warmfestem austenitischem Material ergeben sich nicht nur erhebliche Kosteneinsparungen, sondern auch bedeutsame technische Vorteile. So besitzen Ferrite eine bessere Wärmeleitfähigkeit, geringere thermische Ausdehnung und sind außerdem unempfindlicher gegenüber Spannungsrißkorrosion, was insbesondere beim Dampferzeuger von Bedeutung ist.²⁴

Niedrig legierte warmfeste ferritische Stähle, mit einem Anteil von ca. 2,25 % Cr/1 % Mo, geben bei Temperaturen oberhalb 480 °C in merklichem Maße Kohlenstoff an umgebendes Natrium ab; austenitische Reaktorkomponenten wie die Brennstabhüllen könnten dadurch verspröden. Legiert man dem genannten Stahl jedoch eine bestimmte Menge an Niob zu, so bleibt der neue Werkstoff auch bei Temperaturen bis 600 °C resistent gegen Entkohlung. Durch gezielte Zugabe weiterer Legierungsbestandteile konnte der bei KNK verwendete Ferrit so verbessert werden, daß er ebenso problemlos wie herkömmliche schwach legierte Ferrite zu verarbeiten war. So wurde z.B. die im folgenden Abschnitt beschriebene 5 MW-Versuchsanlage aus diesem kohlenstoffstabilisierten Stahl hergestellt.

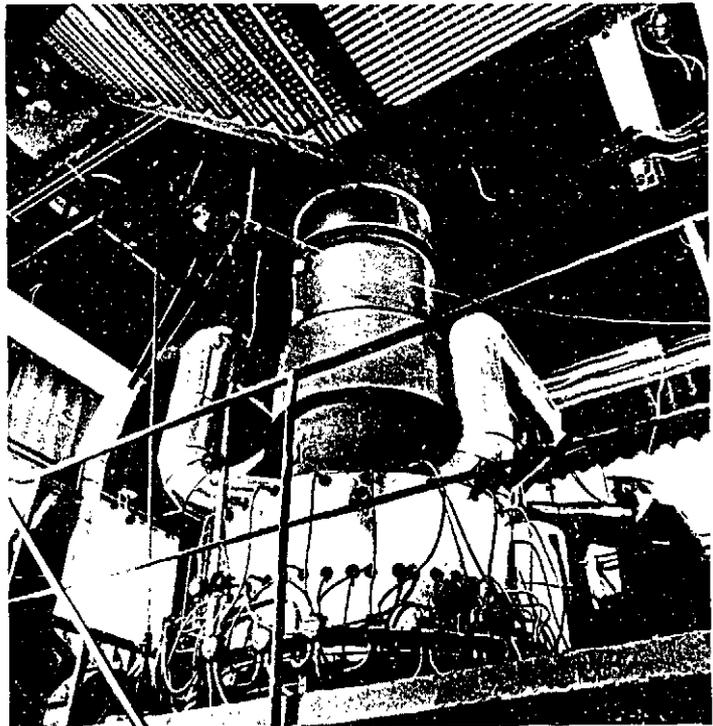
1.2.3 Versuchsanlagen

Die Gewinnung von Auslegungsdaten oder die Überprüfung des Komponentenverhaltens kann in vielen Fällen nur an Versuchsanlagen erfolgen. Interatom hat sich deshalb frühzeitig mit dem Bau von Testständen befaßt unter Nutzung der Medien Gas, Wasser und Natrium. So entstand ein Wasserkreislauf, an welchem die Strömungsverhältnisse

der KNK-Brennelemente nachgebildet wurden; an einem Luftteststand beobachtete man die Brennelementkühlung während der Handhabungsphasen.

Die wichtigste Versuchsanlage jedoch war die 5 MW-Anlage, welche die experimentelle Basis für die KNK-Auslegung bildete. Wie der Name besagt, besaß sie eine Wärmeübertragungskapazität von 5

Megawatt. Abgesehen von der Reaktorstrahlung simulierte sie praktisch alle Verhältnisse der KNK. Sie hatte einen in der Länge maßstäblichen Reaktortank mit Drehdeckel sowie Blendenverstelleinrichtungen. Im Tank konnten die Kontrollstabantriebe sowie die Reaktorstützen bei schnellen Temperaturveränderungen des Kühlmittels untersucht werden. Das Natrium wurde mit Öl aufgeheizt und mit zwei mechanischen Pumpen durch Zwischenwärmetauscher, Dampferzeuger und verschiedene Armaturen und Hilfssysteme gedrückt. Alle Komponenten waren repräsentativ für natriumgekühlte Kernreaktoranlagen. Die 5 MW-Anlage wurde Anfang 1965 in Betrieb genommen und war ein voller Erfolg.^{25, 26}



Natriumhauptpumpe der KNK beim Test in der 5 MW-Anlage in Bensberg

Wegen der Neigung des Natriums, sich mit dem Sauerstoff der Luft und des Wassers zu verbinden, mußten Sicherungsmaßnahmen beim Dampferzeuger vorgesehen werden. Untersuchungen mit kleinen Wasserleckagen in den Dampfrohren (etwa 1-20 g/sec) hatten ergeben, daß nahe liegende Stahlstrukturen in relativ kurzer Zeit durchkorrodieren konnten. Dies gab Anlaß zur Entwicklung eines Wasserstoffmonitors als Warngerät für Wasserleckagen.²⁷

Erheblicher Aufwand wurde dem Verständnis großer Dampfrohrschäden, also Rohrbrüchen, gewidmet. Hier untersuchte man vor allem Größe und Zeitdauer der Druckstöße

und ihre Auswirkungen auf die umliegenden Strukturen. Die Versuche wurden auch theoretisch und modellmäßig interpretiert und haben die Basis für die Auslegung des Druckentlastungssystems gelegt.²⁸

Schließlich widmete man sich schon frühzeitig den Reaktionsmechanismen zwischen heissem Natrium und Luft sowie dem Verständnis der Natriumbrände. Zu deren Bekämpfung wurden klare Handlungsanweisungen für die späteren Betreiber erarbeitet.²⁹

1.3 Das Kernforschungszentrum Karlsruhe schaltet sich ein

1.3.1 Vom Kernreaktor zum Kernforschungszentrum

Nach der Freigabe der Atomforschung durch die Alliierten entstanden an vielen Orten der Bundesrepublik Deutschland sogenannte Reaktorstationen; so etwa in Berlin, Geesthacht, Jülich und Garching. Die Gründung der Karlsruher Forschungseinrichtung ging auf eine Initiative des Göttinger Max-Planck-Instituts für Physik und ihres Chefs Professor Werner Heisenberg zurück. Dort beschäftigte sich eine Arbeitsgruppe unter der Leitung von Professor Karl Wirtz mit der Auslegung von Forschungsreaktoren auf der Basis von Natururan. Sie gewann mit ihren Forschungen für einen schwerwassergekühlten und -moderierten Forschungsreaktor 2 (FR 2) das Interesse bedeutender Industriefirmen wie Hoechst, GHF, Badenwerk, Siemens u.a.m., welche glaubten, damit Erfahrungen beim Reaktorbau sammeln zu können, ohne auf teure Auslandslizenzen zurückzugreifen zu müssen.^{30,31}

Nach einigem Hin und Her einigte man sich für den FR 2 auf den Standort Leopoldshafen bei Karlsruhe. Am 19. Juli 1956 wurde dort die Kernreaktor Bau- und Betriebs-GmbH gegründet, ausgestattet mit einem Kapital von 30 Mio. DM, welches zu 50 % von 65 (später 92) Industriefirmen, zu 30 % vom Bund und zu 20 % vom Land Baden-Württemberg aufgebracht wurde.³²



Wegweisung für den Standort des Kernforschungszentrums (1956)

Professor Wirtz wurde zum Leiter des Instituts für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR) ernannt. Eine Technische Abteilung sollte den Bau des FR 2 vorantreiben; daneben gab es nur noch das Institut für Heiße Chemie und das Institut für Strahlenbiologie. Im Zentrum des Geschehens stand ganz klar der zu errichtende erste deutsche Eigenbau-Reaktor FR 2. Für die Beschäftigten aus der Umgebung war der "Kernreaktor" über viele Jahre hinweg ein vertrautes Synonym für Forschungsziel und Arbeitsplatz.

Man war damals noch stolz darauf, beim "Kernreaktor" zu arbeiten.

Zu den wichtigsten technischen Änderungen zählte später die Erhöhung der *Reaktorleistung* des FR 2 von anfangs 6 auf 12 und später auf 44 Megawatt, mit dem Ziel, den Neutronenfluß entsprechend anzuheben. Die damit einhergehenden Mehrkosten trugen die Industriepartner nur noch eine geraume Zeit mit; später wurde der Rest über eine weitere Gesellschaft - genannt K II - aufgebracht, an der lediglich Bund und Land beteiligt waren. Schließlich zog sich die Industrie, nach Fertigstellung des FR 2, ganz zurück, und die Gesellschaft K II wurde mit der Gründungsgesellschaft K I im Januar 1964 zur Gesellschaft für Kernforschung zusammengelegt. Wegen der Abkürzung GfK kam es noch zu einem Namensstreit mit der Gesellschaft für Konsumforschung in Nürnberg, abgekürzt ebenfalls GfK. Die GfK Karlsruhe beschloß deshalb 1975, den Namen "Kernforschungszentrum Karlsruhe", kurz KfK, anzunehmen, der als geographischer Begriff schon seit längerem im Gebrauch war.

Eine weitere Veränderung in Karlsruhe betraf das *Forschungsprogramm*. Die Auslegung des FR 2 war für die Physiker schon um 1958/59 abgeschlossen, und so bemühte man sich um neue Ziele. Eines, den Schnellen Brutreaktor, hatte der INR-Chef Wirtz, wie berichtet, bereits im Eltviller Programm als Idee deponiert. Der einflußreiche Arbeitskreis III/1 "Kernreaktoren" des Atomforums empfahl 1958 die Aufnahme der Brutreaktorarbeiten, und das Bundesatomministerium bewilligte die ersten Gelder. Im April 1960 gründete man im Zentrum das Projekt Schneller Brüter (PSB) - vorerst noch Projektgruppe genannt - und beauftragte Dr. Wolf Häfele, den Leiter der Theorie-Abteilung im INR, mit dessen Führung.

Für die Projektabwicklung waren zwei Phasen vorgesehen. In der ersten sollte vor allem die Auswahl des Kühlmittels getroffen werden. Obschon international sich bereits Natrium durchzusetzen begann, erklärte der Projektleiter:

"Wir beabsichtigen, jede früher gemachte Entscheidung zu überprüfen"

und bezog auch Dampf und Helium als Kühlungsoptionen ein. Die Phase 1 sollte drei Jahre dauern und ein Budget von 25 Mio. DM erfordern. In der darauffolgenden Phase 2 waren die Auslegung und der Bau eines Prototypkraftwerks mit einer Leistung von 200 bis 300 MWe vorgesehen. Damit wählte man eine deutlich andere Strategie als die konkurrierenden Brüterentwicklungsländer UdSSR, USA, Frankreich und Großbritannien; diese wagten sich erst über die Errichtung kleiner Versuchsreaktoren (BOR-60, EBR II, Rapsodie, DFR) mit Leistungen zwischen 10 und 20 MWe bzw. 50 bis 70 MWt an den Bau großer Prototypen heran.

Der Planungstakt für die Phasen 1 und 2 wurde später noch mehrfach verändert. Nach der Assoziation des Karlsruher Projekts mit Euratom verschob man die endgültige Auswahl des Kühlmittels ins Jahr 1967. Als sich in den USA (bei General Electric) ein erhöhtes Engagement im kommerziellen Brüterbereich anzudeuten schien, beschloß man den Beginn der Phase 2 - die Entwicklung zweier Prototypen mit Natrium bzw. Dampfkühlung - auf 1965/66 vorzuziehen.³³

Der Eintritt von Euratom brachte für das Projekt einen erheblichen Aufschwung. Zum einen verbreiterte sich die internationale Basis durch die Zusammenarbeitsverträge mit den Forschungszentren in Belgien (Mol) und den Niederlanden (RCN Petten, TNO Apeldoorn) sowie dem amerikanischen SEFOR-Projekt. Zum anderen brachte Euratom auch beachtliche Geldmittel in das Projekt ein, nämlich 40 % der vom Bund zwischen 1960 und 1967 bewilligten 185 Mio. DM. Im Zentrum kam es zu einem Bauboom bei den wissenschaftlichen Instituten (z.B. IMF), den Infrastrukturanlagen (Flüssigdekontamination) und den Reaktoren (SNEAK). Die Personalzahl stieg kontinuierlich an: waren es im Oktober 1956 noch 36 Mitarbeiter, die mit der Reaktorgruppe Wirtz den Umzug von Göttingen nach Karlsruhe wagten, so zählte der Personalbestand 1959 bereits 725 und im September 1966 gar 3005 Männer und Frauen. Das Durchschnittsalter der technischen Angestellten lag bei 34 Jahren.³⁴

Der Kernreaktor hatte sich zum Kernforschungszentrum gemauert.

1.3.2 Interatom/GfK: eine delikate Interessenslage

Um 1961/62 wurden in der Bundesrepublik - unabhängig voneinander - zwei Kraftwerkskonzepte verfolgt, die bei aller technischen Unterschiedlichkeit eines gemeinsam hatten: die Kühlung mit Natrium. Interatom in Bensberg besaß einen Auftrag zur Ent-

wicklung, - noch nicht zum Bau - für ein thermisches 10 MWe Kernkraftwerk mit UO_2 -Kern, ZrH_2 -Moderierung und Na-Kühlung, das in Jülich errichtet werden sollte. Die GfK richtete während der anlaufenden Assoziationsgespräche mit Euratom ihre Blicke auf ein 200 - 300 MWe Schnellbrüterkraftwerk mit UO_2 - PuO_2 -Kern und ebenfalls Na-Kühlung. (Die parallel verfolgten Dampf- und Heliumvarianten hatten zunächst back-up-Charakter.)

Die Unterschiedlichkeit beider Konzepte implizierte erhebliche Risiken für die Realisierung der Projekte, sollte doch in allen Fällen der Bund als vorrangiger Geldgeber gegeben werden. Dem Forschungsministerium mußte erläutert werden, wie - und ob - beide Projekte zueinander paßten. Es war also geboten, aufeinander zuzugehen, wobei jedoch weder Interatom noch die GfK ein Interesse daran haben konnten, "ihr Projekt" zugunsten dem des anderen aufzugeben.

Die GfK machte den ersten Schritt zur Annäherung, indem sie auf die Komplementarität beider Projekte abhob. Man hatte in Karlsruhe zwar international beachtete Fortschritte in der Neutronenphysik, der Sicherheitsforschung und der (theoretischen) Brennelemententwicklung gemacht, aber in der Natriumtechnologie und der Komponentenentwicklung war man - mangels Versuchsanlagen - noch weit zurück. Das wurde auch öffentlich ausgesprochen, so z.B. bei einer Reaktorkonferenz in Argonne, USA, 1963:

"The German programme is oriented primarily around physics and safety considerations. The hardware aspects of the German programme are totally lacking and it therefore will be quite difficult to meet an early 1970 schedule for a prototype fast reactor. It would appear to be advisable to have projects in Germany where experience in fabricating and testing vital sodium components and systems can begin".³⁵



Brüterbesprechung im
Kernforschungszentrum
(von links):
Prof. Wirtz, Dr. Beckurts,
Prof. Seelmann-Eggebert,
Dr. Häfele (stehend), Dr. Smidt,
Dr. Engelmann, Dr. Schnurr,
Dipl.-Ing. Ritz

Projektleiter Häfele machte sich diese ungenierte Kritik zunutze, indem er sich in Bonn für die Verlegung des KNK-Standorts von Jülich ins Kernforschungszentrum stark machte, mit besonderer Nutzung der KNK zur Natriumtechnologie.³⁶ Interatom kam das nicht ungelegen, verlangte aber die Einbindung des lokalen Energieversorgungsunternehmens Badenwerk als Stromabnehmer und Finanzier des Turbogenerators, um nicht zu sehr von der GfK abhängig zu werden und um auf ein EVU-Interesse bei ihrem Projekt verweisen zu können.³⁷

Ein zweites Manko im Karlsruher Brüterentwicklungsprogramm waren die fehlenden Bestrahlungsmöglichkeiten für Brennelemente. Man nutzte zwar den FR 2, aber dessen thermisches Spektrum gab keinen Aufschluß über die Phänomene der Hüllrohrverströndung und später des Materialschwellens. Die Ausstattung der KNK mit einem unmoderierten Kern und ihre vorrangige Nutzung als ortsansässiger Bestrahlungsreaktor hätte also Sinn gehabt.³⁸

Zu dieser Umwidmung der KNK von einem thermischen zu einem schnellen Reaktor kam es jedoch nicht, weil kein Partner daran wirklich interessiert war. Interatom hatte 1963/64 die Konzipierung für das thermische Kraftwerk KNK schon weit vorangetrieben und wollte endlich mit dem Bau beginnen. Die Umplanung auf ein schnelles Core hätte erheblichen Zeitverlust bedeutet und eine noch stärkere Anlehnung an das (partiell konkurrierende) Projekt Schneller Brüter im Kernforschungszentrum.

Der GfK kam dies nicht ungelegen, denn man war sich klar darüber, daß die prioritär verfolgten Pläne für die 200 - 300 MWe Prototypen in weite Ferne rücken würden, wenn man einen schnellen Versuchsreaktor KNK dazwischenschöbe. Wirtz, der Vorsitzende des wichtigen Brüter A-Gremiums, brachte dies in einer Notiz auch sehr deutlich zum Ausdruck:

"Ich bin der Auffassung, daß der KNK-Reaktor kein schnelles Core enthalten soll ... Das würde sehr umfangreiche Vorarbeiten erfordern".³⁹

Die Geschäftsführung der GfK beendete die zentrumsinterne Diskussion schließlich mit einem Schreiben an Interatom, in welchem sie feststellt:

"Im Zeitplan des Brüterprojekts soll der KNK-Reaktor in erster Linie helfen, Erfahrungen mit Natriumkomponenten zu gewinnen... Wir sind daher der Meinung, daß zwar alle konstruktiven Vorkehrungen getroffen werden sollen,

die den Einbau einiger unmoderierter Subassemblies in der Zukunft ermöglichen, möchten uns jedoch die Entscheidung darüber, wann und ob dies geschieht, für einen späteren Zeitpunkt vorbehalten".⁴⁰

Mit dieser Entscheidung schien man den Interessen von Interatom und GfK gerecht geworden zu sein. Das Defizit an Bestahlungsmöglichkeiten wollte man durch häufiges Anmieten des BR 2-Reaktors in Mol abmildern, der einen relativ höheren schnellen Neutronenfluß als der FR 2 besaß. Für komplette Brennelementtests war der Enrico-Fermi-Reaktor bei Detroit ins Auge gefaßt, der 1966 kritisch werden sollte.

Die Zukunft sollte jedoch zeigen, daß die Idee einer KNK mit schnellem Core weiter lebendig bleiben würde.

1.3.3 Die GfK/Versuchsanlagen als Vertragspartner

Der Ansprechpartner für Interatom in Sachen KNK war beim Kernforschungszentrum in der Regel die Projektleitung Schneller Brüter PSB (Dr. Häfele, Faude). Sie koordinierte bis Oktober 1964 alle anfallenden Fragen des Standorts und der Auslegung, gegebenenfalls unter Einschaltung der Technischen Abteilung sowie der Bauabteilung. Als KNK auf die Spur gesetzt schien, wurde im Oktober 1964 eine sog. Leitstelle KNK eingerichtet, mit deren Führung Dr. Diederichs, früher FR 2, beauftragt wurde.⁴¹ Die Geschäftsführung schaltete sich insbesondere bei Fragen der Vertragsgestaltung ein. Dies geschah z.B. im September 1963, als Interatom ein Schätzangebot für die KNK vorgelegt hatte und die GfK das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF) um Zustimmung für den Abschluß eines entsprechenden F+E-Auftrags bat.⁴² Offensichtlich hatte das Forschungsministerium jedoch andere Vorstellungen von der Abwicklung des Projekts, denn es beauftragte Anfang 1965 die GfK/Versuchsanlagen, mit Interatom den Liefervertrag zu verhandeln.

Wer war diese GfK/Versuchsanlagen?

Es war ein gesonderter Geschäftsbereich des Kernforschungszentrums, dessen offizieller Name seit 1964 bekanntlich Gesellschaft für Kernforschung mbH, abgekürzt GfK, hieß. Die GfK/Versuchsanlagen, kurz GfK/VA oder einfach nur VA genannt, war beauftragt mit der Abwicklung von Versuchsanlagen des Bundes, die in den Atomprogrammen 1 - 3 beschlossen worden waren. Dies waren im einzelnen: der Mehr-

zweckforschungsreaktor MZFR in Karlsruhe, der Heißdampfreaktor HDR in Kahl, das Kernkraftwerk Niederaichbach KKN, die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe WAK und nun zusätzlich die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage KNK Karlsruhe.⁴³

Begonnen hatte es mit dem MZFR, für den 1961 ein Bewilligungsbescheid an die damals noch Sondergeschäftsführung genannte Organisationseinheit (unter Dr. Brandl und Dr. Schöller) ging. Offensichtlich waren die Erfahrungen mit dieser Organisationsstruktur recht gut und so bildete sich mit der Zeit folgendes Abwicklungsschema heraus:

1. Der Bund, vertreten durch das Forschungsministerium, bewilligte die Finanzmittel für die Versuchsanlage;
2. die GfKVA fungierte als Trägergesellschaft, führte als Bauherr und Eigentümer die Projekte durch und betreute sie nach ihrer Fertigstellung;
3. die Industrie projektierte und baute die Anlagen entweder als Generalunternehmer oder als Generalingenieur (z.B. WAK);
4. die Elektrizitätsversorgungsunternehmen verpflichteten sich zur Stromabnahme und gründeten Tochtergesellschaften für die Bauaufsicht und den späteren Betrieb.

Bis 1973, dem Ende des 3. Atomprogramms, hatte die VA für die 5 genannten Versuchsanlagen sowie periphere Zusatzeinrichtungen rd. 700 Mio. DM an Investitionen und 130 Mio. DM für Betriebsmittel aufgewendet. - Eine beeindruckende Summe, und doch wiederum bescheiden anmutend, wenn heute für den Abriß dieser Anlagen einige Milliarden veranschlagt werden.⁴⁴

Die GfKVA war eine kleine Organisationseinheit mit ca. 40 Angestellten, geführt von einem Geschäftsführer (zuerst Dr. Brandl,



GfK-Geschäftsführung 1968-73 (von links):
Dr. Schnurr (GfK, techn.), Dr. Greifeld (GfK, adm.), Dr. Eitz (GfK/VA)

ab 1968: Dr. August-Wilhelm Eitz) sowie einem Prokuristen für die kaufmännisch-juristischen Belange (Dr. Hubert Tebbert). Das Budget des GfKVA war streng getrennt von dem des GfK/Forschungsbereichs. Die Eigenständigkeit des Geschäftsbereichs Versuchsanlagen war auch hinsichtlich der Administration samt Mittelverwendung sowie der technischen Projektführung gewahrt.

Für jede Versuchsanlage gab es auf der technischen Seite einen Projektleiter, unterstützt durch einen Projektingenieur. Für KNK war dies zunächst Dr. Gerhard Brudermüller und ab 1969 der Autor dieses Berichts mit Ing. grad. Gregor Schnetgöke. Wegen der Kleinheit der GfKVA waren auch ihre administrativen Wege sehr kurz; beim Geschäftsführer einlaufende Schreiben landeten in der Regel noch am gleichen Tag auf dem Schreibtisch desjenigen, der sie zu bearbeiten und - allermeist auch - zu erledigen hatte.

Es machte Spaß, bei der VA zu arbeiten.

1.3.4 Der Lieferauftrag an Interatom

Mit den Unterschriften vom 1. März bzw. 31. Mai 1966 erteilte GfK/Versuchsanlagen den Lieferauftrag für KNK an Interatom. In den nahezu 3-jährigen Diskussionen zwischen Interatom, GfK und GfKVA hatte man sich auf folgende Zweckbestimmung für die KNK geeinigt:

1. Sie sollte die Vorstufe der natriumgekühlten 300 MWe-Prototypanlage sein;
2. sie sollte der Heranziehung von Betriebspersonal dienen, insbes. in Hinblick auf die folgende Großanlage SNR 300;
3. sie sollte die exemplarische Feststellung der Genehmigungsaufgaben für natriumgekühlte Reaktoren in der Bundesrepublik ermöglichen, und
4. sie sollte eine Bestrahlungseinrichtung für die Erprobung von Schnellbrüterbrennstoff unter repräsentativen Betriebsbedingungen darstellen.

Der Lieferauftrag für KNK umfaßte die technische Auslegung und die Lieferung des 20 MWe-Kernkraftwerks sowie Ingenieurleistungen für den Bauteil und die Brennelementausstattung. Vom Bauherrn GfKVA waren zu erbringen die Rohbauarbeiten, die Brennstäbe samt angereichertem Uran (gefertigt bei AEG, Großwelzheim), das Genehmigungsverfahren sowie der Betrieb der Anlage mit eigenem Betriebspersonal.

Der Gesamtpreis für KNK belief sich auf 110,2 Mio. DM; der Anteil für Interatom betrug 87 Mio. DM, der Rest waren die genannten bauherrnseitigen Leistungen. Bemerkenswert ist, daß ein absoluter Festpreis ausgehandelt werden konnte, der von inflationsbedingten Änderungen der Materialpreise und der Löhne unabhängig war, somit keine der später üblichen Preisgleitklauseln enthielt. Als Lieferzeit waren 42 Monate, also die knappe Zeit von 3 1/2 Jahren, veranschlagt.

Der Vertragstext umfaßte 56 Seiten zuzüglich 10 voluminösen Anlagen und enthielt eine Reihe von trickreich formulierten Klauseln, welche die Projektleitungen der Vertragspartner zu ständiger Aufmerksamkeit veranlaßten. Eine Vertragsvorschrift, die sog. Vollständigkeitsklausel besagte, daß

"unabhängig vom Leistungsverzeichnis die Lieferungen und Leistung der Interatom so vollständig sein müssen, daß sie einen ordnungsgemäßen Betrieb ermöglichen".⁴⁵

Hier lag der Teufel wahrhaftig im Detail, und nahezu jeden Tag kamen Vorgänge auf den Tisch, die kontrovers bewertet werden konnten - ob sie zur Vollständigkeit einer Anlage gehörten oder nicht. Andere Klauseln betrafen den Stand der Technik bei Vertragsabschluß bzw. Mehr- und Minderleistungen aufgrund technischer Änderungen. Schließlich gab es das große Paket atomrechtlicher Auflagen, bei denen in meist langwierigen Diskussionen der Kostenträger gefunden werden mußte. An dieser Stelle verdient der Projektingenieur Gregor Schnetgöke hervorgehoben zu werden, der im ständigen Ringen mit seinen Kollegen auf der Seite Interatoms (Gubo, Gilles) die schwierige Aufgabe der Lieferabgrenzung so hervorragend löste, daß die spätere Überprüfung des Projekts KNK durch den Bundesrechnungshof zu keinerlei Beanstandungen Anlaß gab.

Für die Inbetriebnahme nach Abschluß der Bauphase war ein Selbstkostenerstattungspreis mit Obergrenze (4,75 Mio. DM) festgesetzt, oberhalb dessen die Mehrkosten je zur Hälfte von den Vertragspartnern zu tragen waren. Schließlich gab es eine ganze Reihe von Gewährleistungszusicherungen durch den Lieferanten, so z.B. für die Anlagenleistung, die Kontrollstäbe, die Brennelementreaktivität, die Materialwerte u.a.m., bei denen im Falle der Nichterfüllung Mängelbeseitigung bzw. Ersatzlieferung vereinbart war. Die Bauzeit von 42 Monaten war pönalisiert; jeder weitere Monat hätte 60.000,- DM Verzugsentschädigung bedeutet.

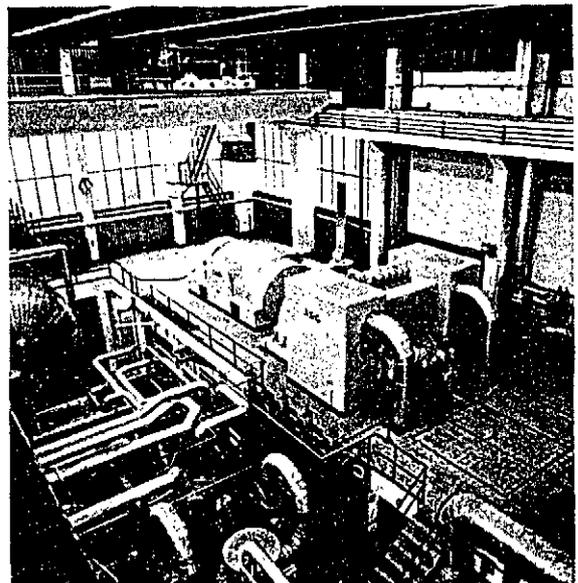
Im Rückblick zeigt sich, daß dieser Vertragstyp mit seiner starken Fixierung auf das Projektziel und die Festlegung von spürbaren Sanktionen bei Nichterfüllung einzelner Teilziele für die Trägergesellschaft GfK/VA das wirksamste Instrument der Erfolgskontrolle war. KNK wurde in der knappen Bauzeit von 42 Monaten errichtet und zu Kosten, die innerhalb der vertraglichen Flexibilität lagen. Bedenkt man, daß die allgemeine Preissteigerung während der Bauphase zwischen 1966-69 bei knapp 10 % lag, so ist klar, daß dies zu einer beträchtlichen indirekten Eigenbeteiligung der Interatom am KNK Projekt geführt haben muß.

Aufgrund der guten Erfahrungen mit der Vertragsabwicklung der KNK spielte man in Bonn eine Zeitlang mit dem Gedanken, auch die Großanlage SNR 300 nach dem VA-Modell zu errichten. Man kam jedoch Ende der sechziger Jahre davon ab, weil der SNR 300 "industrienäher" abgewickelt werden sollte.

1.3.5 Die KBG/Badenwerk als Betreiber

Schon im August 1963 hatte sich das lokale EVU Badenwerk auf Anfrage des KfK hin bereit erklärt, für KNK einen verlorenen Zuschuß in Höhe von 4 - 5 Mio. DM bereitzustellen. Dies entsprach etwa den Aufwendungen für Turbine, Generator und Schaltanlage. Darüberhinaus war man bereit, die elektrische Energie der KNK abzunehmen, ähnlich wie das bereits beim MZFR geschah.⁴⁶

Parallel zu den Lieferverhandlungen mit Interatom kam es auch zum Abschluß eines Betriebsführungsvertrags im Oktober 1966. Als Betreibergesellschaft gründete das Badenwerk ein Tochterunternehmen, die Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH, abgekürzt KBG, welche sowohl für KNK als auch MZFR zuständig sein sollte. Die Aufgaben der KBG waren während der Errichtungsphase die technische Bauaufsicht und nach der Übergabe der eigentliche Kraftwerksbetrieb. Die Projektkontrol-



Blick auf den KNK-Turbogenerator
im Maschinenhaus

le vor Ort durch die KBG sicherte dem Personal eine intime Anlagenkenntnis noch vor der Inbetriebnahme. Dadurch wurde zu einem Teil wettgemacht, daß der Betreiber - und die VA - erst nach abgeschlossener Planung mit dem Projekt KNK beauftragt worden waren.

Die KBG, eine selbständige juristische Gesellschaft, war gehalten, ihre Geschäfte nach den in der Elektrizitätswirtschaft üblichen Grundsätzen zu besorgen. Jährlich war mit der Trägergesellschaft GfK/VA ein Finanzplan mit Arbeitsprogramm zu verhandeln. In diesem Rahmen wurden der KBG alle Ausgaben voll erstattet, abzüglich der Erlöse aus der Stromerzeugung. KBG und VA waren gemeinsam Inhaber der atomrechtlichen Genehmigung für die KNK.⁴⁷

1972, zu einem Zeitpunkt, an dem sowohl MZFR als auch KNK voll in Betrieb waren, hatte die KBG 242 Bedienstete.

1.4 Die Realisierung der KNK

1.4.1 Die Auslegung der Anlage

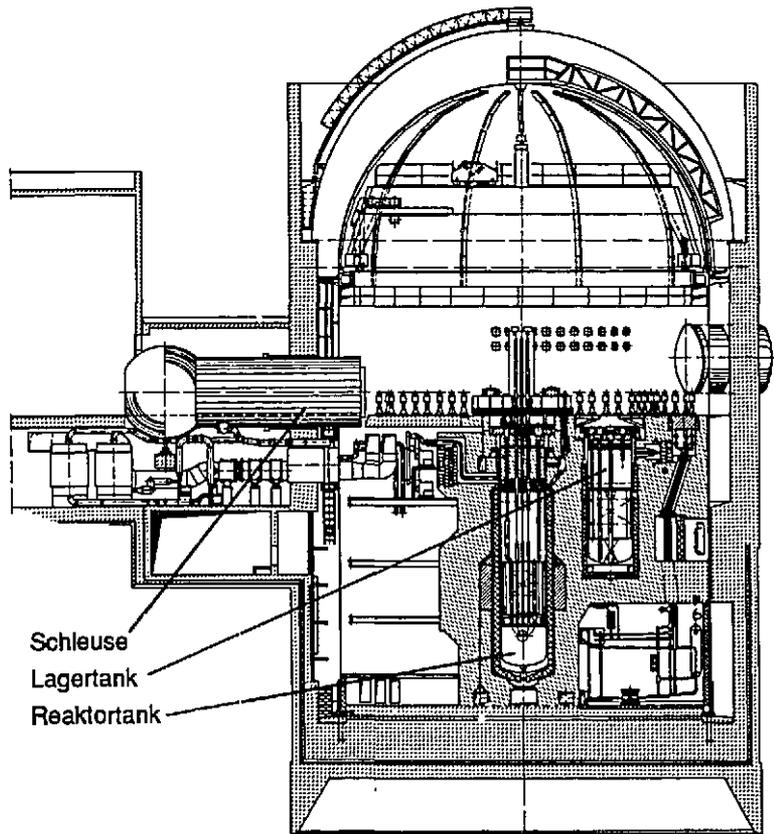
Die KNK wurde im wesentlichen zwischen 1961 und 1964 ausgelegt. Die erforderlichen Finanzmittel in Höhe von 30 Mio. DM stellte der Bund zur Verfügung; Interatom steuerte 5 Mio. DM an firmeneigenen Geldern bei. 1964 waren ausschreibungsreife Projektunterlagen sowie ein vorläufiger Sicherheitsbericht erarbeitet, der Interatom die Abgabe eines Angebots ermöglichte. Die wichtigsten technischen Auslegungsparameter für die verschiedenen Kraftwerksbereiche werden im folgenden beschrieben.^{48, 49}

Der Bereich Reaktorkern

Zu den wichtigsten Komponenten zählten die *Brenn- und Moderatorelemente*. Sie beruhten auf zylindrischer Geometrie, was die Handhabungsvorgänge vereinfachte, weil dadurch die azimutale Orientierung der Elemente überflüssig war. Die Elemente bestanden aus einem zentralen zylindrischen Moderatorteil, umgeben von 44 Brennstäben auf 2 Ringreihen und einem äußeren ringförmigen Moderatorteil. Der Außendurchmesser (Schlüsselweite) eines Brennelements betrug 126,1 mm, die Brennstäbe hatten

etwa 1 m aktive Länge. Der innere Moderatorteil bildete mit den Brennstäben gekoppelt das eigentliche Brennelement; der Außenmoderator sollte bei BE-Wechseloperationen normalerweise im Reaktor verbleiben. Die Brennstofftabletten aus UO_2 hatten eine Anreicherung von 6,75 %, einen Durchmesser von 8,7 mm und sollten einen mittleren Abbrand von 10.000 MWd/tU sicherstellen.

Im Reaktortank waren im Normalauslegungsfall 66 Positionen für Brennelemente vorgesehen; bei frischbeladenem Core kamen zusätzliche Absorberstäbe hinzu, welche nach Erreichen eines gewissen Abbrands gezogen werden konnten. Die Brennelemente wurden hydraulisch niedergehalten. Ihr Kühlmittel durchfluß konnte unabhängig voneinander, während des Betriebs, durch Regelblenden von außen verstellt werden. Die Justierung erfolgte über flexible Kabel, die in der Art eines Bowdenzuges in Rohren geführt wurden (Blendenverstelleinrichtung).



Schnitt durch den Sicherheitsbehälter der KNK

Das Core befand sich in einem 10 m hohen *Reaktortank* von 1,9 m Durchmesser. Aus Sicherheitsgründen war er umgeben von einem weiteren Stahltank; dessen Zentrierstift am unteren Ende konnte nach Einbau nicht mehr überprüft werden und gab deshalb immer wieder zu Spekulationen Anlaß. Auch die Natriumeintrittsleitung sowie die beiden Austrittsleitungen waren einschließlich der Reaktorabsperrschiebern doppelwandig ausgeführt. Der Reaktordeckel bestand aus zwei exzentrisch ineinandergesetzten, drehbaren Teilen mit Basaltgranulat und Schwerstbeton als Abschirmmasse. Die Dichtung zwischen Tank und Deckel besorgten zwei aufblasbare Gummidichtungen, die in ihrer Form Fahrradschläuchen ähnlich waren.⁵⁰

Die Leistungsregelung und Abschaltung erfolgte durch 7 *Kontrollstäbe*, die alle jeweils als Regel-, Trimm- oder Abschaltstäbe betrieben werden konnten. Im konstruktiven Aufbau bestanden sie aus dem oben angeordneten Antrieb, dem Kupplungsgestänge sowie dem in einem Hüllrohr im Core laufenden Absorberteil. Der Antrieb geschah über eine Kugelumlaufspindel, bei Schnellschluß wurde die elektromagnetische Kupplung zwischen Antrieb und Gestänge gelöst. Zur Erhöhung der Abschaltwirkung befand sich innerhalb des Absorberbündels ein zylindrischer Zirkonhydrid-Moderatorteil.⁵¹

Die *Handhabung* der Brennelemente und der aktivierten Reaktorteile geschah mit einer als Halbportal drehbaren Wechselmaschine; eine Umsetzvorrichtung besorgte das Umsetzen von Brennelementen innerhalb der Reaktortanks. Die Wechselmaschine, von der Firma Demag gebaut, besaß zwei getrennte Gaskreisläufe, wodurch das gezogene Brennelement mit Argon gekühlt werden konnte. Mit ihr wurden ein natriumgekühltes BE-Lagerbecken sowie eine Beobachtungs- und Demontageposition für Brennelemente angefahren. Durch die Ausbildung des Unterwagens der Wechselmaschine als Halbportal wurde eine wesentliche Vereinfachung erreicht. Die Zuführung des Kühlgases über den Portalfuß ermöglichte es, alle Kühl- und Schutzgasvorrichtungen unterhalb des Reaktorflurs anzuordnen. Das Umsetzen der Brennelemente innerhalb des Kerns erfolgte mit der Umsetzvorrichtung, die auf den Reaktordeckel gestellt werden konnte. Da die Elemente während dieses Handhabungsvorgangs nur innerhalb des Natriumpools bewegt wurden, war keine zusätzliche Kühlung erforderlich.

Die Wechselmaschine hatte bei KNK eine herausragende sicherheitstechnische Bedeutung. Als "maximal glaubhafter Unfall" (damalige Terminologie) wurde nämlich das Schmelzen eines hochbelasteten Brennelements infolge Kühlungsausfall in der Wechselmaschine definiert. Darauf basierte u.a. die Auslegung des Sicherheitsbehälters auf Gasdichtigkeit bis 200 °C und einen Überdruck von 2,5 at. Bei Wiederholungsprüfungen war deshalb die Feststellung der Funktionstüchtigkeit der Wechselmaschine sehr wichtig. Meist waren es die Zugbänder, die zu Wartungsarbeiten Anlaß gaben.

Der Bereich Wärmeübertragungssystem

Das *Wärmeübertragungssystem* bestand aus zwei parallel geschalteten Kreisläufen zu je 29 MWt. Die im Reaktorkern erzeugte Wärme wurde über die beiden Primärnatriumkreisläufe zu je einem Zwischenwärmetauscher transportiert und dort an die Sekundärkreisläufe gegeben, welche nichtaktiviertes Natrium enthielten. Diese wurden auf Gas-

vordruck gehalten, um Leckagen des Primärnatriums in das Sekundärsystem zu verhindern. Das Wärmeübertragungssystem war bis auf wenige austenitische Teile vollständig aus dem benannten niedrig legierten ferritischen Stahl gebaut.

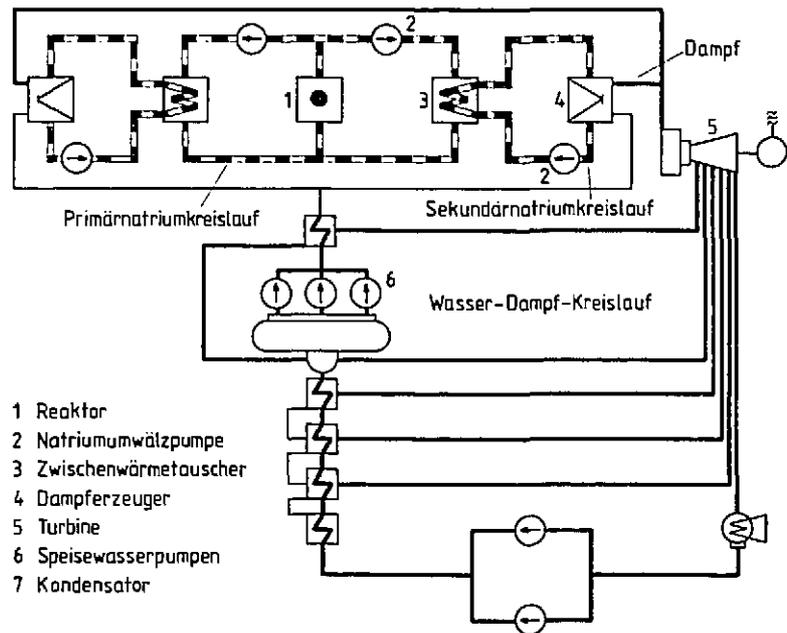
Die vier *Natriumpumpen* in den beiden Primär- und Sekundärkreisen waren mechanische, vertikal angeordnete einstufige Umwälzpumpen mit Radiallaufrad, also sog. "open surface"-Pumpen.

Die Pumpen wurden nach oben zum Antriebsmotor mechanisch gedichtet und unten in einem hydrostatischen Natriumlager geführt. Die Durchsatzvariation geschah durch Ändern der Drehzahl des Gleichstromantriebs.

Die *Zwischenwärmetauscher* besaßen vertikale, zylindrische Sammler an beiden Seiten des Rohrbündels. In die relativ dünnwandigen und großen Mantelflächen dieser Sammler konnten die gewendelten Rohrschlangen "wärme-

spannungsarm" eingeleitet werden. Die Wärmetauscher waren so angeordnet, daß alle Strömungen in Richtung der natürlichen Konvektion erfolgten. Außerdem waren sie höhenmäßig gegenüber dem Core so versetzt, daß eine sichere Nachwärmeabfuhr über Naturkonvektion erreicht wurde.

Der *Dampferzeuger* bestand aus parallel geschalteten Doppelrohrschlangen, wovon jede die thermische Leistung von 1 MW übertrug. Im inneren Rohr strömte Wasser bzw. Dampf, im Spalt zwischen dem Innen- und dem Außenrohr Natrium im Gegenstrom. Mit einem Durchmesser von 20 - 30 mm und Wandstärken von 2 - 3 mm hatten die Dampfrohre Abmessungen, die etwa denen von Kesselrohren in herkömmlichen Dampfkesseln entsprachen. Die Schweißnähte wurden zu 100 % auf Risse, Dopplungen und Schlackeneinschlüsse überprüft. Im Falle einer Natrium-Wasser-Reaktion war



Prinzip-Kreislaufschema der KNK

sichergestellt, daß der Dampferzeuger automatisch abgesperrt wurde. Die Druckentlastung geschah über einen Zyklon, in dem sich das Natrium und die festen Reaktionsprodukte abschieden; der Rest wurde über Dach abgeblasen.

Als *Armaturen* zur Natriumabspernung wurden in dem Wärmeübertragungssystem Keilplattenschieber herkömmlicher Bauart verwendet. Die Abdichtung der Spindel-durchführung erfolgte mit Natriumgefrierdichtungen. Zur Regelung der Durchflußmenge bei Nachwärmebetrieb wurden Düsenregelschieber eingesetzt. An Stelle der Keilplatten hatten sie eine fest eingebaute Lochplatte, deren Öffnungen von einer Schieberplatte variabel freigegeben wurde.

Die *Dampfkraftanlage* der KNK entsprach der eines konventionellen Dampfkraftwerks gleicher Leistung. Sie war ausgelegt für eine maximale Klemmenleistung am Generator von 25 MWe. Der Frischdampfdruck am Turbineneintritt betrug 80 ata, die Frischdampf-temperatur 505 °C. Das Speisewasser wurde in einer 5-stufigen Vorwärmanlage auf 235 °C vorgewärmt. Die Rückkühlung des Kühlwassers erfolgte in einer dreitürmigen Ventilator-kühlurmanlage.

Die *Regelung* der Gesamtanlage geschah in der Weise, daß bei Laständerungen die Temperaturen in den Kreisläufen möglichst konstant blieben, um Wärmeschockbeanspruchungen zu vermeiden. Dies erforderte die leistungsproportionale Veränderung aller Durchsatzmengen. Zur Konstanthaltung des Temperaturniveaus regelte man die Reaktoraustrittstemperatur über den Neutronenfluß. Der Dampfdruck wurde über den Speisewasserdurchsatz konstant gehalten. Die Regelung der Dampftemperatur vor der Turbine wurde durch Verändern der Natriumeintrittstemperatur des Dampferzeugers erzielt. Im übrigen sollte Lastfolgebetrieb möglich sein. Für An- und Abfahrvorgänge war die Temperaturänderungsgeschwindigkeit mit Rücksicht auf die Wärmespannungsbelastung auf 2 grd/min begrenzt. Für betrieblich nicht zu beeinflussende instationäre Vorgänge wie Pumpenausfall und Schnellschlüsse waren eine begrenzte Zahl von Wechselbeanspruchungen (ca. 200) jenseits der Streckgrenze des Werkstoffs gemäß Festigkeitsanalysen erlaubt.

Die Neuartigkeit der Anlage

Faßt man die bereits genannten Auslegungsparameter zusammen, so hatte die KNK zum Zeitpunkt 1964 eine Reihe von neuartigen Aspekten, die sie von früheren natriumgekühlten Reaktoren deutlich unterschied. Sie seien kurz aufgelistet:

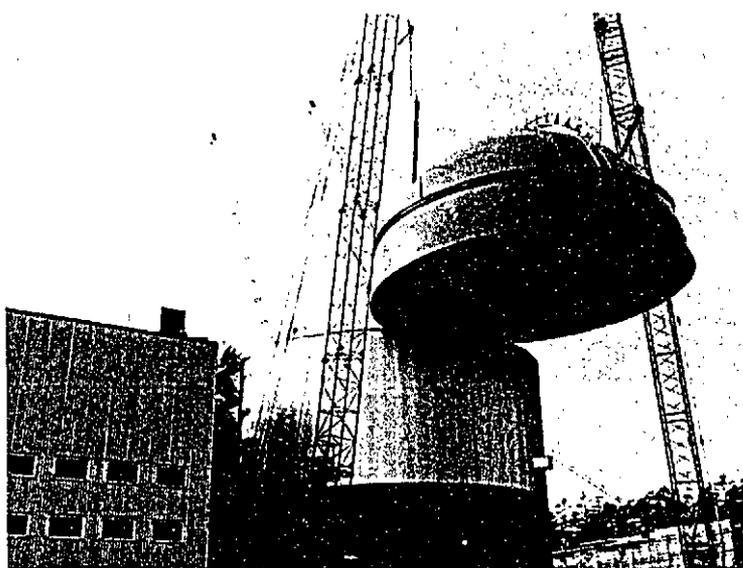
1. Die größte Längenleistung in einem Brennstab des KNK-Brennelements betrug unter Berücksichtigung des Heißkanalfaktors 510 W/cm. Dies war bis dato die höchste Wärmebelastung eines Reaktors mit oxidischem Brennstoff.
2. Als Hüllmaterial für die Brennstäbe wurde erstmals austenitischer Stahl mit 16 % Chrom und 13 % Nickel eingesetzt. Dieser Stahl hatte eine geringere Anfälligkeit gegen Versprödung durch Sigmaphasenbildung als die im Ausland üblicherweise verwendeten Stähle mit 18 % Cr und 8 - 10 % Ni.
3. Mit einer maximalen Natriumtemperatur am Reaktorausstritt von 560 °C gehörte die KNK zu den Reaktoren mit den höchsten Kühlmitteltemperaturen.
4. Für die Wärmekreisläufe wurde der kohlenstoffstabilisierte ferritische Stahl 10 CrMoNiNb 9 10 verwendet. Im Vergleich zu austenitischen Edelstählen war er weitaus billiger und besaß wegen der höheren Wärmeleitfähigkeit sowie des niedrigeren Ausdehnungskoeffizienten eine geringere Thermoschockanfälligkeit, allerdings bei größeren Wanddicken.⁵²
5. Der Reaktor enthielt eine Blendenverstelleinrichtung, mit welcher der Durchfluß jedes Kühlkanals von der Reaktorbetriebsebene aus eingestellt und verändert werden konnte. Flexible Kabel waren durch den Reaktortankeintritt geführt und betätigten Blenden in den Brennelementfüßen; gleichzeitig wurden die BE-Austrittstemperaturen durch Thermolemente überwacht.
6. Neuartig war auch die Konstruktion des Zwischenwärmetauschers und Dampferzeugers. Für den Zwischenwärmetauscher wurde bereits ausgeführt, daß die gewendelten Rohrleitungen in die verhältnismäßig dünnwandigen und großen Mantelflächen der Sammler wärmespannungsarm eingeleitet werden konnten. Die Dampferzeuger bestanden aus parallel geschalteten Doppelrohrschlangen; sie endeten jeweils an vier parallel laufenden Sammelrohren für Sekundärnatriumeintritt und -austritt sowie für Speisewassereintritt und Dampfaustritt. Nachteilig war ihr großer Platzbedarf, der die Verwendung dieses Dampferzeugertyps bei Anlagengrößen über 300 MWe praktisch ausschloß.

7. Schließlich wurde durch KNK auch die Verwendbarkeit von Zirkonhydrid als Moderator für thermische Reaktoren bestätigt. Es deutete sich an, daß ZrH_2 mit seiner dem Wasser vergleichbaren Wasserstoffdichte auch zur Abschirmung des hohen, schnellen Neutronenflusses bei zukünftigen Schnellen Brütern interessant werden konnte.
8. Die Nachwärme bei abgeschaltetem Reaktor konnte über Naturumlauf des Kühlmittels Natrium abgeführt werden, ein wichtiges Sicherheitskriterium der Anlage.

1.4.2 Zügige Errichtung

Die Bauarbeiten für die KNK begannen unmittelbar nach der Unterzeichnung des Liefervertrags im Mai 1966. Die erste Maßnahme war die Gründung des Caisson für das Reaktorgebäude, welche wegen des relativ hohen Grundwasserstandes im Kernforschungszentrum notwendig war. Die Schneide des Senkkastens wurde 13,6 m unter die Geländeoberfläche gelegt. Nach dem Abteufen konnte mit der Erstellung des Sicherheitsbehälters begonnen werden, und schon im März des darauffolgenden Jahres wurde der Behälter samt Schleusen erfolgreich dicht- und druckgeprüft. Im Juni 1967 konnte das Verwaltungsgebäude der zukünftigen Betriebsmannschaft übergeben werden. Oberbauleiter Adam - Regierungsbaumeister a. D. - hatte für den zügigen Baufortschritt gesorgt.

Beim Reaktorgebäude wurden danach innerhalb der Sicherheits- hülle die Primärzellen und der biologische Schild ausgebaut. Nach Auskleiden der Gruben für Reaktortank und Brennelementlager konnte im September 1967 der Reaktordoppeltank eingesetzt werden. Noch im gleichen Jahr wurde auch der den Sicherheits-



Die Kuppel des KNK-Sicherheitsbehälters wird aufgesetzt (1967)

behälter umgebende zylindrische Außenbetonmantel errichtet und mit einer zweiten Stahlkuppel abgedeckt.

Die Rohbauarbeiten für Dampferzeugerhaus, Maschinenhaus, Wartengebäude, Zellenkühler, Werkstatt, Notdiesel und Wasseraufbereitung begannen im Februar 1967. Ihr Ausbau war Ende 1967 abgeschlossen, so daß - welch ein Tempo, verglichen mit dem späteren Projekt SNR 300 - im Januar 1968 bereits mit der Installation der maschinentechnischen Einrichtungen begonnen werden konnte.

Alle wesentlichen Teile der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung waren schon im Laufe des Jahres 1966 in Auftrag gegeben worden. Der ferritische Sonderstahl 10 CrMoNiNb 9 10 (Werkstoff-Nr. 1.6770) für die Wärmeübertragungssysteme wurde nach einem standardisierten Programm für Halbzeuge beschafft; dadurch ließ sich die Fertigung bei den verschiedenen Unterlieferanten terminlich optimal gestalten. Im Oktober 1967 waren alle wesentlichen Komponenten mit Ausnahme des Dampferzeugers im Endstadium der Fertigung.

Die Montage des Rohrleitungssystems begann im Dezember 1967 und hatte ihren ersten Höhepunkt 5 Monate später mit dem Einbau der Primärnatriumpumpen, welche vorher ausgiebig bei Interatom an der 5 MW-Anlage erprobt worden waren. Etwa Mitte 1968 war die Installation der maschinentechnischen Anlagen im wesentlichen abgeschlossen; es folgte der Einbau der elektrotechnischen Ausrüstung sowie die Montage der Dampfkraftanlage. Die von Interatom in Eigenfertigung gebauten Strukturteile für die Brennelemente, Moderatorelemente sowie für die Steuerstäbe der ersten und zweiten Abschaltvorrichtung wurden im Laufe des Jahres 1969 nach Karlsruhe verbracht. Zeitweise bestand ein Terminvorlauf von 5 Monaten, der jedoch wieder aufgehoben wurde durch technische Probleme und Verzögerungen, welche im nächsten Abschnitt beschrieben werden.

Im Oktober 1969 wurde die Betriebsmenge von 89 Tonnen Natrium in die Ablaßtanks übernommen; mit diesem vertraglich fixierten Ereignis hatte die Bauphase ihr Ende gefunden. KNK war in einem Parforce-Ritt ohnegleichen in der vertraglich zugestandenen Zeit von 42 Monaten errichtet worden - freilich mit einigen unter Kapitel 1.5 berichteten Risiken.⁵³ Das Verdienst hierfür kommt neben dem Interatom-Geschäftsführer Dr. Rudolf Harde vor allem seinem Projektleiter Karl-Walter Stöhr zu, der sich voll für das Projekt KNK engagierte und dabei auch manch technischen Disput mit dem Kundenbetreiber KBG nicht scheute.

1.4.3 Betrieb mit Unterbrechungen

Die Inbetriebnahmephase der KNK war in 4 Abschnitte: Inbetriebnahme ohne und mit Natrium (Phasen F1 und F2), Nulleistungstests (F3) und Leistungsbetrieb (F4) unterteilt.

Vertragsgemäß war die Anlage abzunehmen, wenn

"in einem einwöchigen, möglichst ununterbrochenen Betrieb eine Dampferzeugung erreicht wurde, die den Betrieb des Turbosatzes am Netz erlaubte".

Dafür war eine Reaktorleistung um 30 % Nennleistung erforderlich.⁵⁴

Ablauf der Inbetriebnahme

Parallel zu den abschließenden Montagearbeiten wurde in der zweiten Jahreshälfte 1969 mit den Prüfungen F1 begonnen; sie waren etwa bis zum Jahresende abgeschlossen. Zwischen Oktober 1969 und Mai 1970 wurden die Systeme mit Natrium gefüllt und erprobt sowie das Natrium selbst gereinigt. In der Zwischenphase von Mai 1970 bis Mai 1971 erfolgte eine größere Zahl von Systemänderungen, die aus den Inbetriebnahme-Erfahrungen resultierten (siehe Abschnitt 1.5.).⁵⁵

Das Beladen des Cores und die anschließenden Nulleistungsmessungen erstreckten sich über den Zeitraum Juli bis Oktober 1971.

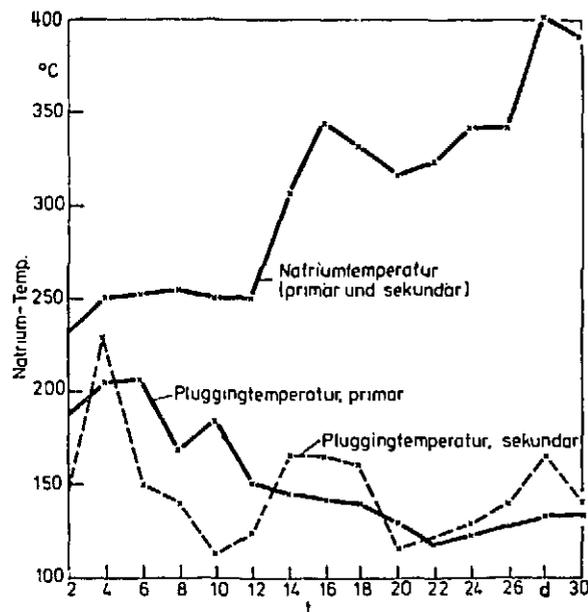
Nach Erhalt der atomrechtlichen Teilbetriebsgenehmigung wurde bis Mai 1972 Schwachlastbetrieb über die Luftkühler gefahren. Die Leistungssteigerung erfuhr eine 4-monatige Unterbrechung (September - Dezember 1972) wegen eines Dampferzeugerschadens. Danach erfolgte am 5. Februar 1973 die Abnahme der Anlage. Am 21.02.1974 wurde die KNK erstmals auf 100 % Leistung hochgefahren. Anschließend betrieb man die Anlage bei Nennlast bis September 1974, dem Beginn der Umbauarbeiten für KNK II.⁵⁶

Die Reinigung des Natriums

Die für KNK benötigten 89 Tonnen Natrium wurden in zwei Kesselwagen angeliefert und bei einer Temperatur von 110 °C in die Ablaßtanks gefüllt. Der gesamte Vorgang dauerte eine Woche. Der Sauerstoffgehalt des Natriums entsprach der Sättigungskonzentration bei der Einfülltemperatur. Die Dauer des nachfolgenden Natrium-Reinigungsbetriebs war durch die hohe Anfangsverunreinigung des ferritischen Systems bestimmt.

Ziel des Reinigungsbetriebs war das Erreichen einer Pluggingtemperatur von unter 150 °C, wofür die Systemtemperatur stufenweise auf 500 °C gesteigert wurde. Typisch für die Reinigungskampagnen war, daß sich oberhalb 400 °C ein zweiter Pluggingpunkt ausbildete. Er war schwer zu beeinflussen, stellte aber keine sonderliche Beeinträchtigung des Anlagenbetriebs dar. Die Pluggingmeter dienten als Indikator für die Verunreinigung des Natriums; bei Unterschreitung der Löslichkeitsgrenze kam es zu temperaturbedingten Verstopfungen hinter einer Drosselstelle.

Auch der Kohlenstoffgehalt stieg, bedingt durch die Anfangsverunreinigung der Systeme, merklich über den Wert bei Anlieferung (11,6 ppm) an. Im Primärsystem wurden Kohlenstoffwerte von 50 ppm gemessen, im Sekundärsystem später gar von 300 ppm, verursacht durch einen Öleinbruch aus den Pumpenlagern. Nach mehrmaligem Reinigungsbetrieb konnten die Werte auf 12 bzw. 18 ppm herabgebracht werden. Eine wesentliche Erfahrung war dabei, daß die Kühlfallen, welche eigentlich für die Entfernung von Natriumoxiden konzipiert waren, sich sehr wohl auch zur Reduktion des Kohlenstoffs eigneten.



Typischer Verlauf der System- und Pluggingtemperaturen während der Reinigungsphase

Das kritische Experiment

Die kritische Mindestbeladung erfolgte bei konzentrischer Brennelementanordnung um die zentrale Position bei ausgefahrenen Kontrollstäben. Die Beladung wurde in acht Schritten vorgenommen, und mit 38 Brennelementen war am 20. August 1971 erstmals Kritikalität erreicht. Die vorausgehenden theoretischen Abschätzungen lagen bei 37 ± 1 Elementen und wurden damit ausgezeichnet getroffen. Erstmals benutzten die Reaktorphysiker bei ihren Extrapolationen einen der damals gerade aufkommenden, reich bestaunten Taschenrechner mit Mikrochips.⁵⁷

In neun weiteren Schritten wurde das Zielcore geladen. Nach dem 13. Beladeschritt war zur Kompensation der Überschußreaktivität der Einbau von 2 Festabsorbern vorgesehen. Für die Überschußreaktivität der endgültigen Konfiguration ergab sich ein Wert von 709 cent; er wurde durch Einfahren der Kontrollstabbank auf 419 cent kompensiert. Der Reaktivitätsgewinn durch Aufheizen des Natriums von 207 auf 472 °C betrug 101 cent. In einem Natriumablaßversuch wurde festgestellt, daß sich bei totalem Natriumverlust aus dem aktiven Core-Bereich ein Reaktivitätsgewinn von 120 cent ergab.

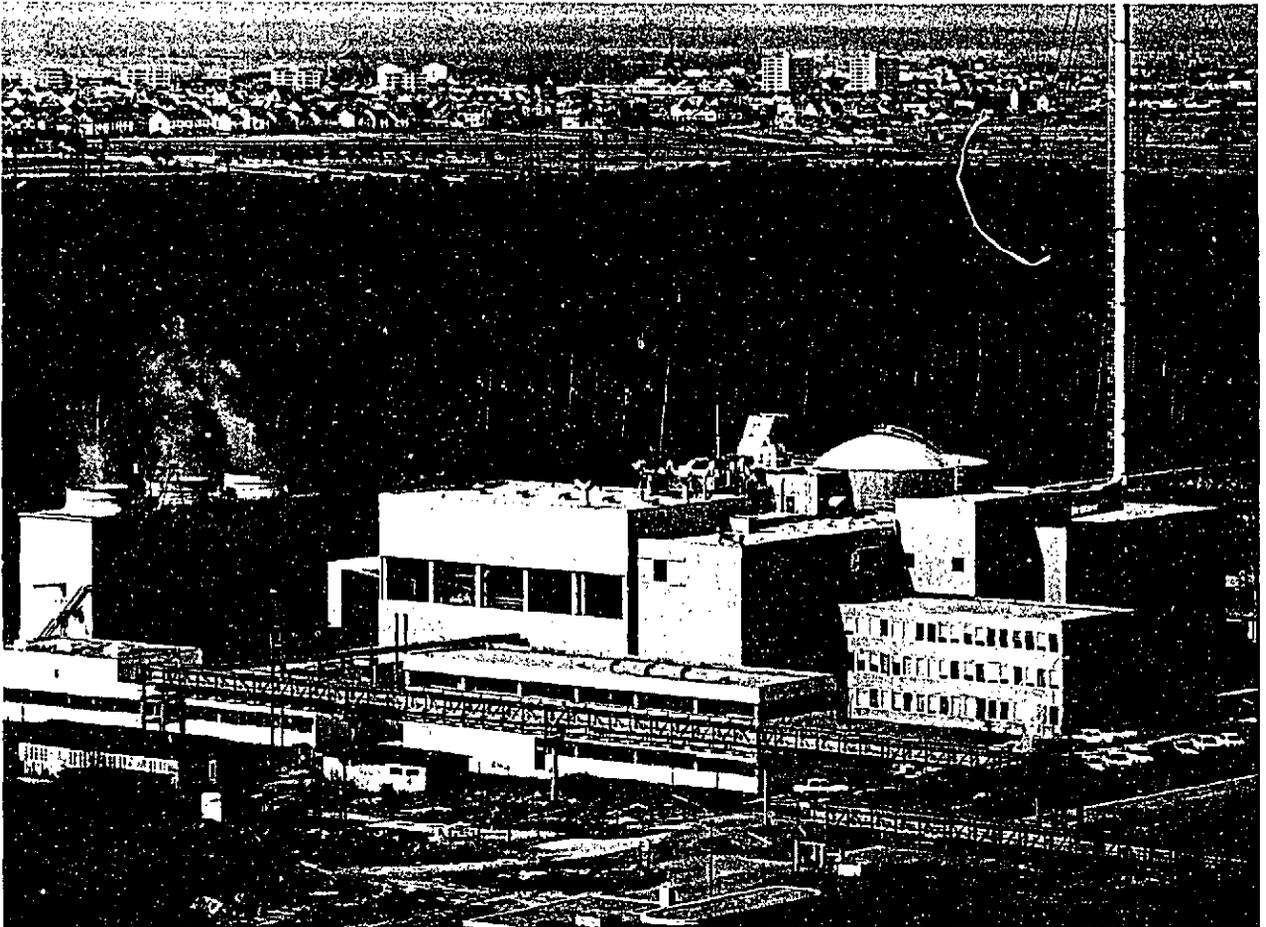
Der Leistungsbetrieb

Nach Abschluß des Luftkühlerbetriebs, der Reaktorleistungen unterhalb 8 % zuließ, wurde der Dampferzeuger in Betrieb genommen und die Leistung stufenweise bis auf 50 % der Nennlast gesteigert. Am 9. August 1972 konnte der Turbogeneratorsatz erstmalig an das Netz synchronisiert und damit bei einer Reaktorleistung von 25 MWt Strom erzeugt werden. Parallel zu den anschließenden Leistungssteigerungen bis 55 % der Nennlast wurden die Kühlströme in den Brennelementen über Drosseln eingestellt. Als Kriterium für die Blendenjustierungen dienten die Austrittstemperaturen an den Brennelementen.

In der Phase der Leistungssteigerung wurde auch das Naturumlaufverhalten der Anlage verifiziert. Hierbei simulierte eine 4 %ige Reaktorleistung die maximal mögliche Nachzerfallsleistung bei voll abgebranntem Kern. Nachdem die volle Aufwärmspanne aufgebaut war, wurde Reaktorschneellschluß simuliert und das Natriumsystem bei ausgeschalteten Kühlmittelpumpen sich selbst überlassen. Es zeigten sich die theoretisch vorausgerechneten Werte für Reaktoreintritts- und -austrittstemperaturen.

Im Februar und März 1973 erfolgte der einwöchige unterbrechungslose Test- und Abnahmebetrieb bei teilweise wesentlich höherer Leistung (59 %), als vertraglich gefordert. Aufgrund dessen wurde am 05.02.1973 die Abnahme der Gesamtanlage durch GfKVA ausgesprochen. Zum gleichen Zeitpunkt übernahm die KBG die verantwortliche Betriebsführung. Auf Seiten Interatom hat sich Oberbauleiter Gerhard Hendl bei der Inbetriebnahme der KNK I verdient gemacht; ihm zur Seite stand sein Nachfolger Wilfried Albat, dem die Ausarbeitung der Programme oblag.

Nach Erhalt der atomrechtlichen Genehmigung für 100 % Leistung (5. TBG) im Februar 1974 erreichte die KNK zwei Monate später die Nennlast. Bis zum Herbst des Jahres 1974 war die Anlage ohne weitere Störungen, zumeist bei 100 % Leistung in Betrieb. Gleichzeitig wurde ein kleines Versuchsprogramm an der KNK abgewickelt mit Tests



Die KNK ist fertiggestellt und in Betrieb gesetzt (1972)

auf den Gebieten der Betriebsinstrumentierung und der Natriumtechnologie. Interessenten waren die Institute des Zentrums, aber auch das Laboratorium für Reaktorregelung und Anlagensicherheit (LRA) in Garching (Prof. Birkhofer).

Am 02.09.1974 wurde die KNK planmäßig und endgültig abgeschaltet, um den Umbau auf KNK II vorzubereiten. Danach erfolgten u.a. die Entladung der Brennelemente und ihr Abtransport zur Wiederaufarbeitungsanlage in Marcoule (Frankreich), der Ausbau des Brennelementlagers und der Einbau des Prozeßrechners.

1.5 Erfahrungsgewinn bei Bau und Betrieb

Bei der Inbetriebnahme einer erstmals gebauten Anlage mit tausenden von Komponenten und Schaltelementen, wie es die KNK darstellte, konnte man durchaus mit Störungen rechnen. Ihr Auftreten soll nicht verschwiegen werden. Versucht man sie in Kategorien einzuteilen, so kann man von Erkenntnisfortschritten während des Baues und der Inbetriebnahme sprechen, von Qualitätsmängeln und unzureichenden Versuchserfahrungen sowie von Problemen beim Genehmigungsverfahren.⁵⁸

Insbesondere beim atomrechtlichen Genehmigungsverfahren machte sich bemerkbar, daß seit Beginn der KNK-Auslegung nahezu zehn Jahre ins Land gegangen waren. Darüberhinaus war inzwischen - am 31.12.1969 - mit dem SNR 300 ein neuer Brüterentwurf vorgelegt worden, der natürlich als Stand der Technik angesehen werden mußte. In den folgenden 3 Jahren wurde die technische Konzeption des SNR 300 durch Intervention von Gutachtern, Genehmigungsbehörden und dem Kundenkonsortium noch einmal kräftig umgekrempelt, was auch auf KNK viele Auflagen herabregnen ließ.^{59, 60}

Neue Erkenntnisse

In der frühen Projektphase wurde der Aufwand für die Bereitstellung geeigneter Berechnungsmethoden teilweise wesentlich unterschätzt. So schafften z.B. komplizierte Bauteile in Verbindung mit den guten Wärmeübertragungseigenschaften des Natriums völlig neuartige Auslegungsbedingungen. Die klassischen Rechenansätze des Maschinenbaus reichen da oftmals nicht mehr aus. Im Zuge der Projektierungen für SNR 300 wurden deshalb auch bei KNK gezielt Nachrechnungen mit neu entwickelten Program-

men angestellt. Im Endeffekt führte dies in einigen Fällen zum Einbau völlig neuer Komponenten in die bereits fertige Anlage. Beispielhaft hierfür ist die sehr aufwendige Nachscramregelung, welche mit dem Einbau zusätzlicher Kompensatoren und Mischstücke etwa 3 Monate Terminverzug in der Inbetriebnahmephase erzwang.

Dies machte auch die Änderung der Pumpenlaufzeuge notwendig, um die vorgegebene Temperaturänderungsgeschwindigkeit von $0,7\text{ °C/min}$ beibehalten zu können. Daneben war die Rückspeiseleitung der Primärreinigung abzuändern und das Sekundärsystem mit neuen Mischstücken zu versehen für die Einspeisung von kaltem Natrium in den heißen Strang. Ebenso erwiesen sich die neutronischen Abschirmrechnungen in mehreren Fällen als unzureichend. Deshalb mußten die Primärzellen nach der nuklearen Inbetriebnahme an verschiedenen Stellen gegenüber dem Sekundärsystem zusätzlich abgeschirmt werden.

Auch die Kompaktheit der Anlage, aus Kostengründen gewählt und zur Namensgebung KNK beitragend, stellte sich mehr und mehr als Nachteil heraus. Sie behinderte die Montage der Komponenten und in vielen Fällen (Beispiel: Primärnatriumprobenahme) auch die Zugänglichkeit für das Betriebspersonal. Bei Reparaturkampagnen in den keineswegs wartungsfreien Primärzellen - ursprüngliches Auslegungsziel - waren komplizierte Prozeduren auszuarbeiten, insbesondere, wenn in Strahlungsfeldern gearbeitet werden mußte. Auch beim Belüftungssystem wäre die getrennte Abschieberung jedes einzelnen Raumbelüftungskanals sowie die verstärkte Ausbildung feuerhemmender Barrieren ein Vorteil bei Natriumbränden und bei der mit ihnen einhergehenden Aerosolbildung gewesen.

Qualitätsmängel

Im Zuge der Inbetriebnahmearbeiten wurde festgestellt, daß es an den Natriumrohrleitungen gelegentlich zu Überhitzungen kam. Als Ursache konnten die Rundrohrheizkörper der elektrischen Begleitheizung festgestellt werden, bei denen zuweilen Erdschlüsse auftraten. Eine winzige, 1 mm lange, aber 9000 mal vorkommende Madenschraube in den Heizanschlüssen war unzulänglich gesichert und bewirkte dadurch einen mehrmonatigen Terminverzug, weil ein Komplettersatz der Anschlußköpfe erforderlich wurde. Dr. Herberg, vorher Leiter der Interatom-Qualitätsstelle, war als nach Karlsruhe delegierter Oberbauleiter damit beschäftigt.

Im März 1971 geschah im Reinigungssystem des Sekundärbereichs ein Brand durch ausströmendes Natrium. Ein temporär installierter Anfahrheizer für die isotherme Aufheizung des Systems auf 500 °C besaß eine fehlerhafte Endkappenschweißung an einem Heizstab, wodurch es bereits zweimal zu Undichtigkeiten gekommen war. Bei der dritten Leckage kam es zum Austritt von ca. 500 kg heißen Natriums mit anschließender Brandentwicklung. Obwohl der Schaden lokal begrenzt war, gestalteten sich die Löscharbeiten schwierig. Wegen der ständigen Aerosolbildung war die Sicht auf den eigentlichen Brandherd sehr behindert, und das auslaufende Natrium mußte über mehrere Stunden stets aufs neue abgedeckt werden.



Loch im KNK-Dampferzeugerrohr in der Nähe einer Abstandshalter-schweißung

Im September 1972 kam es zum ersten - und einzigen - Schaden an dem sonst sehr zuverlässigen Dampferzeuger der KNK. Wie später festgestellt, war das Leck an der Flosse eines Abstandshalters im Doppelrohrsystem entstanden, wo ein durch Prüfung schwer feststellbarer Poreneinschluß existierte. Die Druckentlastung beim Störfall funktionierte zwar, aber die Tatsache, daß mehrere Kilogramm Natrium ins Tertiärsystem bis kurz vor die Turbine eingedrungen waren, veranlaßte daraufhin Nachbesserungen bei der Instrumentierung und den Berstscheiben.^{61,62}

Weitere Mängel, die im Laufe der Inbetriebnahme aufgedeckt wurden, waren der Bruch einer Berstscheibe im Tertiärsystem, verursacht durch eine hochlaufende Pumpe sowie das gleichzeitige Zufahren zweier Schieber im Primärnatriumsystem. Schließlich war noch das Aufschwimmen eines Festabsorbers zu registrieren, ein Vorfall, den die verärgerte Aufsichtsbehörde mit einem temporären Stilllegungsbescheid beantwortete.

Rechnet man auch menschliche Fehlhandlungen dem Qualitätsbereich zu, so sind die falschen Bohrungen im Drehdeckel zu erwähnen, welche alle Kontrollinstanzen passierten und erst auf der Baustelle entdeckt wurden. Oder die zu reichliche Schmierung des Pumpenlagers, wodurch ca. 10 Liter Öl in das Sekundärnatriumsystem überlaufen konnten, welches anschließend abzudestillieren war.

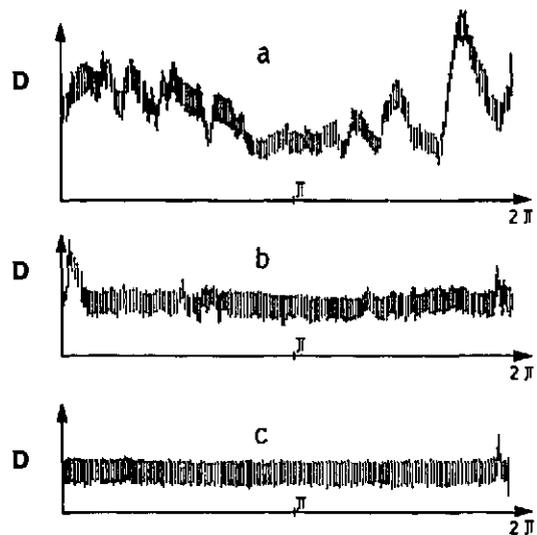
Schließlich sei noch die unzureichende Abdichtung der Primärzellen gegen Stickstoffaustritt genannt, welche ihre Ursache in einer Kombination von mangelhafter Bauaufsicht und unzureichenden Dichtmaterialien hatte. Anfangs war ein Überdruckbetrieb

vorgesehen, der jedoch zu nicht akzeptablen Leckagen in der Größenordnung von $50 \text{ m}^3/\text{h}$ führte und deshalb aufgegeben werden mußte. Daraufhin wurde eine Fahrweise gewählt, die durch Stickstoffeinspeisung den Sauerstoffgehalt der Primärzellen auf unter 2 % und damit unter das Brennlimit senkte. Auch daraus ergaben sich erhebliche Probleme in der Vorhaltung der Stickstoffmengen sowie Sicherheitsrisiken bei Natriumleckagen wegen kurzer Fluchtzeiten.

Fehlende Versuchserfahrungen

In einigen Fällen hat sich gezeigt, daß das vorausgehende F+E-Programm bei Interatom in Bensberg die späteren Realisierungsrisiken nur unzureichend abdeckte. Ursache hierfür war entweder das - aus Finanzierungsgründen - begrenzte Versuchsvolumen oder die Tatsache, daß sich gewisse Phänomene außerhalb des Reaktors nur lückenhaft nachbilden lassen.

So wurde im Sommer 1970 bei KNK überraschend festgestellt, daß es bei den beiden Drehdeckeln nach Aufheizen des Systemnatriums zu erheblichen Schwergängigkeiten kommen konnte. Als Ursache erkannte man die Ablagerung von Natrium-aerosolen in den engen Spalten des Deckelsystems. Da die geometrischen Verhältnisse nicht mehr zu ändern waren, wurde ein Betriebsverfahren entwickelt, welches das Abtauen des Deckels gestattete. Dazu war bei einer Natriumtemperatur oberhalb $350 \text{ }^\circ\text{C}$ die Deckelkühlung kurzzeitig abzuschalten, wodurch sich die Temperatur in den Spalten auf über $100 \text{ }^\circ\text{C}$ erhöhte und die Aerosole sich verflüssigten. Zusätzlich angebrachte Deckelbohrungen ermöglichten auch die mechanische Entfernung des Natriums und seiner Produkte. Diese Verfahren, obschon etwas umständlich, haben sich über die gesamte Betriebszeit der KNK bewährt.



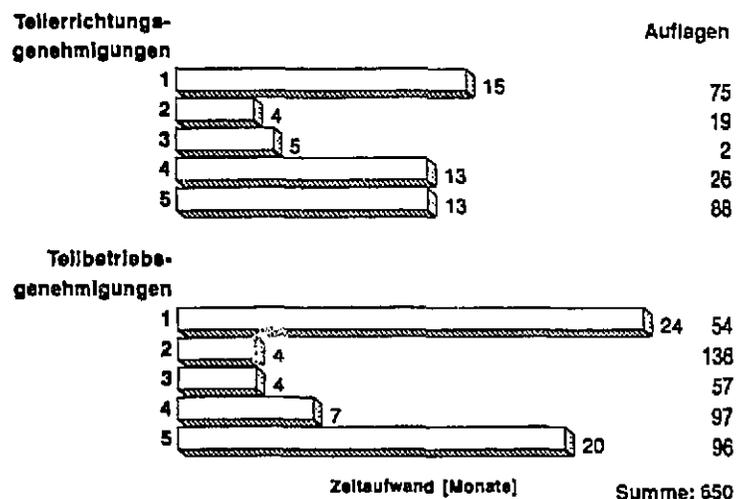
Verlauf des Drehmoments (D) über den Vollkreis des Drehdeckels

- a: mit Natriumablagerungen
- b: nach mechanischer Entfernung der Na-Ablagerungen
- c: nach Abschmelzen der Na-Ablagerungen

Ähnliche Probleme mit Aerosolablagerungen am Drehdeckel waren kurz zuvor auch beim französischen Versuchsreaktor Rapsodie aufgetreten. Trotz eines Dienstbesuchs in Cadarache konnten hierüber keine Informationen erlangt werden; insbesondere die offensichtlich erfolgreichen Behebungsmaßnahmen blieben ein "Geheimnis" der CEA-Ingenieure. Der wenige Jahre später zwischen Deutschland und Frankreich abgeschlossene Brütervertrag hat diese Blockade beendet und einen sehr fruchtbaren Erfahrungsaustausch eingeleitet.

Langwieriges Genehmigungsverfahren

In besonderer Weise hat das atomrechtliche Genehmigungsverfahren den Takt des KNK-Projekts bestimmt. Glaubte man anfangs, in vielleicht übertriebenem Optimismus, mit je einer Errichtungs- und Betriebsgenehmigung auszukommen, so wurden am Ende daraus 10 Teilgenehmigungen, 5 für den Bau und 5 für den Betrieb der Anlage. Die Hälfte dieser Teilgenehmigungen nahm mehr als 1 Jahr in Anspruch, die erste Teilbetriebsgenehmigung sogar volle 24 Monate. Alle Genehmigungen wurden vom Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg erteilt; als Aufsichtsbehörde fungierte das Arbeitsministerium. Beide Ministerien stützten sich auf den Technischen Überwachungsverein Baden (Mannheim) als unabhängigen Gutachter ab.



Auflagen und Zeitbedarf bei den atomrechtlichen Teilgenehmigungen für KNK I

Die genannten 10 Teilgenehmigungen waren begleitet von 650 Auflagen. Die Spannweite dieser Auflagen war beträchtlich: sie reichte von der relativ simplen Anbringung zusätzlicher Verriegelungen bis zur Forderung nach einem zweiten redundanten Abschaltssystem in Millionen Kostenhöhe. Diese Auflage kam unerwartet, denn bis dato gab es noch keinen natriumgekühlten Reaktor mit einer solchen Komponente. Der Bau

und die Erprobung dieser Abschaltvorrichtung mit Gliederketten war eine zeitlang terminbestimmend. Andere Auflagen betrafen Erdbebenberechnungen für Gebäude und Einrichtungen sowie den Einbau einer Notsteuerstelle, von welcher aus der Reaktor, etwa im Falle eines Kabelbrandes, abgefahren werden konnte. Immer wieder gab es beim Projektablauf Stillstandszeiten wegen noch ausstehender Genehmigungen; sie konnten letztlich vertreten werden, weil einer der vier Gründe für die Errichtung der "first of its kind"-Anlage KNK die Etablierung des atomrechtlichen Genehmigungsverfahrens für einen Natriumreaktor war.

Die Zukunft sollte zeigen, daß diese Probleme im Genehmigungsverfahren erst der Anfang waren.

2 Der Umbau von KNK I auf KNK II

Während man in Karlsruhe in der Zeit von 1964 bis 1970 mit der Verhandlung des KNK-Projekts und dem Bau der Anlage beschäftigt war, änderte sich die kerntechnische Landschaft in Deutschland grundlegend. Die mit Leichtwasser gekühlten Kernkraftwerke begannen ihren Siegeszug, anfänglich mit dem KRB Gundremmingen (Auftrag 1962), dem schon bald KWL Lingen (1964) und KWO Obrigheim (1965) folgten. Es war deutlich geworden, daß thermische Natriumreaktoren wie KNK in naher Zukunft keine wirtschaftlichen Chancen haben konnten. Demgegenüber fiel im Forschungsbereich beim Projekt Schneller Brüter die Entscheidung zugunsten des Kühlmittels Natriums; die Varianten Dampf und Helium waren nach Wunden schlagenden Auseinandersetzungen ausgeschieden worden. Was lag näher, als die KNK in ihrer zukünftigen Nutzung auf die Bedürfnisse des Brüterprojekts auszurichten und demzufolge mit einem schnellen Core auszustatten? Dies geschah auch, und in den folgenden Abschnitten wird diese technisch und genehmigungsmäßig nicht unproblematische Umwidmung der Anlage KNK detailliert beschrieben werden.⁶³

Mit dieser Zweckänderung der KNK war auch eine Namensänderung verbunden. Die ursprüngliche Anlage KNK mit dem thermischen Reaktorkern hieß von nun an KNK I, die Anlage mit dem unmoderierten, schnellen Kern KNK II.

2.1 Eine schwierige Entscheidung für KNK II

2.1.1 Ein Bestrahlungsreaktor wird notwendig

Der wesentliche Grund, die KNK nicht mehr vorrangig als Stromerzeuger, sondern als Versuchsreaktor und "Neutronentestbett" zu nutzen, war ein immer deutlicher werdender Engpaß - um nicht zu sagen Notstand -, bei den Brennelementbestrahlungen.

Die Wichtigkeit des Brennelements als der höchstbeanspruchten Brüterkomponente hatte man beim Projekt Schneller Brüter schon frühzeitig erkannt. Dies kommt z.B. in den technischen Dokumenten des 1963 geschlossenen Assoziationsvertrages mit EURATOM sehr plastisch zum Ausdruck⁶⁴:

"Der Entwurf eines solchen zukunftsweisenden Prototyps hat sich an der Grundtatsache zu orientieren, daß das Brennelement das alles bestimmende Bauelement ist. Der Reaktor ist gewissermaßen um das Brennelement herumzubauen".

Um die bei Alkem bzw. der GfK gefertigten Prototypbrennstäbe mit ihren Brennstoff- und Hüllmaterialvarianten austesten zu können, benötigte man Versuchsreaktoren mit Bestrahlungsraum. Anfangs war es der im Zentrum errichtete FR 2, der schon um 1965 mit sog. Kapselversuchseinsätzen bestückt worden war.^{65,66} Als man dem Phänomen des Materialschwellens auf die Spur kam, waren besonders Reaktoren mit schnellem Neutronenfluß gefragt.⁶⁷ Eine Behelfslösung war die 50 %ige Anmietung des belgischen Reaktors BR 2, der im Vergleich zum FR 2 einen höheren Anteil schneller Neutronen besaß.⁶⁸

Große Hoffnungen setzte man bei PSB auf den Enrico Fermi Fast Breeder Reactor (EFFBR) in den USA, in welchem Bestrahlungen an Prototypbündeln vorgesehen waren.⁶⁹ Der Störfall an diesem Reaktor im Oktober 1966 durch ein irrtümlich während der Bauphase eingebrachtes Blech, das ein Brennelement verblockte, beendete diese Pläne und offenbarte gleichzeitig einen gravierenden Engpaß auf dem Bestrahlungssektor. Immerhin erwartete man von der GfK im Rahmen der Arbeitsteilung beim Brüterprojekt die Bestrahlung von mindestens 30 Prototypbrennstäben in Natrium sowie schnellem Fluß - und zwar vor Inangriffnahme der Großanlage SNR 300. In nahezu letzter Minute bot sich als Ausweg eine Kleinbündelbestrahlung im Dounreay Fast Re-

actor an. Mit der britischen Nuklearorganisation UKAEA kam man überein, 39 Stäbe im DFR zu bestrahlen (weitere 38 wurden von CEA beigestellt); unter der Bezeichnung DFR 350 wurde diese Bestrahlung zwischen Januar 1969 und April 1970 abgewickelt.⁷⁰ Weitere Bestrahlungen im Umfang von 43 Mio. DM sollten folgen, kamen aber dann doch nicht zustande, weil die übergeordneten Industrieabkommen zwischen Kraftwerk Union (KWU) und The Nuclear Power Group (TNPG) nicht unterzeichnet worden waren.⁷¹

Angesichts solcher Probleme mit auswärtigen Reaktoren erinnerte man sich wieder der heimischen Anlage KNK. Sie war natriumgekühlt, und die Ein- und Austrittstemperaturen an den Brennelementen entsprachen jenen moderner Brüterkraftwerke; hinzu kam ihr kompakter Kernaufbau, welcher dank der Nutzung von Zirkonhydrid als Moderator - anstatt Graphit - ebenfalls brüterähnlich war. In einer kleinen Recherche für die GfK (100.000,- DM, 30 Ingenieursmonate) hatte man schon 1964 die grundsätzliche Verwendbarkeit der KNK als Bestrahlungsreaktor festgestellt.

Auf Wunsch des Projekts Schneller Brüter gab GfK/VA nun eine weitere Studie bei Interatom in Auftrag, welche die Eignung der KNK zur Aufnahme eines unmoderierten Kerns aus Uran- und Plutoniumoxid detailliert untersuchen sollte. Diese sog. Durchführbarkeitsstudie mit einem Auftragswert von 2,5 Mio. DM wurde noch während der Bauphase der KNK angefertigt und 1968 abgeliefert. Im Resultat sagte sie aus, daß die KNK im Core-Zentrum mit einem schnellen Kern bestehend aus sieben Mischoxidbrennelementen ausgestattet werden könnte. Diese würden in ihren wesentlichen Spezifikationen den Elementen des SNR 300 entsprechen. Insbesondere könnten Stabdurchmesser, Gitterabstand, U-Pu-Verhältnis, Temperaturen, Leistungsdichte und natürlich die Fertigungsspezifikationen weitgehend identisch sein. Als Hüllmaterial wollte man die für den Großbrüter infrage kommenden Stähle, damals 1.4988 und 1.4981, berücksichtigen. Wichtige, bereits existierende KNK-Komponenten wie die Gitterplatte, die Tankeinbauten und der Drehdeckel konnten praktisch ungeändert übernommen werden.

Auch als Testbett für Sicherheitsinstrumentierungen schien die KNK gut geeignet zu sein. Sie war von vornherein umfassend instrumentiert und hatte in der zentralen Position die Möglichkeit, verschiedenartige, für den SNR 300 vorgesehene Detektoren vor ihrem Einsatz reaktorgerecht zu prüfen. Darüber hinaus war der Einbau eines aufwendigen Prozeßrechners vorgesehen, der die Auswertung der genannten Versuchsobjekte erleichtert hätte.

Die Ergebnisse der von Interatom vorgelegten KNK II-Durchführbarkeitsstudie wurden 1969 von GfKVA der US-amerikanischen Beratungsfirma Nuclear Utility Service (NUS) zur unabhängigen Bewertung vorgelegt. Im wesentlichen bestätigte die NUS die Planungen der Interatom, darüber hinaus gaben sie etwa zwei Dutzend Anregungen, von denen hier einige erwähnt seien.⁷² So sollten die Abstandshalter der Brennstäbe auf Homogenisierung der Natriumtemperatur überprüft und der Reaktivitätshub der 2. Abschalteneinrichtung von 2,3 auf 3,3 % angehoben werden. Wegen des kleinen Kerns und der relativ großen Brennelementbündel war der Reaktivitätszuwachs beim Einbringen von Brennelementen in das Core zwangsläufig sehr groß (um 7 %); NUS forderte deshalb verstärkte technische Sicherheitsmaßnahmen an der BE-Wechselmaschine zur Vermeidung des Beladeunfalls. Die Zeit für den Umbau von KNK I auf KNK II veranschlagte NUS mit 10 Monaten ähnlich wie Interatom (9 Monate). Leider hatten sich beide beträchtlich verschätzt, wie sich später herausstellen sollte.

Die Projektleitung Schneller Brüter war mit den Ergebnissen der KNK II-Durchführbarkeitsstudie sehr zufrieden, und brachte dies in einer Notiz an die beiden Geschäftsführungen GfK und GfKVA wie folgt zum Ausdruck:

"Der Einsatz eines schnellen Cores im KNK (KNK II) wird von seiten des Projektes Schneller Brüter als wesentlicher Bestandteil der Entwicklung von Schnellen Brutreaktoren angesehen. Insbesondere die Möglichkeit, in der zentralen Zone des KNK II instrumentierte Bestrahlungsversuche unter echten Brüterbedingungen auszuführen, ist von erheblicher Bedeutung. Der Finanzierungsumfang für das KNK II-Core scheint angemessen zu sein".⁷³

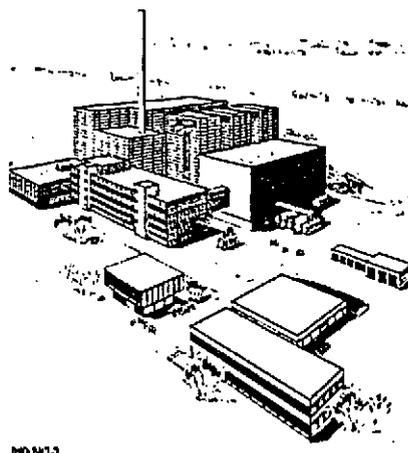
Für GfKVA ergab sich nun die Aufgabe, das für KNK II benötigte Plutonium samt angereichertem Uran zu beschaffen. Dies war kein einfaches Geschäft, denn Ende der 60er Jahre bestand der Plutoniummarkt erst in Ansätzen. Er wurde in den USA kontrolliert durch die amerikanische Atomenergiekommission AEC, welche auch den Preis für Pu in ihrem Bereich festgelegt hatte, nämlich auf 43 \$ pro Gramm. Durch glückliche Umstände und die Mitwirkung der Hanauer Firma Nukem konnten jedoch Teilchargen von Pu bei amerikanischen Energieversorgungsunternehmen (wie Yankee Atomics) preisgünstig erworben werden, so daß sich schließlich für die gekauften 100 kg Pu ein Durchschnittspreis von 23,75 \$/g ergab. Alkem wurde umgehend mit der Konvertierung des Nitrats in Oxid und der Abtrennung des Americiums beauftragt sowie mit der Fertigung der ersten Probestäbe.

KNK II war auf Kiel gelegt. KNK I war dadurch aber nicht unwichtiger geworden. Ganz im Gegenteil, wie der nächste Abschnitt zeigen wird.

2.1.2 Die Beherrschung der Natriumtechnologie

Am letzten Tag des Jahres 1969 brachte das Planungskonsortium des SNR 300 unter Führung von Interatom die technischen Unterlagen für dieses Brüterkraftwerk zur Post. Im kurz darauf folgenden Angebot war der 1. April 1971 als Baubeginn für den SNR 300 genannt.

Das Projektkomitee Schneller Brüter, ein Lenkungsgremium für Brüterangelegenheiten beim Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (BMBW) wurde daraufhin einberufen. Es bildete im März 1970 einen "Ad hoc-Ausschuß zur Beurteilung der technischen Baureife des SNR 300", welcher geleitet wurde von Dr. Eitz, dem Geschäftsführer der GfK/Versuchsanlagen. Weitere Mitglieder waren Dr. Däunert, BMBW - Dr. Keßler, INR - Koop, RWE und der Autor dieses Berichts. Der Ausschuß kam nach 6 Sitzungen im Juni 1970 überraschend zu der Auffassung, daß der SNR 300 noch nicht baureif sei, weil eine Reihe technischer Voraussetzungen bis zum vorgesehenen Baubeginn nicht erfüllt seien. Hierbei handelte es sich um Bedingungen im Bewilligungsbescheid aus dem Jahre 1966, von denen fünf von Interatom (A1 - A5) und drei von GfK (B1 - B3) vor Baubeginn des SNR 300 zu erledigen waren.⁷⁴



Architekturskizze des Kernkraftwerks Kalkar; (Stand 1971 - noch ohne Kühlturm)

Als besonders gravierend wurde das sog. "Essential A3" angesehen, welches im Zusammenhang mit KNK sowie, partiell, der Komponentenversuchsanlage Hengelo stand. Es forderte:

"Beherrschung der Natriumtechnologie unter Benutzung der bis dahin durch die 5 MW Versuchsanlage bei Interatom und bei der KNK anfallenden Erfah-

rungen. Hierzu gehört insbesondere die erfolgreiche Inbetriebnahme der KNK ...".⁷⁵

In Anbetracht der unter Abschnitt 1.5 geschilderten technischen Probleme bei der Inbetriebnahme der KNK war unschwer zu erkennen, daß Essential A3 nicht vor Herbst 1971 erfüllt werden konnte. Von Seiten der Planer wurde zwar versucht, diese Bewilligungsbedingung als Nachweis der "feasibility" der KNK zu interpretieren und abzuschwächen, aber Dr. Schuster als Vorsitzender des Projektkomitees beharrte darauf, daß Interatom vor Beauftragung mit dem SNR 300 ein "Gesellenstück" in Form der KNK abzuliefern habe.⁷⁶ Schließlich einigte man sich darauf, das Essential A3 als erfüllt zu betrachten, sobald KNK mit 50 % der Nennleistung betrieben würde. Sollte dies bis Ende 1971 nicht erreichbar sein, so würde ein weiterer Ausschuß zur Ursachenfindung eingesetzt werden. Die Inbetriebnahme der KNK war also plötzlich sehr wichtig geworden. KNK I lag in der Priorität eindeutig vor KNK II, und die Anstrengungen der Interatom-Mannschaft auf der Baustelle unterstrichen dies tagtäglich.

Trotz aller Bemühungen konnte das KNK-Essential nicht rechtzeitig erfüllt werden. Insbesondere das Aerosolproblem am Drehdeckel kostete viel Zeit. Gleichermäßen termenschädlich war der Natriumbrand im Sekundärsystem im März 1971, weil er langwierige Aufräumarbeiten im Gefolge hatte. Das Projektkomitee setzte deshalb, wie bereits angekündigt, einen weiteren Ausschuß ein, der den "Ursachen der Terminverzögerungen bei KNK" nachgehen und ihre Relevanz für SNR 300 abschätzen sollte. Die Mitglieder waren u.a. Dr. Däunert, BMBW - Koop, RWE - Stöhr, Guthmann, Dr. Herberg, alle Interatom - Dr. Brudermüller, KBG mit dem Autor als Vorsitzenden. Im Abschlußbericht dieses Ausschusses⁷⁷ waren etwa 25 kleinere und größere Vorkommnisse bei KNK aufgelistet, welche die termingerechte Inbetriebnahme behindert hatten; zusätzlich wurde eine "Risikoliste" vorgelegt, mit Gebieten, auf denen ein Wissensdefizit beim Brüter SNR 300 vermutet werden konnte. Der Betrieb der KNK bei 50 % Nennlast war nach Meinung des Ausschusses erst 1972 möglich.⁷⁸

Dies traf auch ein: am 9. August 1972 lieferte die KNK bei 55 % Last zum ersten Mal Strom in das Netz des Badenwerks. Eine Verzögerung des Projekts SNR 300 hatte KNK aber trotz ihrer Inbetriebnahmeprobleme nicht bewirkt. Zusätzliche Forderungen der Genehmigungsbehörden und des Kundenkonsortiums erzwangen beim SNR 300 mittlerweile nämlich eine 2-jährige Verschiebung des Baubeginns von April 1971 auf April 1973. Die Verlegung des Standorts von Weisweiler nach Kalkar und die Umpla-

nung von einem zylindrischen auf ein rechteckiges Containment waren dabei besonders zeitraubend.

2.1.3 Eine böse Überraschung

Kehren wir zurück zu KNK II.

Nach den positiven Ergebnissen der Durchführbarkeitsstudie und der NUS-Bewertung hatte GfKVA im Juni 1970 bei der Genehmigungsbehörde in Stuttgart den Antrag auf Umbau der KNK I und auf Betrieb der KNK II, mit einem unmoderierten Core, gestellt. Beigegeben war ein dreibändiger Bericht mit technischen Beschreibungen und Unterlagen, in welchen die Änderungen von KNK I auf KNK II beschrieben waren. Man erwartete auf Antragstellerseite eine atomrechtliche Genehmigung auf der Basis der bereits begutachteten und genehmigten Altanlage KNK I, also eine sogenannte Änderungs-genehmigung im damaligen Sprachgebrauch.

Im Herbst 1971, endlich, erfolgte die Antwort der Genehmigungsbehörde auf den gestellten Antrag. Die Überraschung war total: der Umbau von KNK I auf KNK II wurde als eine *wesentliche Änderung* im Sinne des § 7 des Atomgesetzes angesehen:

Wer eine ortsfeste Anlage ... errichtet ... oder die Anlage oder ihren Betrieb wesentlich verändert, bedarf der Genehmigung.

... Die Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge ... getroffen ist ...".

Gleichzeitig kündigte die Behörde an, daß auf den Gebieten Notkühlung, Erdbeben-schutz und Leistungsexkursionen umfangreiche Auflagen zu erwarten seien. Im übrigen sei die gesamte Anlage, also auch die bereits existierende Altanlage KNK I, von Grund auf neu zu begutachten und zu genehmigen, wobei der inzwischen fortgeschrit-tene Stand der Technik zu berücksichtigen sei. Ausdrücklich gefordert wurde auch die erneute Beurteilung des Standorts der Anlage im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Zweifellos hatte die intensive SNR 300-Diskussion zwischen 1970 und 1972 zu dieser Entscheidung der Behörde beigetragen. Dies galt insbesondere für den Standort, schlug doch die Ablehnung von Weisweiler hohe Wogen.

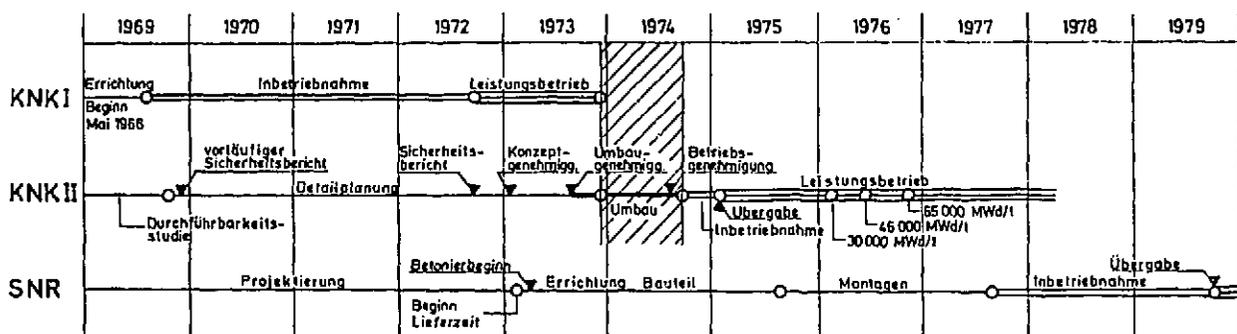
Es wird dem Autor dieses Berichts in steter Erinnerung bleiben, als ihm auf der Rückfahrt von der Stuttgarter Genehmigungsbehörde im Oktober 1971 die Überzeugung kam, daß KNK II wegen der nun zu erwartenden "back-fitting"-Maßnahmen und der kaum zu überblickenden SNR-Einflüsse unkalkulierbar geworden war. Eine sofort angestellte Projektanalyse zusammen mit der damaligen VA-Geschäftsführung (Dr. Eitz, Dr. Tebbert) endete in einer nächtlichen Telegramm-Aktion, bei der alle Aufträge für KNK II storniert bzw. ausgesetzt wurden.⁷⁹

Das Schicksal des Projekts KNK II war nun wieder offen.

2.1.4 Überholt der SNR 300 die KNK II?

Auch im fernen Bonn war man betroffen.

Das Forschungsministerium hatte, im Vertrauen auf die zügige Abwicklung der KNK II, 1971 bereits Finanzmittel in der Höhe von 69,3 Mio. DM bewilligt.⁸⁰ Davon waren rd. 40 Mio. DM bereits abgeflossen für die Beschaffung des Brennstoffs (ca. 30 Mio.) sowie für Vorplanungsarbeiten und Versuche bei Interatom (ca. 10 Mio.). Ein Teil dieser Investitionsmittel wäre à fond perdu gewesen, hätte man das Projekt KNK II jetzt abrechnen müssen.



Terminplanung für KNK I, KNK II und SNR 300 (Stand 1972)

Ein anderes Horror-Szenario plagte die Referenten des BMBW sogar noch mehr: bei der Realisierung von KNK II und SNR 300 war nicht auszuschließen, daß SNR 300 noch vor der KNK II in Betrieb gehen würde. Beim Statusbericht 1971 für das Projekt Schneller Brüter war nämlich verkündet worden:

"Der eigentliche Baubeginn soll Anfang April 1972 sein. Unterstellt man eine Bauzeit von 5 Jahren, so kann der SNR 300 in der ersten Hälfte 1977 den Probe-Leistungsbetrieb aufnehmen".⁸¹

Setzte sich die holperige Inbetriebnahme der KNK I fort und hatte man für Umbau und Inbetriebnahme der KNK II weitere zeitraubende Auflagen abzuarbeiten, so konnte sich kaum jemand für einen regulären KNK II-Betrieb noch vor 1977 verbürgen.

Wie immer, wenn guter Rat teuer war - aber nichts kosten sollte - setzte der BMBW einen Ausschuß ein. Es war der dritte innerhalb von eineinhalb Jahren, bei dem Aspekte des KNK-Projekts zur Sprache kamen. Er erhielt den Namen "Ad hoc-Ausschuß Überprüfung des Projekts KNK II", und als Vorsitzender wurde dieses Mal ein Neutraler bestimmt, nämlich Dipl.-Ing. Kallenbach, Vorstand bei dem Energieversorgungsunternehmen EVS, Stuttgart, welches weder in KNK II noch in SNR 300 involviert war. Die übrige Besetzung des Ausschusses war fein kalibriert: Dr. Mausbeck (Interatom), Dr. Engelmann, Dr. Eitz und der Autor (alle KfK) sollten wohl den Projektsachverstand einbringen, galten im übrigen aber als Verfechter der KNK II; ihnen beigegeben wurde ein Hochtemperaturexperte der KFA Jülich (Dr. Bergmann), der RSK-Referent im BMBW (Dr. Schnurer), sowie der designierte Betriebschef für den SNR 300 (Dipl.-Ing. Koop).⁸² Die kitzligsten Fragen, obschon nicht Mitglied dieses Ausschusses, stellte der BMBW Referatschef Dr. Lorenzen mit seinem Helfer Dr. Däunert. Wohl in Antizipation der Fragen seiner eigenen "Oberen" agierte er gewissermaßen als "advocatus diaboli", indem er alle wesentlichen Auskünfte zum Stand und Verlauf des Projekts einholte.

Über vier Sitzungen hinweg beschäftigte sich der Ausschuß mit den technischen Risiken des KNK II-Umbaus, seinem Nutzen für das Bestrahlungsprogramm⁸³ und die Brüterentwicklung⁸⁴ sowie die voraussichtliche Termingestaltung bei KNK II und SNR 300. Man kam gemeinsam zu dem Ergebnis, daß der Nutzen von KNK II nach wie vor gegeben sei, und daß damit die technischen Risiken der Großanlage SNR 300 erheblich gemindert werden könnten.⁸⁵ Es wurde deshalb empfohlen, das Projekt KNK II weiter zu verfolgen. Daran geknüpft waren allerdings zwei bedeutsame Bedingungen: die anlaufende technische Begutachtung durch die RSK müsse ein positives Votum bringen, und der Terminvorlauf von KNK II gegenüber SNR 300 - bezogen auf die Inbetriebnahme beider Kraftwerke - sollte 3 bis 4 Jahre nicht unterschreiten.

Niemand konnte damals ahnen, daß gerade die letztgenannte Auflage so leicht zu erfüllen sein sollte.

2.1.5 RSK-Votum und Liefervertrag KNK II

Über das ganze Jahr 1972 hinweg wurde mit Hochdruck an den Unterlagen für die verschiedenen Fachausschüsse der Reaktorsicherheitskommission gearbeitet. Im Januar 1973 lag das Votum der RSK vor, und es war durchaus positiv:

"Im Rahmen ihrer Diskussion über eine Empfehlung zum Standort und Sicherheitskonzept überprüfte die RSK die mit der Ausstattung der KNK mit einem schnellen Kern verbundenen wesentlichen Sicherheitsfragen ... Sie empfiehlt dem BMBW, der Erteilung einer Genehmigung zum Standort und Sicherheitskonzept zuzustimmen".⁸⁶

Von herausragender Wichtigkeit war die Zustimmung der RSK zum Standort Kernforschungszentrum Karlsruhe, denn eine Standortverschiebung à la Weisweiler/Kalkar wäre naturgemäß bei einer bereits existierenden Anlage wie KNK unmöglich gewesen. Dessen ungeachtet formulierten die Gutachter einige technische Auflagen, die sehr weitreichend waren.

Sie betrafen zum Beispiel die Forderung nach einem Notkühlsystem, welches als dritte Wärmesenke, zusätzlich zu Luftkühler und Kondensator auszubilden war. Hierzu konnte der Spalt zwischen Tank und Doppeltank für eine Gaskühlung Verwendung finden. Für völlige Redundanz bei der Medien- und Energieversorgung sorgte später ein eigens gebohrter Notbrunnen sowie ein gebunkelter Notdiesel.

Ähnlich wie beim SNR 300 sollte dem Bethe-Tait-Störfall, der Kernschmelzen verursachen konnte, erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Neben der Analyse des negativen Kühlmittelkoeffizienten war die Aufrüstung der Instrumentierungsebene durch Reaktimeter etc. gefordert. Darüberhinaus sollte eine schwergewichtige Deckelverspannung angebracht werden.

Weit jenseits aller vorausschauenden Abschätzungen lag der Aufwand zur Ertüchtigung der Altanlage KNK I gegen Erdbeben. Die wegen der Wärmedehnung weich verlegten Rohrleitungen eines Natriumsystems sind von Natur aus anfällig gegen Schwingungs-

anregungen; ihre Fixierung durch Dämpfer an vorausgerechneten Stellen war in der darauffolgenden Umbauphase eine zeit- und kostenraubende Angelegenheit.

Auch der Objektschutz, also die Sicherung der Anlage gegen Sabotage und Terrorismus, war keineswegs einfach. So sind die Forderungen des traditionellen Unfallschutzes (möglichst viele und offenstehende Fluchttüren) mit denen des Objektschutzes (möglichst wenige und verriegelte Türen) nur schwer in Einklang zu bringen.



Objektschutzmaßnahmen bei KNK

Das positive Votum der RSK war die notwendige Voraussetzung zum Abschluß des KNK II-Liefervertrags mit Interatom. Er wurde im Juni 1974 nach einem dreitägigen Verhandlungsmarathon zwischen Dr. Traube, Brakelmann, Dr. Tebbert und dem Autor unterzeichnet. Als Leistungen und Lieferungen der Interatom wurden festgelegt: die gesamte Detailplanung der KNK II, die Fertigung der Reaktorkomponenten, die Assemblierung der Brennelemente sowie die Montage der Bauteile in die Anlage einschließlich der Prozeßrechenanlage. Daneben war der ingenieurmäßige Anteil der bereits bekannten atomrechtlichen Auflagen abzuarbeiten.⁸⁷

Zu den wichtigsten Komponenten, die von Interatom beizustellen waren, gehörten das Brennelementlager einschl. Handhabungsteile, die Deckelverspannung, die Kernbauteile, sowie die 1. und 2. Abschaltvorrichtung. Die Brennstäbe für den Kern wurden von Alkem sowie RBU, beide Hanau, hergestellt; für die Zentralzone sowie die Kranzzone des inneren Kernteils waren knapp 2000 $\text{UO}_2\text{-PuO}_2$ -Brennstäbe zu fertigen.

Die Struktur des KNK II-Liefervertrages war relativ kompliziert, weil es sich im Prinzip um den Umbau einer bereits bestehenden und vertraglich längst abgenommenen Altanlage handelte. Neue Teile, wie die Brennelemente oder die Abschaltvorrichtungen standen in einem innigen Verbund mit bereits existierenden Komponenten, woraus sich schwierige Abgrenzungen bei Haftung, Gewährleistung und Garantien ergaben. Auch beim Personal mußte Interatom die Hilfe des Betreibers KBG in Anspruch nehmen,

ohne daß dadurch die Verantwortung für die einzelnen Handlungen verwischt werden durften. Darüberhinaus waren die Gutachtensbedingungen der später zu erwartenden Teilgenehmigungen natürlich noch nicht bekannt, bzw. konnten nur in Umrissen "vorausgeahnt" werden. Als Preismodell für den Liefervertrag zwischen GfK/VA und Interatom wurde deshalb ein Selbstkostenerstattungspreis mit Obergrenze vereinbart.

Es war das Ziel der Projektleitung, die Gesamtkosten der KNK II für die genannten Interatomleistungen, die Brennstoffbeschaffung, die Brennelementfertigung und die baugehörigen Versuche unter 100 Mio. DM zu drücken.⁸⁸ Dies gelang schließlich durch die kostenlose Beistellung zweier MOX-Brennelemente durch Belgonucléaire im Ausgleich für die ebenfalls kostenlose Bestrahlung dieser Elemente in KNK II. Abgerechnet wurde das gesamte KNK II Projekt 4 Jahre später mit 140 Mio. DM. Die Mehrkosten resultierten aus einer wesentlich verlängerten Umbauphase, sowie vielen unerwarteten Forderungen der Genehmigungsbehörde im Gefolge der Auflagen für den SNR 300. Bedenkt man, daß die Kostenüberschreitungen bei SNR 300 und THTR bei etwa 400 % lagen, so ist die 40 %ige Überschreitung bei KNK II wohl noch tolerierbar.

2.2 Die Auslegung der KNK II

2.2.1 Reaktorkern und Brennelemente

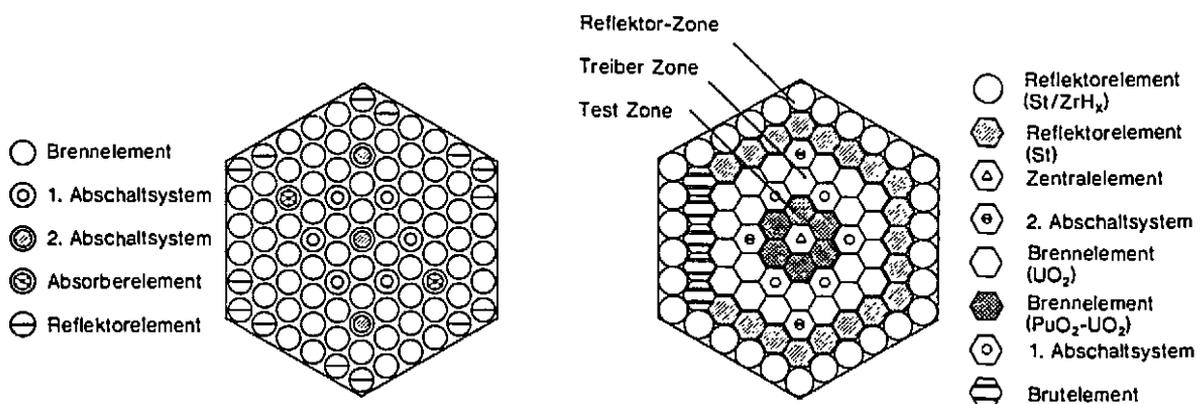
Die Auslegung des *Reaktorkerns* für KNK II war eine anspruchsvolle Aufgabe. Unter den von der KNK I-Anlage vorgegebenen Randbedingungen sollten vorrangig folgende Ziele erreicht werden:

1. Die Bestrahlung einer statistisch hinreichend großen Zahl von Brüterbrennstäben in Brennelementen, wie sie für den SNR 300 vorgesehen waren.
2. Die Verwendung von brütertypischen Brennstoffen in den inneren Testelementen und die Einstellung eines brüterähnlichen Neutronenspektrums.
3. Die Erreichung repräsentativer Stablängenleistungen bis zu 435 W/cm.
4. Die Erzielung hinreichender Überschußreaktivitäten und Standzeiten, wobei für den ersten Kern ein Abbrand von 80.000 MWd/t vorgesehen war.^{89,90}

Durch die existierende Anlage KNK I waren für KNK II enge Grenzen vorgegeben in bezug auf die thermische Leistung, den Kühlmitteldurchsatz und den zulässigen Druck-

verlust.⁹¹ Auch das Grundgitter der Kernelemente sowie die Positionierung der Absorber sollten von KNK I übernommen werden; lediglich die zentrale Zweitabschaltposition wurde für ein Testelement freigegeben.⁹² Weiter sollte die neutronenphysikalische Kernauslegung einen hinreichend großen negativen Dopplerkoeffizienten sicherstellen.^{93, 94, 95}

Das Resultat dieser Überlegung führte zu einem Zweizonenkern mit 29 Brennelementen. Die innere Testzone mit 7 Brennelementen sollte die Testbedingungen sichern, während die äußere Treiberzone für die Kritikalität zu sorgen hatte. Da der KNK II-Kern kleiner als der thermische KNK I-Kern war, konnten noch 5 Brutelemente auf den äußeren Gitterpositionen untergebracht werden.^{96, 97}



Kern-Querschnitte von KNK I (links) und KNK II (rechts)

Der Leistungskoeffizient des Kerns war im Unterschied zur KNK I immer negativ. Zur Sicherung eines ausreichenden Dopplerkoeffizienten wurde das Spektrum im U-238-Resonanzbereich durch moderierende Zirkonhydridstäbe in der zweiten Treiberreihe zusätzlich angehoben. Damit war das Neutronenspektrum der Treiberzone etwas weicher, das der Testzone dagegen etwas härter als im SNR 300. Der Neutronenfluß im KNK II-Core erreichte für Energien über 0,1 MeV etwa die Hälfte des Wertes beim SNR 300. Da gerade dieser Energiebereich für Bestrahlungseffekte am Hüllrohr verantwortlich ist, eignete sich KNK II sehr gut für Bestrahlungen.^{98, 99}

Die *Brennelemente* der Testzone sollten je 211 Brennstäbe beinhalten; lediglich das Zentralelement war mit 169 Brennstäben ausgestattet. Der Durchmesser der zylindri-

schen Brennstäbe betrug 6 mm, wie für den Erstkern des SNR 300 ausgelegt. Für das Hüllrohr wurden die drei austenitischen Werkstoffe mit den Nummern 1.4970, 1.4981, 1.4988 in verschiedenen metallurgischen Zuständen vorgesehen. Der Brennstoff bestand aus gemischtem und zu Tabletten gesintertem PuO_2 und UO_2 im Mischungsverhältnis 30 : 70 %.¹⁰⁰

Die Brennstoffschmierdichte betrug 80 % der theoretischen Dichte, womit ausreichende Porosität im Brennstoff für die Aufnahme der Spaltprodukte zur Verfügung stand. Die Brennstoffdichte war auf 86,5 % der theoretischen Dichte und das Fabrikationsspiel zwischen Tablette und Hüllrohr auf 155 μm festgelegt. Durch den unterstöchiometrisch spezifizierten Brennstoff sollte eine verbesserte chemische Verträglichkeit zwischen Hüllrohr und Brennstoff erzielt werden.

In den Brennstab integriert befand sich oberhalb und unterhalb der Brennstoffsäule je eine Säule aus Brutstofftabletten. Unterhalb des aktiven Brennstabbereichs war der Spaltgassammelraum auf 40 bar ausgelegt. Die sicherheitstechnische Auslegung erfolgte mit dem Brennstabrechenprogramm IAMBUS. Die neutronenphysikalischen Methoden und Berechnungen wurden abgesichert durch ein kritisches Experiment, das 1968 an der SNEAK in Karlsruhe durchgeführt worden war.¹⁰¹

Die Fixierung der Brennstäbe geschah durch axial gestaffelte Gitterabstandshalter, welche thermohydraulische Vorteile gegenüber konkurrierenden Konzepten haben sollten. In der Mehrzahl waren es funkenerodierte Abstandshalter, ein Kranzelement der Testzone war mit Wabenabstandshalter ausgestattet. Ein spezieller Mischkopf sollte die Temperaturüberwachung der Brennelemente erleichtern.

Die Stäbe der *Absorber* hatten einen Durchmesser von 10,3 mm und waren mit B_4C -Tabletten bzw. Granulat gefüllt. In das Hüllrohr integriert waren spiralförmig aufgesetzte Rippen, die für Abstandshalterung sorgten. Unterhalb der Absorbersäule befand sich ein Gassammelraum, welcher das bei der Neutronenabsorption im B 10 entstehende Heliumgas aufnahm. Das Absorberkonzept war experimentell abgesichert durch vorlaufende Bestrahlungsexperimente im Rapsodie-Reaktor in Cadarache.

2.2.2 Sicherheit und Instrumentierung

Großer Wert wurde bei der Auslegung der KNK II auf deren *präventive Sicherheit* gelegt. Man verstand darunter vor allem das rechtzeitige Erkennen von Kühlungsstörungen in den Brennelementen und die zuverlässige Bereitstellung der Nachwärmeabfuhr im abgeschalteten Zustand des Reaktors. Im Gegensatz zu Schnellen Brütern der Prototypgröße (z.B. KKW Kalkar) war die KNK II begünstigt durch ihre geringe Brennstoffmasse und den überall negativen Voidkoeffizienten. Darüber hinaus besaß sie einen stark heterogenen Kernaufbau, der für einen inkohärenten Störfallablauf sorgen konnte.¹⁰²

Für die Detektion örtlicher Kühlungsstörungen im Kern gab es drei instrumentelle Sicherheitsbarrieren, nämlich das DND-System zum Nachweis verzögerter Neutronen, die Thermolemente an den Brennelement-Austritten sowie das Reaktimeter. Mit dem DND-System wurde die Existenz von Emittlern verzögerter Neutronen im Kühlmittel und damit das Vorhandensein von freien Brennstoffoberflächen im Kern angezeigt. Die Ansprechzeit der DND-Monitore lag im Minutenbereich; die Empfindlichkeit erschien ausreichend, um Blockaden mit einer freien Brennstoffoberfläche von etwa 5 cm^2 zu detektieren, also noch vor dem Einsetzen des lokalen Siedens.

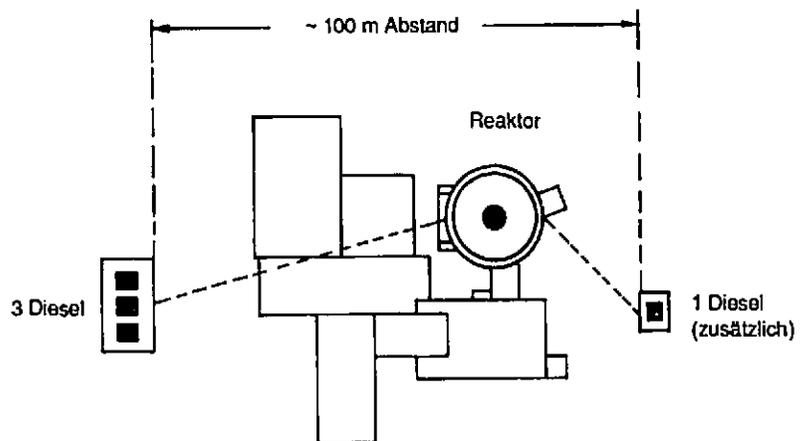
Integrale Durchsatzreduktionen in Elementen der Test- und Treiberzone auf weniger als 90 % des Nenndurchsatzes sollten durch individuelle Überwachung der *Austrittstemperaturen* für alle Test- und Treiberelemente detektiert werden. Verunreinigungen verschiedener Abmessung, die nicht durch das betriebliche Reinigungssystem entfernt wurden, sollten an der siebartigen Einlaufkonstruktion der Elemente oder an der untersten Abstandshalterebene im Bereich des Spaltgassammelraumes zurückgehalten werden.

Für langsam wachsende Blockaden dieses Typs sprach dieses System längst vor Einsetzen des integralen Siedens an. Auch der sehr unwahrscheinliche Fall einer schnellen und fast totalen Verstopfung der Strömungsfläche konnte damit noch rechtzeitig vor oder kurz nach Beginn des integralen Siedens detektiert werden. Plötzliche Totalblockaden waren durch die besondere konstruktive Gestaltung des Kühlmittelauflaufes ausgeschlossen.

Mit dem *Reaktimeter* war ein Siededetektionssystem vorhanden, das die Abnahme der Reaktivität beim Sieden überwachen konnte. Der Abschaltgrenzwert lag bei -8 cent. In den Treiberelementen war stabiles Sieden ohne Unterbrechung der Stabkühlung wegen des geringen Bündeldruckverlustes am wahrscheinlichsten, instabiles Sieden mit nachfolgendem "burn-out" konnte eher in der Testzone auftreten. Das Reaktimeter war eine Einrichtung zur Messung der Reaktivität. Es besaß einen einstellbaren Quellterm sowie neun umschaltbare Meßbereiche zwischen 2,5 cent und 10 Dollar. Mit diesem Gerät konnten sowohl negative als auch positive Reaktivitätsänderungen prompt angezeigt werden.^{103, 104, 105}

Von der RSK wurde die Forderung erhoben, die Möglichkeiten zur Abfuhr der Nachwärme bei der Umstellung auf KNK II durch ein diversitäres und räumlich getrenntes *Notkühlsystem* zu ergänzen. Es konnte realisiert werden durch direkte Kühlung der Reaktortankwand mittels Gas. Zu diesem Zwecke wurde ein vorhandenes Stickstoffsystem so erweitert, daß kühlender Stickstoff nach Betätigung redundanter Umschaltarmaturen den Spalt zwischen Reaktortank- und Doppeltankwand von oben nach unten durchströmte. Die Rückkühlung des Stickstoffkreislaufes erfolgte über die Notkühlwasserversorgung. Dieses Wasser wurde aus dem Frischwassernetz des Kernforschungszentrums oder von einem eigens gebohrten Notbrunnen entnommen.

Für die Stromversorgung der Notkühlkomponenten war eine zusätzliche Dieselanlage installiert worden. Sie befand sich in einem separaten erdbeben- und sabotagegeschützten Gebäude, in welchem auch die notwendigen Schalt- und Überwachungseinrichtungen aufgestellt waren. Das Notdieselhaus war so angeordnet, daß bei einem angenommenen Flugzeugabsturz nicht gleichzeitig die



Redundante Notstromversorgung durch
3 + 1 Dieselaggregate bei KNK II

Betriebsstromversorgungen und die Dieselanlage in Mitleidenschaft gezogen werden konnte.

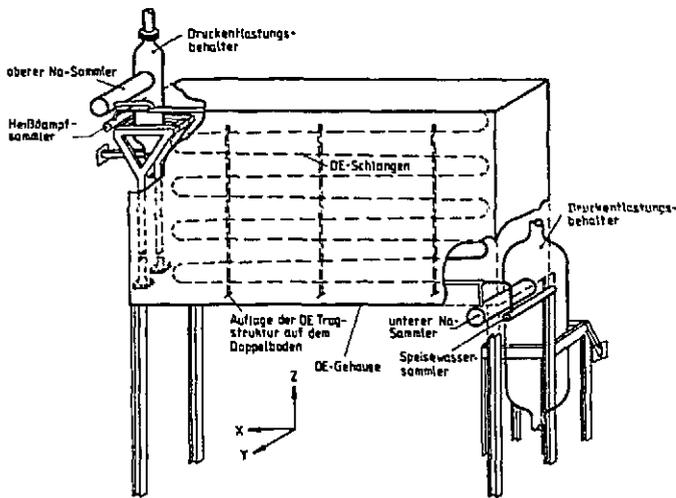
Für die wärmetechnische Auslegung des Notkühlsystems wurde von den Gutachtern ein Störfall definiert, bei dem nach einem Leck im nicht ummantelten Bereich eines Primärkreises die Absperrschieber beider Kreise gleichzeitig zufahren. Bei der Einschaltung des Notkühlsystems wurde eine Verzögerungszeit von 30 Minuten unterstellt. In wärmetechnischen Rechnungen mit Hilfe des Rechenprogrammes NOTUNG gelang es nachzuweisen, daß auch für diesen hypothetischen Fall das Schmelzen des Reaktorkerns vermieden wurde.^{106,107}

2.2.3 Ertüchtigung gegen Erdbeben

Im Jahre 1971, als die Konzeptfassung des Umbaus von KNK I auf KNK II anstand, wurde anlässlich der 1. SMIRT-Konferenz in Deutschland die Auslegungsphilosophie für Erdbebenlasten bei den Kernkraftwerken wesentlich verschärft: statt lediglich statisch wirkender Beschleunigungen sollten nun zusätzlich auch dynamische Effekte berücksichtigt werden. Mit der KTA-Regel 2201 wurde die seismische Auslegung bei Kernkraftwerken vorgegeben; danach waren alle Bauwerke und Anlagenteile erdbebensicher anzulegen, welche erforderlich waren den Reaktor abzuschalten, die Nachwärme abzuführen und die Freisetzung radioaktiver Stoffe zu verhüten.¹⁰⁸

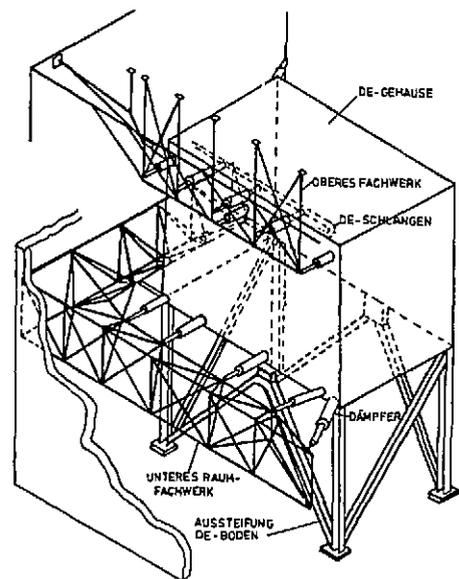
Diese Forderung sollte für KNK II anfangs durch Nachweise und Ertüchtigung des Primärsystems sowie des neu hinzugekommenen Notkühlsystems erfüllt werden. In Vorwegnahme der schärferen BMI-Kriterien verlangten die Gutachter jedoch auch entsprechende Nachweise für das komplette Sekundärsystem. Der arbeitsmäßige Umfang hatte sich damit gegenüber den früheren Vorstellungen um den Faktor 5 vervielfacht.¹⁰⁹

Für das Wärmeübertragungssystem war nachzuweisen, daß deren Bauteile, wie *Rohrleitungen*, den Erdbebenbelastungen standhielten; im Zweifelsfall waren Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich. Dies konnte durch die Verstärkung der Konstruktion oder die Erhöhung der Eigenfrequenz der Komponente geschehen, um geringere Beschleunigungswerte und somit geringere Kräfte als Belastung zu erhalten. Hierzu war in erster Linie die fragliche Komponente an Gebäudeteile oder Bühnen anzubinden, die natürlich dafür steif genug sein mußten.¹¹⁰

KNK-Dampferzeuger vor der Ertüchtigung

Da während des normalen Reaktorbetriebs keine zusätzlichen Kräfte durch Erdbebensicherungsmaßnahmen auf die Anlagenteile wirken durften, war die thermische Bewegung der Bauteile zu berücksichtigen. Deshalb kamen Stoßdämpfer zur Verwendung, die bei langsamen Bewegungen den Längenänderungen folgten, bei schnellen hingegen nahezu blockierten. Auf diese Weise erhielt man "dynamische Festpunkte". Die bei KNK II verwendeten ölfreien, rein metallischen Dämpfer garantierten Strahlenbeständigkeit; den Belastungen entsprechend wurden unterschiedliche Baugrößen vorgesehen. Die Kompaktheit der KNK schloß eine freizügige Verwendung von Erdbebendämpfern allerdings häufig aus.¹¹¹

Für die dynamischen Rechnungen mußte kurzfristig eine Gruppe von ca. 20 Mann bei Interatom aufgestellt werden, die über nahezu zwei Jahre mit Schwingungs- und Festigkeitsrechnungen sowie den dazugehörigen Versuchen beschäftigt war. Sie entwickelten unter anderem neuartige Rechenmethoden und Computerprogramme, die später auch für den Prototyp SNR 300 Kalkar verwendet wurden. Aufgrund der Systemanalyse als geeignet erkannte dynamische Festpunkte waren oft konstruktiv nicht ausführbar. Zum Finden der endgültigen Lösung waren deshalb meist zahlreiche Iterationen in den Rechenanalysen und Konstruktionsentwürfen erforderlich. Für die Lösung der Finite-Element-Berechnungen der Rohrleitungssysteme wurden ca. 350 Stunden auf den damaligen Großrechnern CDC 6200 und CDC 172 benötigt. Weitere Erschwernisse bei der Auslegung ergaben sich, weil die Verwendbarkeit des amerikanischen Dämpferfabrikats, welches temperatur- und strahlenbeständig sein sollte, erst in langwierigen Funktions-

KNK-Dampferzeuger nach der Ertüchtigung durch Fachwerke

und Qualitätsprüfungen nachgewiesen werden konnte; diese Prüfungen fanden beim Hersteller in den USA in Gegenwart des Gutachters statt.

Die großen *Komponenten* des Wärmeübertragungssystems wie Reaktortank, Pumpen, Zwischenwärmetauscher, Luftkühler und Dampferzeuger bilden Festpunkte der Rohrleitungssysteme bezüglich der thermischen Ausdehnung. Für sie war der Nachweis zu führen, daß die Eigenfrequenzen genügend hoch, d.h. in der Regel oberhalb 10 Hz lagen. Waren sie zu tief, so mußten versteifende Ertüchtigungsmaßnahmen vorgesehen werden. Für jede der angesprochenen Komponenten war der Nachweis zu prüfen, daß für den Lastfall Sicherheitserdbeben die zulässigen Spannungsgrenzen eingehalten wurden.

Beim Reaktortank sowie dem Doppeltank konnte nachgewiesen werden, daß die Spannungen im Erdbebenfall im zulässigen Rahmen lagen; Ertüchtigungsmaßnahmen waren also nicht erforderlich. Gleiches galt für die Natriumhauptpumpen.¹¹²

Der *Natriumzwischenwärmetauscher* (ZWT) bildete die Containmentgrenze, was besondere Anforderungen an seine Erdbebennachweise zur Folge hatte. Aufgrund der Massenverteilungen und der räumlichen Anordnung konnten bei der ZWT-Ertüchtigung keine Stoßdämpfer eingesetzt werden. Stattdessen mußten die vorhandenen Tragstrukturen und deren Ankopplung untereinander verbessert werden. Die engen räumlichen Verhältnisse führten dazu, daß die Bauteile für die Ertüchtigung in kleine Elemente zerlegt werden mußten, um die Montagen durchführen zu können. Mit diesen Maßnahmen wurde beim ZWT schließlich ein Schwingungsverhalten von oberhalb 13 Hz erreicht.

Die Erdbebenauslegung beim *Dampferzeuger* war eine außerordentlich aufwendige Angelegenheit wegen der besonderen Konstruktion dieser Komponente. Die mäanderförmig gebogenen Doppelrohre der zwei Dampferzeuger standen auf dem Doppelboden des Gehäuses; die Sammler selbst glitten auf den Unterstützungen, um thermische Bewegungen zuzulassen. Das Dampferzeugergehäuse wiederum stand auf Stützen, um die Wärmeabfuhr im Naturumlauf zu gewährleisten. Der Erdbebennachweis für die Dampferzeugerschlangen wurde unter Mithilfe eines Spezialistenteams vom Hanford Engineering Development Laboratory (HEDL) in den USA durchgeführt. Im Prinzip lief es auf eine geschickte Halterung der obersten Rohrleitungen hinaus.

Zur dynamischen Analyse des Dampferzeugergehäuses mit den Druckentlastungssystemen mußte ein aufwendiges Finite-Element-Modell erstellt werden. Die Forderung, daß das Gebäude starr sein sollte, machte umfangreiche Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich. Unter anderem war ein steifes Raumfachwerk vorzusehen, das die Kräfte nur in die Ecken des Gebäudes leitete. Mit diesen und weiteren Maßnahmen war es dann aber doch möglich, die Eigenfrequenz des Gebäudes auf oberhalb 9 Hz anzuheben.

2.2.4 Handhabung und Entsorgung

Für die *Handhabung* der hexagonalen Brennelemente der KNK II waren die Transporteinrichtungen der KNK I zu modifizieren, deren Elemente bekanntlich eine runde Kontur besaßen. Die bislang benutzten Bänderhubwerke, bei denen Flachstahlbänder als Zuelemente verwendet wurden, garantierten nicht die erforderliche winkelorientierte Positionierung der Elemente. Darüberhinaus waren bei KNK II wegen des Schwellens der Hüllkästen auch höhere Zug- und Druckkräfte bei der Handhabung auszuüben.¹¹³

Diese Überlegungen führten zur Abkehr von den bislang benutzten Bänderhubwerken hin zu einer neuen Umsetzvorrichtung. Diese Maschine besaß ein Gestängehubwerk und konnte Druck und Zug auf die Brennelemente ausüben. Sie besorgte den Transport der Elemente im Reaktortank zwischen einer festliegenden Orientierungsposition und der anzufahrenden Core-Position.

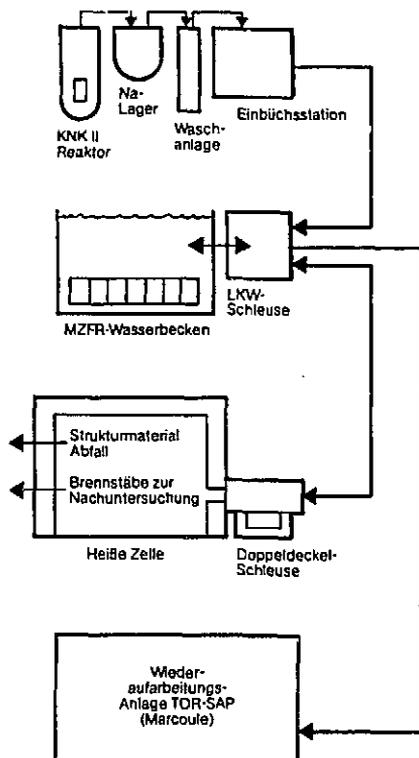
Auch bei der *Lagerung* der Brennelemente waren Änderungen angesagt. Das sog. Naßlager, also das Brennelementlager unter Natrium, wurde so konzipiert, daß eine komplette Coreladung Elemente und Absorber zwischengelagert werden konnte. Dafür war eine neue Lagerkassette erforderlich, die den Elementabmessungen anzupassen war. Fest eingebaute Absorber sicherten die Unterkritikalität in allen Beladezuständen.

Für die noch nicht bestrahlten Brennelemente wurde ein Trockenlager vorgesehen, in dem die Elemente kritikalitätssicher gelagert werden konnten. Damit die Brennstoffzone für Spaltstoffflußkontrollen zugänglich war, mußten die Seitenwände der sog. Brennelementgarderoben abklappbar und als Laufsteg ausgeführt werden.

Im Gebiet der *Entsorgung* ergab sich die Verpflichtung zur *Entsorgungsvorsorge* aus dem Jahre 1976 novellierten Atomgesetz (AtG). Im § 9a heißt es (auszugsweise):

"Wer Anlagen, in denen mit Kernbrennstoffen umgegangen wird, errichtet, betreibt, sonst inne hat, wesentlich verändert, stilllegt oder beseitigt, ... hat dafür zu sorgen, daß anfallende radioaktive Reststoffe ... schadlos verwertet werden oder soweit dies nach dem Stand von Wissenschaft und Technik nicht möglich, wirtschaftlich nicht vertretbar ist ... als radioaktive Abfälle geordnet beseitigt werden ..."

Bei der Entsorgung der KNK II waren einige Aspekte zu berücksichtigen, in denen sich die KNK II-Brennelemente von typischen Leichtwasserreaktor-Brennelementen unterschieden:



Ablauf der Entsorgung der KNK II-Brennelemente (Stand 1975)

1. Die Elemente beinhalteten hochangereichertes Uran, die der Testzone darüberhinaus noch 30 Gewichtsprozent Plutonium.
2. Der Zielabbrand der Elemente lag zwischen 30.000 und 80.000 MWd/t und damit wesentlich über den damaligen LWR-Abbränden (ca. 30 - 40.000 MWd/t).
3. Die Elemente waren nach ihrer Entnahme aus dem Reaktor mit Natrium behaftet, weswegen sie einem besonderen Wasch- und Trocknungsprozeß unterzogen werden mußten.
4. Vor Anlieferung zur Wiederaufarbeitungsanlage waren die Brennelementebündel zu demontieren, da von den Aufarbeitern nur Stäbe akzeptiert wurden. Diese "Vereinzelung" konnte nur in Heißen Zellen geschehen.¹¹⁴

Die Auslegung der Entsorgung sah vor, die aus dem Reaktor entladenen Brennelemente in ein mit Natrium gekühltes Brennelementlager überzuführen, das sich im Sicherheitsbehälter befand. Nach einer mehrmonatigen, abbrandabhängigen Abklingphase sollte sie in einer Natriumwaschanlage von anhaftendem Natrium befreit werden. Im Anschluß daran waren sie einzubüchsen und in ein bereits bestehendes Lager-

becken des Mehrzweckforschungsreaktors MZFR innerhalb der KfK überzuführen, wo sie 6 - 12 Monate zwischenlagern sollten. Die letzte Station, schließlich, sollte bei den Heißen Zellen sein, wo sie vereinzelt und für den Versand in die französische Wiederaufarbeitungsanlage Marcoule vorbereitet werden sollten.

Die *Natriumwaschanlage* für die bestrahlten Brennelemente war ein neues System auf dem Entsorgungspfad. Das zu waschende Brennelement sollte in einem Behälter inertisiert und durch Zumischen von leicht überhitztem Wasserdampf von anhaftendem Natrium gereinigt werden. Der entstehende Wasserstoff im Abgas war sorgfältig zu kontrollieren. Schließlich sollte das Brennelement in vollentsalztes Wasser getaucht und anschließend mit Stickstoff getrocknet werden.

2.3 Das Genehmigungsverfahren

2.3.1 Die atomrechtliche Anhörung

Die Entscheidung der Stuttgarter Genehmigungsbehörde, den Umbau von KNK I auf KNK II wie den Bau einer Neuanlage zu betrachten, erforderte auch die Ansetzung einer öffentlichen Anhörung. Der Genehmigungsantrag einschließlich üblicher Unterlagen wie Sicherheitsbericht und Gutachten wurde deshalb im Sommer 1973 beim Bürgermeisteramt in Eggenstein-Leopoldshafen und der Genehmigungsbehörde in Stuttgart zur Einsicht ausgelegt. Innerhalb der Einspruchsfrist meldeten 22 Einzelpersonen und 3 Vereinigungen Einwendungen an. Bemerkenswert war, daß alle Einwender - zuweilen waren es mehrere Familienangehörige - aus Karlsruhe und der näheren Umgebung stammten; das Phänomen der "Fernopponenten" oder berufsmäßig herumreisender "AKW-Gegner" existierte damals noch nicht. Von den drei Vereinigungen war die prominenteste die Rheintal-Aktion, angeführt von Helmut Wüstenhagen, einem Kernenergiekritiker der ersten Stunde, der Ende der siebziger Jahre ziemlich abrupt aus der Szene verschwand.

Der Erörterungstermin wurde am 4. September 1973 in der Schule für Kerntechnik des Kernforschungszentrums Karlsruhe abgehalten. Gemessen an der geringen Zahl der Einwender gab es eine stattliche Anzahl von Besuchern und Fragestellern. Entgegen späterer Praxis wurde nämlich praktisch jedermann zugelassen und konnte auch ad hoc Fragen stellen. Diese bezogen sich meist auf die "Gefährlichkeit" des Natriums

und die Nähe der nächstgelegenen Ortschaft Leopoldshafen zum Kraftwerksstandort. Es war sehr vorteilhaft, daß in der Kernschule ein Modell vorhanden war, an dem jedermann mit flüssigem Natrium hantieren konnte und damit einen visuellen Eindruck von dieser wasserähnlich schimmernden Substanz erhielt.

Die schriftlichen Einwendungen wurden gesondert behandelt und auch in der später erteilten Genehmigung nochmals herausgestellt. Sie konzentrierten sich auf 4 Bereiche: die Gefährlichkeit des Plutoniums, den Störfall beim amerikanischen Enrico-Fermi-Reaktor, den Brand bei der amerikanischen Anlage Rocky Flats und das jüngste Urteil eines amerikanischen Appellationsgerichts zum Schnellen Brüter. Bemerkenswert war, daß man sich in allen Fällen auf ausländische Kritiker abstützte; deutsche Öko-Institute, die eigenständige Einsprüche formuliert hätten, gab es damals noch nicht.

Auch bei der erstgenannten Einwendung zur Gefährdung durch das Plutonium zitierte man einen Externen, den Franzosen G. L. Verot, der in der Zeitschrift "Energie Nucléaire" abschätzte, daß um die Jahrtausendwende jährlich 20 - 100 kg Pu in die Umgebung entweichen würden. Hierbei war er jedoch von veralteten Verfahrenstechniken ausgegangen; es konnte leicht nachgewiesen werden, daß die jetzt und in naher Zukunft zur Verfügung stehenden verbesserten Methoden der chemischen Fällung, des Ionenaustausches und der Verdampfung wesentlich höhere Dekontaminationsfaktoren erlauben würden.

Der Störfall am Enrico-Fermi-Reaktor am 5. Oktober 1966 wurde durch die Ablösung eines Zirkonbleches unterhalb des Kerns und die anschließende partielle Blockade der Kühlmittelströmung verursacht. Dadurch kam es zum Anschmelzen zweier Brennelemente ohne sonderliche radioaktive Belastung der Umgebung. Allerdings wurde die Anlage später vorwiegend aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt und wird seither von Kernenergiegegnern gerne als Argument gegen die Brütertechnologie benutzt.

In der Rocky-Flats-Anlage der amerikanischen Atomenergiekommission AEC kam es im Mai 1969 zu einer Selbstentzündung von Plutoniumabfällen mit anschließender Kontamination verschiedener Gebäude über das Lüftungssystem. Zur Schadensursache wurde nichts Genaueres bekannt, da es sich um eine Anlage für Kernwaffen handelte, die der Geheimhaltung unterlag.

Bei dem Urteil des US Court of Appeals, schließlich, wurde erstmals verlangt, daß die AEC einen Umweltschutzbericht für das amerikanische Schnellbrüterprogramm vorzulegen habe; von einer gerichtlichen Ablehnung der Brüter - wie von den Einwendern behauptet - konnte keine Rede sein.

Insgesamt gesehen, verlief die öffentliche Anhörung sehr ruhig. Nach wenigen Stunden des Austausches der Argumente konnte der Vorsitzende Ministerialrat Blickle vom Wirtschaftsministerium Stuttgart den Erörterungstermin für beendet erklären.

2.3.2 Begutachtung und Genehmigung

Die Durchführbarkeitsstudie im Jahre 1968 sowie die anschließenden positiven Empfehlungen der amerikanischen Firma NUS und einiger KfK-Institute waren die Voraussetzung zur Fortführung der Planungsarbeiten an der KNK II. Sie mündeten in

einen 3-bändigen vorläufigen Sicherheitsbericht, welcher dem Wirtschaftsministerium Stuttgart als der federführenden Genehmigungsbehörde im Juni 1970 zusammen mit dem atomrechtlichen Antrag vorgelegt wurde. Nach der Entscheidung dieser Behörde, daß der Umbau von KNK I auf KNK II eine wesentliche Änderung darstelle, wurde 1972 ein zweiter, überarbeiteter Sicherheitsbericht vorgelegt. Im November 1972 erstellte der TÜV-Baden sein Gutachten zu Standort und Anlagenkonzept; es enthielt die respektable Zahl von 230 Auflagen, bestehend aus Gutachtensbedingungen und Unterlagenforderungen. Nach 5 Unterausschuß- und 3 Vollsitzungen gab auch die RSK im Januar 1973 ihr positives Votum zum Umbau der KNK ab.



Eskalation der atomrechtlichen Genehmigungsforderungen in den Jahren 1960-75.

Michael M., 3 Jahre, hält unter dem rechten Arm die Antragsunterlagen für den FR 2, links sind die entsprechenden Dokumente für KNK I/II aufgestapelt.

Die erste Teilerrichtungsgenehmigung (1. TEG) ließ aber noch lange auf sich warten. Vorher mußte ein wesentlicher Teil der genannten Auflagen aus dem Standort- und Konzeptgutachten abgearbeitet werden, die öffentliche Auslegung und Anhörung war durchzuführen und - der schwierigste Brocken - das Errichtungsgutachten des TÜV-Baden war zu erlangen. Es traf schließlich im Frühjahr 1975 ein, wiederum mit über 200 Auflagen gespickt, aber ansonsten positiv. Am 2. Mai 1975 wurde daraufhin die 1. TEG "verausfolgt", wie es im schönsten Bürokratendeutsch lautet.¹¹⁵

Der eigentliche Umbau der KNK, d.h. der Einbau der neuen Systeme und Komponenten, geschah über weitere Teilgenehmigungen. Für das gesamte Umbauvolumen der KNK II wurden zwischen Mai 1975 und Juni 1977 zwei Teilerrichtungsgenehmigungen mit 7 sog. Nachträgen benötigt und erlangt. Die 3. TEG, mit der die Altanlage KNK I für KNK II übernommen werden sollte und unter der das Zusammenspiel zwischen Alt- und Neuanlagenteilen zu genehmigen war, bereitete besondere formale Probleme. Ursächlich hierfür war der unterschiedliche Dokumentationsstandard beider Anlagen, bedingt durch die verschiedenen Zeitpunkte ihrer Entstehung.

Für den Betrieb der KNK II wurde bereits im Frühjahr 1976 die erste Teilbetriebsgenehmigung (1. TBG) beantragt, welche das Lager- und Handhabungskonzept enthielt. Sie wurde im Mai 1977 ausgegeben und beinhaltete eine Reihe sehr aufwendiger Objektschutzmaßnahmen für die Pu-Elemente. Die 2. TBG, welche den Nulleistungsbetrieb genehmigte, trug das Datum vom 30. September 1977. Auf der Basis eines dritten, überarbeiteten Sicherheitsberichts erfolgte im März 1978 schließlich die atomrechtliche Genehmigung der KNK II-Nennleistung.

Der Aufwand für das KNK II-Genehmigungsverfahren war beachtlich. Die 3 Antragsteller KfK, KBG und Interatom waren in ständigem Kontakt mit dem Stuttgarter Wirtschaftsministerium als der eigentlichen Genehmigungsbehörde sowie dem Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung (Aufsichtsbehörde), dem Innenministerium und mit dem Bundesinnenministerium in RSK-Angelegenheiten. Als federführender Gutachter fungierte der TÜV-Baden, dem die Schwesterorganisationen TÜV-Rheinland, TÜV-Stuttgart und TÜV-Pfalz, sowie das GRS für Spezialfragen zur Seite standen. Zuweilen waren 60 Spezialisten mit der Begutachtung von KNK II beschäftigt. Aus der Reihe der "konventionellen" Ämter und Behörden ragte das Karlsruher Prüfamts für Baustatik heraus, welches einen Großteil der Erdbebenertüchtigungen zu begutachten hatte. Das Landeskriminalamt in Stuttgart überprüfte die Maßnahmen zum Schutz ge-

gen Sabotage und Terrorismus und brachte damit einen für Techniker ungewohnten Touch in die Projektabwicklung ein.

Einige wenige statistische Zahlen mögen einen Eindruck vermitteln von dem Aufwand des Genehmigungsverfahrens bei KNK II. Die Anlage KNK II wurde in 3 Sicherheitsberichten unterschiedlichen Detaillierungsgrads beschrieben, die aus je 3 Bänden bestanden. Die darauf fußenden 3 dickleibigen TÜV-Gutachten enthielten nahezu 600 Auflagen, welche bis zur Inbetriebnahme im Jahre 1977 abzarbeiten waren. Dazu wurden von den Antragstellern zusätzliche Unterlagen vorgelegt, die einem Stapel von ca. 7 Meter Höhe entsprachen. Die Dokumentation der Gesamtanlage belief sich auf ca. 100 Meter laufende Akten. Von 1972 bis 1977 wurden ca. 1500 sicherheitsbezogene Besprechungen abgehalten, davon etwa 200 auf Projektleitungsebene.

2.3.3 Spezifikation und Dokumentation

Im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren sind alle Komponenten und Systeme planerisch zu beschreiben und in Spezifikationen niederzulegen. Anschließend ist in der Dokumentation der Nachweis zu führen, wie die Anlage tatsächlich verwirklicht wurde. Die Spezifikationen geben also darüber Auskunft, wie die Anlage werden soll, die Dokumentation hält fest, wie sie wirklich ist.¹¹⁶

Auch auf diesem Gebiet war der Stand von Wissenschaft und Technik zwischen 1965 und 1975 vorangeschritten, so daß es nicht möglich war, die Spezifikationen und Dokumentationen der Altanlage KNK I ohne Abänderungen auf KNK II zu übernehmen. Stattdessen forderte die Genehmigungsbehörde vom Gutachter, alle KNK I-Spezifikationen auf ihre Verwendbarkeit für KNK II detailliert zu überprüfen. In einem zeitraubenden und kostspieligen Verfahren - das mehrere Millionen Mark an Aufwand verursachte - wurden alle Spezifikationen der Altanlage auf ihre Konsistenz mit den TÜV-Anforderungen für die Neuanlage verglichen und in einem sog. "Index 10"-Verfahren "hochgeprüft". Spezifikationsänderungen bei bereits laufender, manchmal sogar abgeschlossener Fertigung verursachten einen besonders hohen Aufwand und brachten häufig Terminverzögerungen mit sich. Vielen bereits existierenden Systemen und Komponenten kam bei KNK II eine erhöhte sicherheitstechnische Bedeutung zu, weswegen die neue Kategorie "Ergänzungsspezifikation" ins Leben gerufen wurde.^{117,118}

Um die Vielfalt der Spezifikationen überhaupt noch in übersichtlicher Form darstellen zu können, wurde mit der Aufsichtsbehörde die Kategorie "Spezifikationsfamilie" vereinbart. Man verstand darunter die Zusammenfassung aller Detailspezifikationen, die zu verschiedenen Zeiten (KNK I, KNK II) zur planerischen Beschreibung desselben Anlageteils erstellt worden waren. Insgesamt gab es bei KNK II für den Bereich Maschinenbau 163, für den Bereich Elektrotechnik 50 Spezifikationsfamilien mit zum Teil 10 Familienmitgliedern.

Ähnlich aufwendig war das Papierwesen bei der Dokumentation. Hier unterschied man zwischen Alt- und Neudokumentation, je nach Anlagenbereich KNK I oder KNK II. Für alle Bauteile bei KNK II gab es eine begleitende Dokumentation, die das Werkstück durch alle Fertigungsstellen mit sich führte. Grundsätzlich galt, daß erst dann mit der Fertigung von Komponenten begonnen werden dürfte, wenn alle vom TÜV geprüften Unterlagen vorlagen. Bei der Abnahme hatten Hersteller, Betreiber und Gutachter auf ein und demselben Papier ihre Freigabe zu vermerken. Am Standort Karlsruhe wurde - aus guter Erfahrung heraus - kein Bauteil auf Lager genommen, das nicht diese drei Unterschriften trug.¹¹⁹

2.4 Erfahrungen beim Umbau von KNK I auf KNK II

2.4.1 Probleme bei Beschaffung und Fertigung

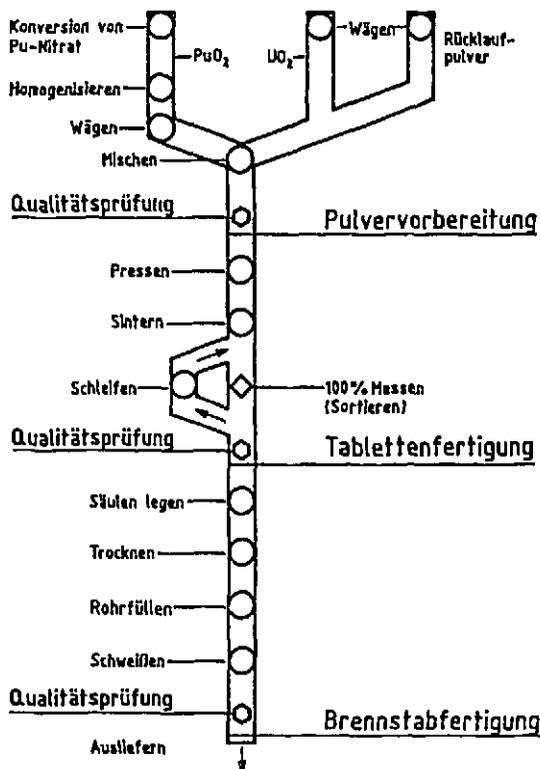
Die Beschaffung der Bauteile und der Systeme für KNK II litt häufig unter dem Umstand, daß es schwierig war, geeignete Lieferanten zu finden. Ursächlich dafür waren die außerordentlich hohen atomrechtlichen Qualitäts- und Abnahmeanforderungen. Die Konsequenz war ein gegenüber vergleichbaren konventionellen Komponenten oft um Faktoren höherer Preis, welcher aus der Berücksichtigung der extremen TÜV-Forderungen resultierte. Da aber - vor dem Hintergrund einer guten Konjunkturlage - zahlreiche angefragte Firmen diese hohen Qualitätsanforderungen nicht erfüllen konnten oder wollten, lehnten viele die Abgabe eines Angebots ganz einfach ab oder setzten die Preise so hoch an, daß eine Bestellung nicht zu vertreten war.¹²⁰

Um einige wichtige KNK II-Komponenten überhaupt noch zu vernünftigen Preis- und Terminbedingungen beziehen zu können, wurde gelegentlich der Weg über eine Sammelbestellung mit Bauteilen des größeren SNR 300 beschritten. Bei einigen Kompo-

nenten blieb aber auch dieses Junktim - entweder Lieferungen für SNR und KNK II oder kein Auftrag für SNR - ohne Erfolg, so daß in solchen Fällen Gespräche auf Geschäftsführerebene anberaumt wurden, um mögliche Lieferanten dennoch zu akzeptablen Bedingungen zu motivieren.

In einigen Fällen überschätzten Auftragnehmer ihre technische Leistungsfähigkeit und mußten deshalb durch Interatom soweit ertüchtigt werden, daß sie schließlich einsatzfähige Bauteile herstellen konnten. Die Erstaufträge der KNK hatten somit eine gewisse

Lehrfunktion für spätere Aufträge des SNR 300-Konsortiums. Als Beispiel sei die komplizierte Fertigung der Strukturteile für die Brennelemente genannt. (Über diejenige Firmen, welche sich anfangs vergeblich an deren Fertigung versuchten, sei der Mantel der Verschwiegenheit gebreitet.)



Fließbild KNK II-Brennstabfertigung

Probleme auf vielen Gebieten brachte auch die Fertigung der Mischoxidbrennstäbe für die Testzone mit sich. Der Auftrag an die Firma Alkem in Hannover umfaßte etwa 2000 PuO₂-UO₂-Stäbe. Bislang hatte Alkem lediglich 200 Stäbe dieser Art für Bestrahlungszwecke gefertigt. Allein dieser Übergang zu einer wesentlich größeren Serie ließ Schwierigkeiten erwarten. (Für SNR 300 waren übrigens 20.000 Stäbe bereitzustellen.)

Die erste unangenehme Überraschung bereitete die Rißanfälligkeit der hochwarmfesten, austenitischen Hüllrohrstäbe beim Einschweißen der Endkappen. Das spezifikationsgerechte Schweißen gelang erst, nachdem Zünden und Löschen des Lichtbogens auf das Vollmaterial des Endstopfens verlegt worden war. Die Entwicklung des neuen Schweißverfahrens dauerte fast ein halbes Jahr.^{121,122}

Probleme bereitete auch das beige stellte Plutonium, welches von stark abgebrannten Leichtwasserelementen stammte. Im Zuge der unerwartet langen Fertigungskampagne reicherte es sich hoch mit Americium-141 an und bewirkte dadurch ein Strahlenschutzproblem bei der Handlung in den Handschuhboxen. Hier mußte für zusätzliche Abschirmung und größeren Personalwechsel gesorgt werden. Darüberhinaus beeinflusste der relativ hohe Plutoniumgehalt von 30 % das eng spezifizierte Sauerstoff/Metall-Verhältnis und die Wasserstoffadsorption derart ungünstig, daß eine Reihe von Chargen ausgesondert werden mußten.¹²³

Das viele Probieren mit kleinen Fertigungslosen führte Anfang 1976 zu der Situation, daß das angereicherte Uran aufgebraucht war. Uranbestellungen in den USA waren bis zu diesem Zeitpunkt eine einfache Sache und fast per Postkarte zu erledigen. Das änderte sich mit der Anti-Proliferationspolitik des neuen US-Präsidenten Jimmy Carter. Sie wirkte sich auch auf KNK II aus, denn 8,8 kg hochangereichertes Uran, bestellt und dringend benötigt, wurden nicht zum Export freigegeben. Erst auf eine Intervention des deutschen Außenministeriums hin erklärte sich die zuständige amerikanische Atomkommission bereit, ein "hearing" zu veranstalten. Dieses fand im Sommer 1977 bei Argonne National Laboratory (ANL) statt, wobei die deutsche Kundenseite über mehrere Stunden peinlichst dazu befragt wurde, wie es zu den Mehrmengen bei der Brennstabfertigung gekommen war. Bei mehr als einer Frage erreichte man die Grenze des industriellen Fabrikationsgeheimnisses, indes die deutschen Vertreter (Dr. Tebbert. Autor) konnten es sich nicht leisten zu "mauern", da die Folge Nichtauslieferung des Materials gewesen wäre. Diese so gewonnene Erfahrung mit einem Monopolisten läßt das etwas abgegriffene Wort "Autarkie" in einem besseren Licht erscheinen.¹²⁴

Die Beschneidung des Ausgangsmaterials für die Brennstäbe brachte das Projekt KNK II in ernste Gefahr. Nach vielen und vergeblichen Versuchen der anderweitigen Beschaffung mußte schließlich die Zahl der Reserveelemente reduziert werden. Zusätzlich entwickelte Alkem unter intensiven Bemühungen und mit Erfolg ein Verfahren zur trockenen Wiederaufarbeitung und Wiederverwendung des Uranschnitts, welcher bei der Fertigung angefallen war. Nachdem dieses Verfahren stand, wurde von den Amerikanern auch die Freigabe zum Export des bestellten Urans erteilt. Zufall oder Absicht?

2.4.2 Montage unter schwierigen Umständen

Die Anlage KNK I wurde im September 1974 abgeschaltet, um sie auf den Umbau vorzubereiten. Noch konnte nicht mit den eigentlichen Umbaumontagen begonnen werden, da die erforderliche Genehmigung erst im darauffolgenden Jahr zu erwarten war.

Die Hauptaktivitäten der Vorbereitungsphase lagen im Abtransport des KNK I-Kerns. Die Brennelemente wurden zur französischen Anlage SAP nach Marcoule gebracht und dort wiederaufgearbeitet.¹²⁵ Überraschenderweise - für die französischen Experten - war die Zerlegung der Bündel in den dortigen Heißen Zellen ein schwierigeres Geschäft als vorher angenommen. (Die verlangten Mehrkosten mußten trotzdem abgelehnt werden, da ein Festpreis vereinbart war.) Auch die übrigen Core-Einbauteile wie Absorber, Moderatoren und Reflektorelemente wurden natriumfrei gewaschen und der KfK-Sammelstelle zur Verschrottung übergeben. Zu den größeren Arbeiten zählte der Ausbau der KNK I-Kassette für das Brennelement-Naßlager unter Argonschutz. Sie war wegen der hexagonalen Kontur der KNK II-Brennelemente notwendig geworden. Schließlich sei noch der Austausch der Schieberoberteile bei den Natriumhauptabsperrarmaturen genannt, welcher von der Betriebsmannschaft der KBG selbst durchgeführt wurde, übrigens unter äußerst beengten Raumverhältnissen in der Primärzelle.¹²⁶

Die 1. Teilerrichtungsgenehmigung (1. TEG) für den Umbau zur KNK II kam am 2. Mai 1975. Wie üblich bei Erstgenehmigungen, war sie mehr konzeptioneller Art ("Leergenehmigung"). Das eigentliche Umbauvolumen wurde in zwei Nachträgen bestimmt, die im Juli und Oktober desselben Jahres eintrafen. Jetzt erst konnte der wirkliche Umbau der KNK-Anlage beginnen.

Im Zuge der genannten Genehmigungsbescheide wurden u.a. die Läger für frische und abgebrannte Brennelemente sowie das Moderatorlager eingebaut. Weiterhin war das Notkühlsystem mit Komponentenkreislauf sowie die Sicherheitsbehälterdurchführung genehmigt mit einem Großteil der Instrumentierung und des Reaktorschutzes. Auch der große Bereich Handhabung mit Wechselmaschine und Umsetzvorrichtung konnte begonnen werden.

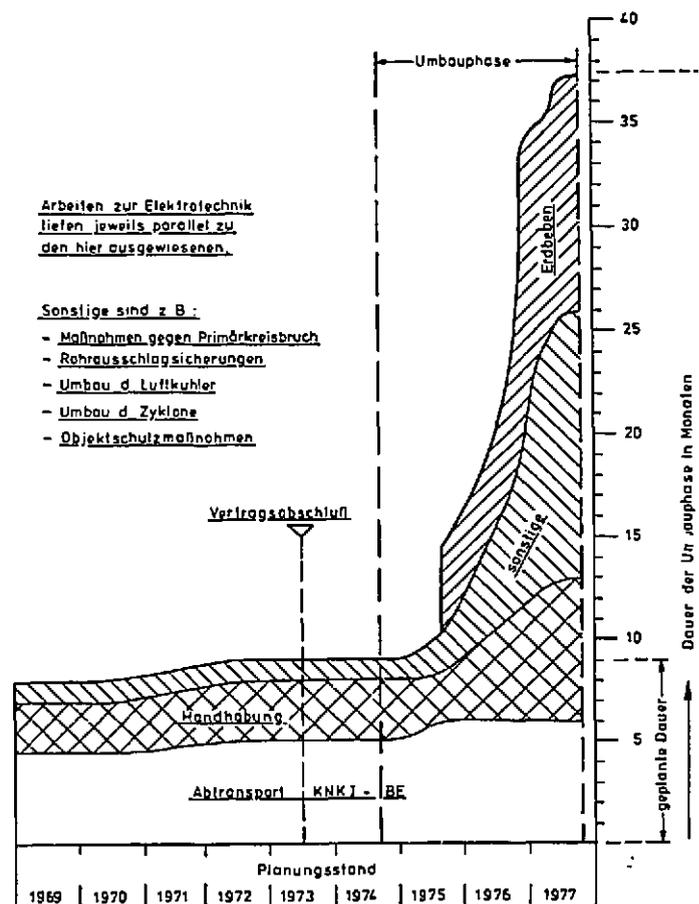
Das Nebeneinander der genannten Umbauaktivitäten und der fortlaufenden betrieblichen Tätigkeiten, wie wiederkehrende Prüfungen, Handhabung, Reparaturen und Wartung erforderte eine enge Abstimmung zwischen dem verantwortlichen KNK-Be-

treiber KBG und dem verantwortlichen KNK II-Lieferanten Interatom. Um sowohl Anlagen- als auch Arbeitssicherheit gewährleisten zu können, mußte man KNK-spezifische Bedingungen berücksichtigen:

1. Es handelte sich um den Umbau einer bereits in Betrieb befindlichen Reaktoranlage mit entsprechendem Aktivitätsinventar; die radiologische Überwachung des Personals war zu sichern und dessen Belastung zu minimieren.
2. Bei der Vielzahl der gleichzeitig ablaufenden Umbau- und Prüfarbeiten bestand die Möglichkeit der gegenseitigen Beeinflussung; nicht alle Systeme, an denen Umbauarbeiten durchgeführt wurden, konnten außer Betrieb genommen werden.
3. Viele Arbeiten, besonders in den Primärzellen, mußten unter extremen Bedingungen durchgeführt werden, sowohl was die räumliche Enge als auch die dort herrschenden Temperaturen (40 - 50 °C) anlangte.

Es war das Verdienst des damaligen und langjährigen Betriebsleiters Günter Finke, ein Arbeitsfreigabeverfahren eingeführt zu haben, das die effiziente und unfallfreie Abwicklung des KNK II-Umbaus ermöglichte. In einem später vom Bundesinnenministerium BMI herausgegebenen Richtlinienentwurf für Instandhaltungs- und Änderungsarbeiten in Kernkraftwerken wurden wesentliche Teile des KNK I-Arbeitsfreigabeverfahrens aufgenommen.¹²⁷

Die schwierigsten Umbaumaßnahmen standen aber noch bevor: die Ertüchtigung der Anlage gegen Erdbeben. Sie sollten erst in der 2. Teilerrichtungsge-nehmigung (2. TEG) vom Februar 1976 bzw. einem ihrer



Planung und Ablauf des Umbaus von KNK I auf KNK II

Nachträge (Juni 1976) freigegeben werden. Der gewaltige Umfang dieser Arbeiten war nicht vorauszusehen. Allein die bereits genannte frequenzmäßige Verstimmung des Dampferzeugergehäuses erforderte mit den Durchbrüchen der Bodenwannen, der Dachabdeckung, und der elektrotechnischen Montagen einen Aufwand von ca. 10 Mannjahren bei 30.000 kg Stahleinsatz. Beim Wärmeübertragungssystem war neben einer Vielzahl von Komponentenversteifungen auch die Anbringung von 34 Erdbeberdämpfern erforderlich. Nicht selten schloß die Kompaktheit der Anlage eine freizügige Verwendung dieser Dämpfer aus. Dynamische Festpunkte, welche sich aus der theoretischen Systemanalyse ergaben, konnten häufig in realiter nicht ausgeführt werden, oder nur unter aufwendiger Demontage bereits bestehender Komponenten.

Zur Lösungsfindung waren zahlreiche Iterationen bei der Analyse, Konstruktion und Machbarkeitsüberprüfung notwendig. Dies bedurfte des engen Zusammenspiels zwischen den Auslegern in Bensberg und der Baustellenmannschaft in Karlsruhe. Selbst das Setzen von Dübeln für die Anbringung der Dämpfer und Halterungen war ein Problem, galten doch die behördlichen Vorschriften nur für Beton mit unbeschädigter Bewehrung. Stieß man beim Bohren jedoch - wie so häufig - auf ein Bewehrungsseisen und ließen sich somit die genormten Dübelabstände nicht verwirklichen, so mußten Sondergenehmigungen auf der Basis einer testierten Spezifikationsänderung beantragt werden, oder es war eine vollkommen neue Konstruktion zu entwickeln.

Auch der Einbau der Abschaltvorrichtungen wurde erst relativ spät gestattet, nämlich durch den 5. Nachtragsbescheid im Mai 1977. Die Funktionssicherheit dieser Systeme mußte vorher in einem umfangreichen experimentellen Programm nachgewiesen werden. So waren für einen Prototyp ausführliche Tests sowohl in Wasser als auch in Natrium verlangt. Die Natriumversuche hatten unter weitgehend reaktorähnlichen Bedingungen stattzufinden. Der Prototyp der 1. Abschaltvorrichtung sollte 2.000 Schnellabschaltungen, 2.800 Doppelvollhübe und 1.400.000 Regelhübe überstehen, was durch anschließende Verschleißuntersuchungen zu belegen war.¹²⁸

Wegen der ständig steigenden Ansprüche bei der Spezifikation und Dokumentation, bei der Erdbebenertüchtigung und den - hier nicht aufzudeckenden - Objektschutzmaßnahmen mußte die Termin- und Personalplanung zwischen 1975 und 1977 mehrmals grundlegend überarbeitet werden. In den genannten Gebieten war eine Personalaufstockung dringend geboten, aber nicht einfach zu bewerkstelligen, weil sie beim Hersteller Interatom mit langfristigen Personalplanungen des SNR 300-Bereichs kollidierten. Die KNK II-Projektleitung bei Interatom - der verantwortliche Hauptprojektleiter

Elmar Guthmann mit seinen engagierten Mitarbeitern Hubert Andrae und Peter Romeike - waren hier besonders gefordert; sie brachten schließlich eine gute Lösung zustande, u.a. durch die Mitarbeit des wieder zur KNK als Oberbauleiter zurückdelegierten Gerhard Hendl. Durch kurzfristige Versetzungen aus dem SNR-Bereich waren zeitweise 200 Mann an der KNK mit Umbau und Betriebsarbeiten beschäftigt. Nicht selten wurde zwischen den Interatom-Projektleitungen für KNK und SNR 300 Kalkar um die besten Brüteringenieure innerhalb der Firma heftig gerungen. Da bei KNK die Erfolge der Anstrengungen meist eher sichtbar waren, bildete sich bei Interatom eine KNK-Mannschaft heraus, die von Korpsgeist und besonderer Hingabe an das Karlsruher Projekt geprägt war - angeführt von ihrem Mentor Dr. Mausbeck.^{129, 130}

Im Rückblick kann festgestellt werden, daß die Umbauphase von KNK I auf KNK II mit 9 Monaten entschieden zu kurz bemessen war. Sie erstreckte sich schließlich auf ca. 2 Jahre, vom Herbst 1975 bis zum Herbst 1977. In diesem Zeitraum von nur 2 Jahren wurde aber Enormes geleistet. Vor dem Hintergrund immer höher werdender Anforderungen im kerntechnischen Bereich und der Normenvorgabe durch die Großanlage SNR 300 wurde eine bereits bestehende, nicht überall mehr voll zugängliche thermische Anlage in einen schnellen Versuchsbrüter umgebaut.

Die Mannschaft, die daran mitwirkte, hat sich Verdienste erworben.

2.4.3 Die Projektbesprechungen

Die drei Vertragspartner KfK (anfangs GfK/VA), Interatom und KBG waren von 1965 bis 1991, also über 26 Jahre hinweg beim KNK-Projekt zusammengespannt. Häufig waren sie gemeinsam Inhaber der atomrechtlichen Genehmigung, immer hatten sie ihren Part zu spielen als Bauherr und Eigentümer, als Ausleger und Hersteller sowie als Betreiber der Anlage. Viele Besprechungen wurden in diesem langen Zeitraum abgehalten, aber keine war so bestimmend und prägend für die Projektabwicklung wie die sog. *Projektbesprechung*. Es war der gemeinsame Tisch an dem KfK, Interatom und KBG alle zwei bis drei Wochen zusammenkamen, um die Projektlage zu analysieren und die nächsten Schritte festzulegen. Da der Autor zwanzig Jahre lang Vorsitzender dieses Gremiums war und dabei viele Teilnehmer kommen und gehen sah, möge es gestattet sein, auch einige zwischenmenschliche Dinge anzusprechen.

Die Projektbesprechung fand immer im gleichen Raum der sog. OBL-Baracke statt, die im Bereich der KNK-Anlage innerhalb des Kernforschungszentrum gelegen war. Die Vorbereitungen für die Sitzung machten sich etwa eine Woche vorher in verstärktem Telefonverkehr bemerkbar, aus dem geschlossen werden konnte, daß Beauftragte der KfK oder KBG, aber vorzugsweise der Interatom an dieser oder jener "Aktion" der vorausgehenden Sitzung als Hausaufgabe "kauten". Gleichzeitig wurde auch die Tagesordnung der nächsten Sitzung vorbereitet, für die Interatom die Vorschläge einzusammeln hatte. Spätestens hieraus konnte der Trend für die folgende Sitzung abgelesen werden. Neben den unabweisbaren Projektthemen versuchte man auch Punkte unterzubringen, bei denen man sich "gut verkaufen" konnte, oder bei dem ein anderer, subtil natürlich, den Schwarzen Peter zugeschoben bekam. Einen stürmischen Sitzungsverlauf konnte man erwarten, wenn eine Teilnehmerpartei - oft war es die KBG - sich gar nicht mehr die Mühe machte, ihren Tagesordnungspunkt neutral zu formulieren. Dann hieß dieser eben nicht "Probleme bei Schieberoberteilen", sondern ganz direkt "Falsche Auslegung der Schieberoberteile durch Interatom".

Die Sitzungen der Projektbesprechung begannen um 9.00 Uhr, wobei die Teilnehmer der Interatom meist eine halbe Stunde früher ankamen, um von ihrem zur KNK delegierten Oberbauleiter (OBL) die letzten Ereignisse an der Anlage und vor allem die "Stimmung" abzufragen. Die Sitzordnung im Besprechungsraum war genau festgelegt; niemand hätte es gewagt, einem anderem seinen angestammten Sitz streitig zu machen. Links saß - von der Tür aus gesehen - die KBG, rechts die Interatom, am Kopfende Dr. Brudermüller und der Autor. Stets hatte man den gleichen Mann (Gegner) im Visier. Geladene Experten mußten sich in dem relativ kleinen Raum an das untere Ende begeben; Raucher, gleich welcher Art, waren damals noch nicht unterdrückt. Für die Funktionsträger, wie Betriebsleiter oder Projektleiter, galt natürlich Präsenzpflcht, ansonsten konnten die drei Parteien ihre Teilnehmer selbst auswählen. Kenner der Veranstaltung wußten aus Vakanzen oder Neuankömmlingen sofort zu schließen, wer in Ungnade gefallen oder im Aufsteigen begriffen war. Insbesondere für die Betriebsangehörigen der KBG war es eine Ehre, zur Projektbesprechung geladen zu werden.

Nach den Präliminarien zu Sitzungsbeginn hatte traditionell der Betriebsleiter der KBG, Herr Finke, den Betriebsbericht zu erstatten. Er machte es häufig sehr ausführlich, auf der Basis von Notizen seiner Mitarbeiter, deren Handschrift er gelegentlich beklagen mußte. Danach begann der Einstieg in die aktuellen Punkte, wofür meist im vorhinein ein Vortragender - häufig ein Gast aus Bensberg - benannt worden war. An der darauffolgenden Diskussion beteiligten sich meist nur die "Matadoren", etwa bei der KBG

Dr. Brudermüller und Finke nebst den Gruppenleitern (Reuter, Zimmermann, Dr. Richard); bei der Interatom waren es die Projektleiter (Dr. Höchel, Guthmann, Andrae, Romeike) sowie Dr. Mausbeck, der eine breite Wissensspanne in der Natriumtechnologie besaß und sich als "Mister Interatom" allgemeiner Wertschätzung erfreute. Bei der KfK war es insbesondere Schnetgöke, der auf vielen Themen der Vertragsabwicklung kompetent war, und - ex officio - der Autor als Diskussionsleiter. Gelegentlich meldete sich vom Ende des Interatom-Tischteils auch der Kaufmann Griesenbach zu Wort. Er schien das Leistungsverzeichnis aller vertraglichen Lieferungen und Leistungen seiner Firma auswendig gelernt zu haben, denn wann immer er eine Zusatzleistung witterte, zeigte er - für das Protokoll - vorsorglich Mehrkosten an. Dem wurde, aus Gründen des Prinzips von Kundenseite sofort - und ebenfalls für das Protokoll - ausdrücklich widersprochen.

Man kann mit Fug und Recht behaupten, daß jedes technische Thema von einigem Belang ein- oder mehrmals auf der Tagesordnung der (insgesamt 300) KNK-Projektbesprechungen gestanden hat. Manche hielten sich dort über Jahre hinweg, wie etwa die Problempunkte Gasblasen und Kontrollstabgestänge. Die Teilnehmer dieser Veranstaltungen waren sich bewußt, daß sie für das Projekt - jeder in seinem Bereich - Verantwortung trugen und mit den Problemen selbst fertig werden mußten. Das bewirkte wohl eine Art gruppendynamischen Prozeß des Zupackens und vollen Engagements, das aber auch Spaß an der Aufgabe auslöste.

Einen gewissen Unterhaltungswert, insbesondere für die stummen Teilnehmer der Projektbesprechung, hatten die gelegentlich aufkommenden Streitgespräche, um nicht zu sagen Streitigkeiten. Hier gab es eine klare Rangfolge. Hakeleien mit Interatom waren nichts Außergewöhnliches, die Firmenvertreter waren es gewöhnt, etwas härter attackiert zu werden, es war gewissermaßen im Lieferpreis inbegriffen. Den Diskussionen innerhalb der KBG wurde bereits mit größerem Amusement gelauscht. Der Gipfel des Vergnügens schien für einige Teilnehmer aber erreicht zu sein, wenn sich die beiden ranghöchsten Kundenvertreter (Dr. Brudermüller, Autor) in die Haare gerieten. Das geschah zwar selten, aber es passierte. Im übrigen sorgte die gesunde landsmannschaftliche Aufteilung am Tisch zwischen Berlinern (Finke), Rheinländern/Franken (Dr. Mausbeck), Schwaben (Dr. Brudermüller) und Bayern (Autor) dafür, daß Mißstimmungen nie lange anhielten.

Gegen 13 Uhr hatten die Teilnehmer der Projektbesprechung ihr Pulver meist verschossen; Kritik und Frust waren abgeladen und die Aufgaben für die nächsten Wo-

chen verteilt. Man beschloß Mittagessen zu gehen. Und da es für die Kantine der KfK bereits recht spät war und man deren Qualitätsmaßstab kannte und schätzte, begab man sich meist zum Restaurant Kärcherhalle nach Weingarten. Dort löste sich beim Aperitif die Anspannung der vorausgehenden Stunden, beim Steak wurden nochmals die wichtigsten Projektvereinbarungen festgeklopft, und beim Dessert konnte man sich leichteren Themen zuwenden. Etwa wie der Siemenskonzern zweckmäßig zu organisieren sei, oder wen der Bundeskanzler zum nächsten Forschungsminister ernennen solle. Nach einem personencharakteristischen Nachschlag (Mausbeck: Havana; Höchel: Cognac; Romeike: doppeltes Vanilleeis mit Sahne) löste sich die Gruppe auf.

Bis zur nächsten Projektbesprechung, in 3 Wochen.

Und das Ganze - exakt - 300 Mal.¹³¹

3 Der Betrieb mit dem Erstkern KNK II

Der Umbau der KNK war eine turbulente Phase, welche die Beteiligten bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit forderte. Die Vielzahl der Auflagen aus dem Genehmigungsverfahren war nicht vorherzusehen und an einer bereits existierenden Anlage manchmal auch nur mit Mühe und viel Ingenieurskunst zu realisieren. Nicht wenige dieser Forderungen waren "Duplikate" von Auflagen für den SNR 300, dessen Bau im Frühjahr 1973 in Kalkar begonnen hatte. Man fühlte sich in Karlsruhe im Wettlauf mit dem "großen Bruder", denn immerhin sollte - entsprechend den Festlegungen des Forschungsministeriums - die KNK II mindestens 3 bis 4 Jahre vor dem SNR 300 in Betrieb gehen. Da vertragsgemäß die Inbetriebnahme des SNR 300 für 1979 angesetzt war, hätte KNK II spätestens 1976 den Betrieb aufnehmen müssen. Das war jedoch ausgeschlossen, denn in diesem Jahr liefen die Erdbebenschutzmaßnahmen noch auf vollen Touren, und an eine Inbetriebnahme der KNK II war allenfalls Ende 1977 zu denken.

Aber bald lief auch in Kalkar nicht mehr alles nach Plan ab. Nach zügigem Beginn kam das Projekt 1975/76 ins Stocken, weil die von der Genehmigungsbehörde geforderten Nachweise für den Tankauflageträger nicht zeitgerecht erbracht werden konnten. Anlaß für diese Forderung war der berühmt-berüchtigte Bethe-Tait-Störfall, welcher dem SNR 300 auch später noch viel zu schaffen machte. Ab 1978 kam das Projekt Kalkar

nahezu ganz zum Stillstand, weil sich eine Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages fast vier Jahre mit ihm beschäftigte und die Behörden währenddessen keine substantiellen Errichtungsbescheide mehr erteilten.¹³²

Durch diese massiven Projektverzögerungen in Kalkar - die später bekanntlich nicht mehr aufgeholt werden konnten - kam die KNK II nie mehr in die Gefahr, von SNR 300 zeitlich überholt zu werden.

Vielleicht sollte man hinzufügen: leider!

3.1 Betrieb zum Spitzenabbrand

3.1.1 Die Inbetriebnahme des Schnellen Kerns

An der KNK II waren die Primärnatriumssysteme, soweit es die Umbaumaßnahmen zuließen, ständig im Umwälzbetrieb, um die gewünschte Natriumreinheit aufrecht zu erhalten. Die Sekundärsysteme waren zur Anbringung der Erdbebendämpfer großenteils entleert und standen unter Schutzgasdruck. Die Strahlenschutzbilanz für das Betriebspersonal war, trotz der vielfältigen Arbeiten im Reaktorbereich, sehr erfreulich. So lag die gemittelte Dosisbelastung pro Person im Jahr 1977 bei nur 41 mrem und damit bei etwa 10 % der Werte, die in normalen (Kur-)Orten des Schwarzwalds und des Fichtelgebirges gewissermaßen von der Natur verabreicht werden.

Die Inbetriebnahme der KNK II begann mit Probehandhabungen von Brennelementattrappen sowie ausgedehnten Funktionsprüfungen an der Wechselmaschine und der Umsetzvorrichtung. Nach Beendigung dieser Vorbereitungsarbeiten wurden die äußeren runden und hexagonalen Reflektorelemente in das Core eingesetzt. Im Mai 1977 erteilte die Behörde die 1. Teilbetriebsgenehmigung zur Einlagerung des Kernbrennstoffs in das Zwischenlager der KNK II.¹³³

Der Nulleistungsbetrieb

Die 2. Teilbetriebsgenehmigung, mit allen Fasern herbeigesehnt, wurde am 30. September 1977 ausgehändigt. Sie erlaubte, endlich, die nukleare Inbetriebnahme der

Anlage bei sehr kleiner Leistung, dem sog. Nulleistungsbetrieb. Alle Vorbereitungen hierfür waren getroffen, und so nahm es nicht Wunder, daß diese Meßkampagne, bestehend aus dem Aufbau der kritischen Mindestladung, der Beladung bis zum Zielcore, der Kalibrierung der Abschaltssysteme sowie der Ermittlung der Reaktivitätskoeffizienten nur ganze 6 Wochen in Anspruch nahm.¹³⁴

Zum Erreichen der kritischen Mindestbeladung wurden im ersten Schritt die Brutzone sowie die sieben UO_2 -/ PuO_2 -Brennelemente eingebracht. In vier weiteren Teilschritten lud man unmoderierte sowie moderierte UO_2 -Elemente zu. Die Extrapolation des letzten Beladeschritts ergab eine kritische Mindestbeladung von 20,6 Brennelementen. Ein Kompliment für die Reaktorphysiker der Interatom, denn diese hatten 20 ± 1 Elemente in ihren Rechnungen vorabgeschätzt. Die KNK II ist am 10.10.1977 erstmals kritisch geworden; eine Woche später war auch das Zielcore mit 29 Brennelementen aufgebaut.

Das nachfolgende Meßprogramm zur Stabkalibrierung diente dem Nachweis ausreichender Abschaltreaktivität für die beiden Abschaltssysteme. Zur Bestimmung dieser Reaktivität wurden unterschiedliche Meßverfahren herangezogen, so z.B. die Kompensations- und die Stababwurfmethode. Korrekturen waren natürlich anzubringen wegen der Flußverformungen durch die Bewegung der Absorberstäbe sowie ihrer gegenseitigen Beeinflussung. Auch hier stimmten die Meßwerte gut mit den nominellen Auslegungswerten überein.

Die Bestimmung der Reaktivitätskoeffizienten bildete den Abschluß des Meßprogramms für die Nulleistungskampagne. Für den isothermen Temperaturkoeffizienten wurde die Natriumtemperatur schrittweise erhöht und der dadurch eintretende Reaktivitätsverlust mit dem Reaktivitätsmeter gemessen. Zur Messung der negativen Voidkoeffizienten war, ausgehend vom Betriebsspiegel, das Natrium schrittweise in den Abblatztank zu entleeren. Diese Resultate für die Koeffizienten standen ebenfalls im Einklang mit vorausgerechneten Werten; nur ein Durchflußkoeffizient konnte anfangs nicht eingeordnet werden.¹³⁵

Der Leistungsbetrieb

Nach einem mehrwöchigen Hochtemperaturreinigungsbetrieb bei 400 °C stand die Anlage Anfang 1978 zum Leistungsbetrieb bereit; es dauerte indes noch bis Ende

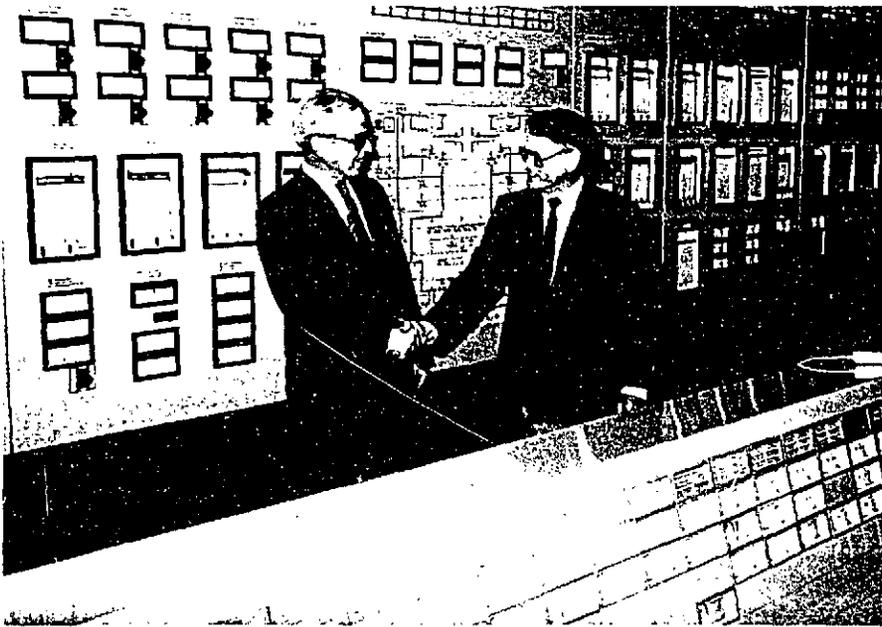
März, bis die atomrechtliche Genehmigung für den Betrieb bei maximal 40 % der Nennleistung erteilt wurde. In kleinen, vorgegebenen Schritten steigerte man die Reaktorleistung, baute die volle Aufwärmspanne von 160 °C über den Reaktorkern auf, und bereits einen Monat später produzierte die KNK II Strom und konnte über mehrere Wochen hinweg problemlos an das Verbundnetz des Badenwerks geschaltet werden.^{136, 137}

Im August 1978 erlangte man die dritte Teilbetriebsgenehmigung, welche den Betrieb bis 100 % Nennleistung abdeckte. Die Leistungssteigerung war nun fast schon Routine - aber bei 60 % der Nennlast passierte ein unvorhergesehenes Ereignis: die Anlage wurde durch einen nicht geplanten Schnellschluß über den Grenzwert "negative Reaktivität hoch" automatisch abgeschaltet. Dieser Grenzwert war auf - 7,3 cent eingestellt und wurde im ersten und zweiten Sicherheitssystem durch je drei Reaktimeter überwacht. Dahinter stand im Rahmen der KNK II-Sicherheitsphilosophie die Absicherung gegen Kühlflußstörungen und die Detektion von Siedevorgängen.

Diese Scrams wiederholten sich mehrfach und waren Anlaß zu umfassenden Überlegungen und Aktionen bei allen drei Vertragspartnern. Sie werden im nächsten Abschnitt ausführlicher beschrieben.

Man konnte relativ bald ausschließen, daß es sich um Siedevorgänge mit Blasenbildung im Kern handelte. Stattdessen tippten die Experten - richtig - auf mitgerissene Blasen des Schutzgases Argon, welche beim Durchlauf durch das Core negative Reaktivitätssprünge verursachten. Nachdem man als Hauptursache eine Entgasungsleitung erkannt hatte und korrigierende Vorkehrungen traf, konnte die KNK II wieder angefahren und auch im Leistungsbereich über 60 % in Betrieb gehalten werden. So erreichte man am 3. März 1979 zum ersten Mal Vollast und am 6. November 1980 wurde die Anlage - nach Bereinigung des Gasblasenproblems - von der Interatom an die KfK übergeben, die ihrerseits die KBG eigenverantwortlich mit dem Betrieb beauftragte.

Der erste Schnelle Brüterreaktor in der Bundesrepublik Deutschland war in Betrieb gegangen.



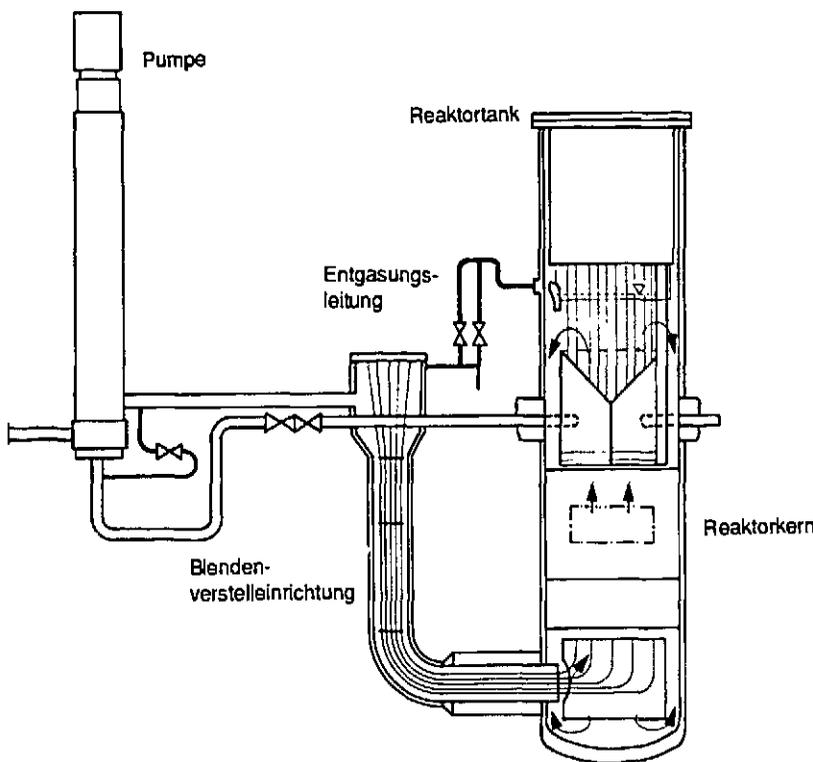
Übergabe der KNK
in der Schaltwarte
(von links):
Dr. Mausbeck (Interatom)
Autor (KfK)

3.1.2 Probleme mit Gasblasen

Die Gasblasendurchläufe bei KNK II waren ein außerordentlich medienwirksames Ereignis. Die ARD-Tagesschau meldete am 16. Januar 1979, daß die KNK II "im Dezember vorübergehend ausgefallen" sei, der FDP-Bundestagsabgeordnete Hölscher richtete gar eine wohlpublizierte Anfrage an die Bundesregierung "wegen schwerwiegender Störungen an dem Versuchsreaktor KNK II sowie unkontrollierbaren Veränderungen der Kritikalität", und der unermüdliche Brüterkritiker Kurt Rudzinski widmete schließlich diesem Ereignis in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung einen langen Artikel unter der Überschrift "Der Störfall am Brüter-Versuchsreaktor Karlsruhe".¹³⁸

Woher dieses plötzliche Interesse der Kernenergiekritiker und der mit ihnen verbundenen Journalisten rührte, war wohl klar: im fernen Bonn beschäftigte sich die besagte Enquête-Kommission gerade mit den auslösenden Ereignissen für eine mögliche Kernschmelze beim Brüter, und in dieses Szenario paßten die Gasblasen der KNK II haargenau hinein. Übertragen auf den größeren SNR 300 hätten sie dort nämlich zu positiven Reaktivitätssprüngen und damit nicht zu gefahrlosen Abschaltungen - wie bei der KNK II - sondern zu Leistungssteigerungen und eventuellem Schmelzen der Brennelemente geführt. Dr. Helmut Hübel, der anerkannte Sicherheitsexperte bei Interatom, führte diese Mutmaßungen zwar ad absurdum, u.a. durch Verweis auf die relativ kleine Gasmenge und den bei SNR 300 eingebauten Gasblasenabscheider, aber wie üblich: "semper aliquid haeret".¹³⁹

Es gab also sowohl betriebliche als auch politische Gründe genug, das Gasblasenproblem in den Griff zu bekommen. Dies geschah auch in den Jahren zwischen 1978 und 1980 durch eine überaus engagierte Zusammenarbeit der Institute des KfK (insbes. INR, IMF und IRE), des Betreibers KBG und vor allem der Herstellerfirma Interatom. Dr. Höchel koordinierte dabei die vielfältigen Untersuchungen bei seiner Firma und machte sich das Problem zu eigen. Über die genannten zwei Jahre hinweg stand der Tagesordnungspunkt "Gasblasen" im Mittelpunkt aller Projektbesprechungen und wurde dort ständig in all seinen Verästelungen diskutiert. Die Projektdokumentation zu diesem Vorfall umfaßt mehrere laufende Meter Leitzordner. In realiter war die Aufgabe allerdings deshalb so schwierig, weil sich die Vorgänge im Kernbereich eines betriebenen Reaktors abspielten, zu dem man sich aus Strahlenschutzgründen natürlich nur begrenzten Zugang verschaffen konnte.¹⁴⁰



Querschnitt durch KNK II-Primärsystem

Als mögliche Ursachen für die Reaktivitätsänderungen konnte man radiale Core-schwingungen, Aufschwimmen von Brennelementen und Oszillation von Absorbieren sehr bald ausschließen.^{141,142} Es zeigte sich stattdessen, daß über eine Entgasungsleitung für die Altanlage KNK I Argon aus dem Schutzgasraum in das Primärsystem transportiert wurde. Als man dies durch Abdrosseln verhinderte, sank der Gaseintrag auf etwa 1 % der ursprünglichen Menge. Die verbleibenden Quellen waren nur noch die Plena der Primärnatriumpumpen.¹⁴³

Weiterhin wurde festgestellt, daß sich das mitgeführte Gas an bestimmten Stellen eine gewisse Zeit lang sammeln konnte. Infrage kamen die Schieberköpfe, die Blendenverstellereinrichtung und möglicherweise die internen Natriumplena. Es lief dann schwall-

artig durch den Kern, wenn sich dieser Gasspeicher sporadisch entleerte. Dadurch wurden negative Reaktivitätseffekte hervorgerufen, die, von dem sehr empfindlich eingestellten Reaktorschutzsystem registriert, zu Schnellabschaltungen führten. Als viele Versuche mit künstlichen Gaszugaben zum Primärnatrium diese Annahme zur Sicherheit werden ließen, überlegte man sich Wege zur gefahrlosen Entladung dieser Speicher. Hierzu boten sich Drallabscheider im Bereich der sogenannten Gitterplatteneinsätze unterhalb des Kerns an. Diese sollten die im Speicher freigesetzten Argonblasen so weiterleiten, daß sie nicht durch den aktiven Kernbereich, sondern vielmehr durch die reaktivitätsunwirksame Reflektorzone strömen mußten.^{144,145}

Das war die Lösung! In aufwendigen Luft- und Wasserversuchsständen bei Interatom wurde die Wirkungsweise dieser Gasabscheider ausgetestet.^{146,147} Als sie dann, zusammen mit dem Zweitkern der KNK II, eingebaut wurden, war die Maßnahme ein voller Erfolg. Zusammen mit bestimmten Änderungen in der Instrumentierung der KNK II (Reaktimeter!) hatte man das Gasblasenproblem betriebsgerecht gelöst, und auch für die Öffentlichkeit gab es in der Folge kein Thema mehr ab.

3.1.3 100.000 MWd/t Abbrand erreicht

Kehren wir zurück zur Betriebsgeschichte des Erstkerns bei KNK II.

Nachdem man für das Gasblasenproblem eine Lösung gefunden hatte, mit der man aus betrieblicher Sicht leben konnte, nahm die Bestrahlung der Testzone und der Treiberzone ihren Fortgang. Aber schon kurze Zeit nach Erreichen des Vollastbetriebs, im April 1979, registrierte man ein plötzliches Ansteigen der Xenon-Aktivität im Schutzgas. Alle Anzeichen deuteten auf einen Brennelement-Hüllrohrschaden hin, dem ersten bei KNK überhaupt, da es bekanntlich bei der Altanlage KNK I kein Vorkommnis dieser Art gegeben hatte. Für die Ortung defekter Brennelemente im Kernverband lagen damals noch keine Erfahrungen vor, und so entschloß man sich zu Einzeltests in der Wechselmaschine. Nach etwa 3 Wochen hatte man das defekte Element identifiziert; es handelte sich um ein spezielles Versuchselement, welches mangels Reserve durch ein normales Testzonenelement ersetzt werden mußte.¹⁴⁸

Als etwa ein Jahr später, im Mai 1980, ein weiteres Brennelement defekt wurde - beides waren erkennbar Frühschäden -, zeigte man sich schon mutiger. Man beließ das Element als sogenannten Gas-Leaker noch einige Monate im Core, bis mit dem DND-

System die Emission verzögerter Neutronen feststellbar war. Auch die weitere Schadensentwicklung verfolgte man noch über 18 Tage, wobei die KNK II mit Teillast und Schiefast gefahren wurde. Durch diesen Betrieb gewann man wichtige Erkenntnisse für die Lokalisierung defekter Brennelemente, die insbes. für den Zweitkern der KNK II von Wert waren, weil es dort erheblich mehr Hüllschäden gab. Daneben wurden Erfahrungen über den Austrag von Brennstoff in das Natrium gewonnen, die von hohem internationalen Interesse waren, vor allem im Austausch mit Japan.^{149, 150}

Im August 1981 war ein wichtiger Meilenstein erreicht: 5 UO_2 -/ PuO_2 -Brennelemente der Testzone mit über tausend Brennstäben hatten nach 255 Volllasttagen den vertraglich erstrebten Zielabbrand von 60.000 MWd/t erreicht. Dieses Ergebnis war auch für die Kollegen beim Projekt SNR 300 von Bedeutung, denn die Auslegung der Brennelemente beider Reaktoren war sehr ähnlich. Wegen vorhandener Reaktivitätsreserven beantragte man bei der Genehmigungsbehörde eine sog. Standzeitverlängerung, also eine erweiterte Betriebsgenehmigung, die auch bis 355 Volllasttage (VLT) gewährt wurde. Als man Ende 1981 310 VLT erreicht hatte, wurde ein weiterer Antrag auf 400 VLT gestellt und ebenfalls von der Behörde bewilligt.

Am 30. August 1982 war es soweit: die 400 VLT waren, ohne weitere Hüllrohrschäden, erreicht. In der Testzone hatte man einen lokalen Spitzenabbrand von 100.000 MWd/t erzielt, entsprechend einem Mittel von 66.100 MWd/t. Die Erzielung jener geradzahli-

gen Abbrandmarke war ein ungeheuer beflügelndes Ereignis für alle Beteiligten am KNK II-Projekt. Man hatte die eigenen Vorgaben bei weitem übertroffen und konnte sich auch international sehen lassen. Am französischen Phénix hatte man damals 90.000, am japanischen JOYO gerade 50.000 MWd/t erreicht. Bezogen auf den SNR 300 hatte man dessen vertraglichen Zielabbrand um volle 20 % übertroffen. In der Presse wurde der Abbrandrekord bei KNK II stark beachtet, was in vielen Artikeln und Meldungen zum Ausdruck kam.^{151, 152}



Deckblatt des KNK-Kalenders

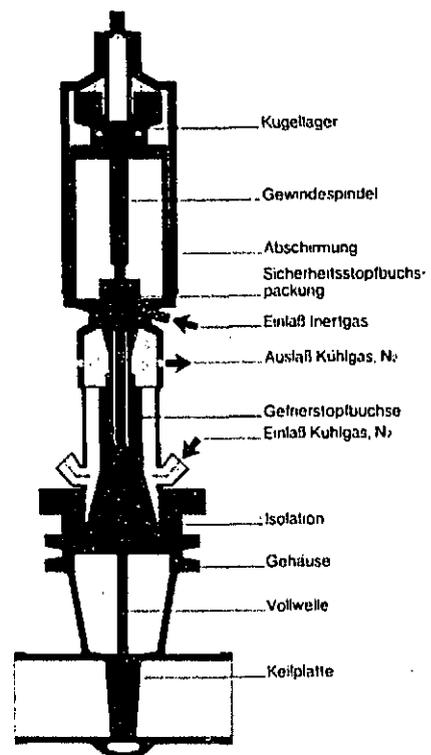
Die Projektleitung nahm dieses Ereignis zum Anlaß, einen Kalender für das darauffolgende Jahr 1983 entwerfen zu lassen mit künstlerischen Litho-

grafien aus dem KNK-Bereich. Dieser Kalender wurde ein voller Erfolg; die mit seiner Beschaffung verbundenen Umstände werden den daran Beteiligten in steter Erinnerung bleiben.

3.1.4 Zuverlässige Komponenten

1982 lagen für KNK I und KNK II zusammengenommen etwa 10 Jahre Betriebserfahrungen vor. Dies galt insbes. für die Komponenten der Natriumkreisläufe, welche, ungeachtet etwaiger Reaktorstillstände fast dauernd in Betrieb waren. So hatten beispielsweise die Natriumhauptpumpen und Zwischenwärmetauscher 84.000 Betriebsstunden erreicht, waren sie doch seit Übernahme des Natriums fast ständig gelaufen. Wesentliche Mängel oder Schäden gab es nicht zu verzeichnen. Gleiches konnte man von den Dampferzeugern sagen, die 19.000 Stunden in Betrieb waren. Lediglich im Jahr 1972 war, wie bereits berichtet, im Rahmen des KNK I-Betriebes an einer Schweißpore eine Undichtigkeit aufgetreten, offensichtlich ein Herstellungsfehler. In der Folge kam es zu keinen weiteren Natrium-Wasser-Reaktionen, übrigens bis zum Ende des Projekts 1991. Auch weitere wichtige Komponenten, wie die Kühlfallen zur Reinigung des Natriums, arbeiteten ohne Ausfälle. Demgegenüber war es bei den elektromagnetischen Förderpumpen mehrmals erforderlich, die Pumpenrohre auszuwechseln, da sich Kleinleckagen gebildet hatten.¹⁵³

Maßgeblich für das gute Funktionieren der Komponenten war sicherlich auch die regelmäßige vorsorgliche Wartung im Rahmen der jährlichen Revisions- und Reparaturphase. Sie fand üblicherweise im Herbst statt und beanspruchte die Mannschaft der KBG unter der Leitung von Erich Zimmermann über 4 Wochen hinweg, gelegentlich sogar länger.¹⁵⁴ Parallel dazu erfolgte die penible statistische Erfassung aller Wartungs- und Reparaturarbeiten unter Mithilfe des



Natrium-Absperrschieber mit Gefrierstopfbuchse

penible statistische Erfassung aller Wartungs- und Reparaturarbeiten unter Mithilfe des

Prozeßrechners.¹⁵⁵ Diese Zuverlässigkeitsdaten flossen, in Zusammenarbeit mit Interatom, auch in Risikoanalysen für wichtige Sicherheitssysteme, etwa beim SNR 300, ein oder gaben Anregung zur Verbesserung der Auslegung bei Ersatzbeschaffungen. Für einige hundert Komponenten wurden so die Mittelwerte für die fehlerfreie Einsatzzeit, Reparaturzeit, Unverfügbarkeitszeit etc. ermittelt und bei den Zuverlässigkeitsanalysen berücksichtigt.¹⁵⁶

Alle wiederkehrenden Prüfungen waren bezüglich Art, Umfang, Frist etc. im Prüfhandbuch aufgelistet; daneben gab es ausführliche Anweisungen und Schrittprogramme. Zusätzliche Sonderprüfungen waren bereits in der Umbauphase durchgeführt worden, insbes. am Tank und an den Primärleitungssystemen. Sie setzten sich meist aus Druck- und Dichtigkeitsprüfungen sowie inneren und äußeren Inspektionen zusammen. Die Druckprobe erfolgte im Primärnatriumsystem beim 1,1 fachen Auslegungswert, also bei 13,1 bar mit 30 Minuten Haltezeit. Innenbesichtigungen wurden u.a. am Reaktortank durchgeführt; unter Zuhilfenahme von Endoskopen untersuchte man auch die Spalte zwischen Tank und Drehdeckel, welche bekanntlich etwas anfällig für Verblockungen durch Natriumaerosole waren.^{157,158}

3.2 Die Schließung des Brennstoffkreislaufs

3.2.1 Wiederaufarbeitung und Rezyklierung des Brennstoffs

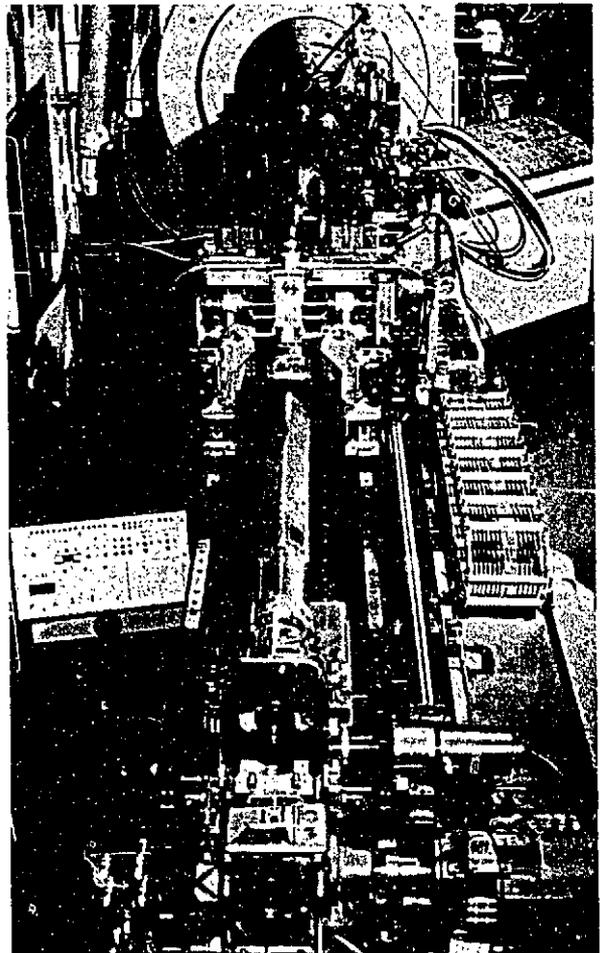
Des einen Leid ist des anderen Freud.

Dieser Spruch galt auch für den Betrieb der KNK II mit dem Erstkern. Das vorzeitige Defektwerden eines Mischoxidbrennelements bei dem bescheidenen Abbrand von 17.500 MWd/t konnte sicherlich nicht den Betreiber KBG erfreuen - und noch viel weniger den Hersteller Belgonucléaire, welcher dieses Element zum Zwecke der Bestrahlung der KfK kostenlos beigestellt hatte. Gleichzeitig war es aber der Anlaß zu vielfältigen praktischen und theoretischen Aktivitäten im Rahmen des äußeren Brennstoffkreislaufs, welche im folgenden beschrieben werden sollen.¹⁵⁹

Die Zerlegung in Brennstäbe

Das defekte Brennelement mit der Bezeichnung NY 208 BN - später kam noch ein zweites hinzu, mit 48.000 MWd/t Abbrand - wurde nach 17 Monaten Abklingzeit dem Natriumlager entnommen und innerhalb der Wechselmaschine etwa eine halbe Stunde mit Argon angeblasen. Die weitere Reinigung in der Waschanlage unterblieb bewußt, weil man den Defekt in seiner ursprünglichen Form erhalten und den Austritt von Brennstoff vermeiden wollte. Mit der sogenannten Brennelement-Transportflasche wurde das Element zu den benachbarten Heißen Zellen (HZ) gebracht. Nach 15 Jahren Erfahrung mit dem Zerlegen von Kleinbündeln aus den Reaktoren FR2, MZFR und KNK I war es dort das erste Brennelement mit einer Stabzahl von über 200.^{160, 161}

Man war bei HZ darauf eingerichtet, durch den vorsorglichen Bau einer 5 Meter langen Zerlegevorrichtung, welche 2 der 3 Arbeitsplätze der Eingangszelle in Anspruch nahmen. Zunächst zog man dem Element den Hüllkasten ab, wozu die verhältnismäßig große Kraft von 7.500 Newton erforderlich war, weil das noch anhaftende Restnatrium eine beträchtliche Klebewirkung entfaltete. Sodann bohrte man die Verschraubungen in der Stabhalteplatte ab und konnte dadurch ohne größere Kraftaufbringung die Einzelstäbe aus ihrem Verband lösen. Die Zeitdauer für die Zerlegung der KNK II-Brennelemente verringerte sich später immer mehr: waren anfangs noch mehrere Wochen nötig, so reduzierte sich die Demontagezeit beim zweiten Defektelement bereits auf 110 Stunden, und für das dritte (intakte) Brennelement im Jahr 1983 waren gar nur noch 40 Stunden erforderlich.^{162, 163}



Vielzweckeinrichtung zur Brennelementuntersuchung und -zerlegung in den Heißen Zellen der KfK

Die Suche nach Defekten

Nach der Vereinzelung des Brennelementbündels suchte man den vermuteten Defekt durch visuelle Inspektion der Brennstäbe zu entdecken, was aber keinen Erfolg hatte. Stattdessen entdeckte man überraschend eine Vielzahl von Reibmarken in der Höhe der Noppen der Abstandshalter. Metallografische Untersuchungen ergaben Materialabtragungen bis zu einer Tiefe von maximal $80\ \mu\text{m}$; da die Wandstärke des Hüllrohrs immerhin $350\ \mu\text{m}$ betrug, konnte das Spaltgasleck aus diesen Reibmarken nicht resultieren. Als Ursache für die Abtragungen wurden später oszillatorische Bewegungen der Brennstäbe erkannt, welche in der Höhe des 3. Abstandshalters besonders stark waren.

Auch beim Lecktest im Silikonölbad konnte der defekte Stab nicht gefunden werden. Die Identifikation brachte dann aber die Gewichtsmessung: ein Stab war um fast 5 Gramm schwerer als die restlichen, und diese Zunahme konnte nur über eingedrungenes Natrium via Defektort erklärt werden. Eine neue Methode zur Erkennung von BE-Defekten war entdeckt worden. Nun galt es noch, den genauen Ort des Defekts am Brennstab zu finden. Auch dies gelang durch einen sogenannten sipping-Test bei höherer Temperatur, bei dem Natrium austrat. Der Defekt war lokalisiert: es war ein haarfeiner Riß des Hüllrohrs über etwa ein Viertel des Umfangs. Beim zweiten Defektelement, welches bekanntlich über mehr als zwei Wochen im Reaktor noch weiterbetrieben worden war, brauchte man nach der Schadensursache nicht lange zu suchen. Der etwa 30 mm lange Längsriß lag über eine Fläche von ca. $20\ \text{mm}^2$ offen zutage und konnte mit dem bloßen Auge erkannt werden.¹⁶⁴

Die Auflösung des Brennstoffs

Mit neuen, aber unangenehmen Erkenntnissen waren die Auflöserversuche am bestrahlten Brennstoff in den Heißen Zellen der KfK verbunden. Vor der geplanten Wiederaufarbeitung der BE-Bündel wurden kurze Brennstababschnitte nach Entfernen der Hülle in Salpetersäure gegeben und dort bei Siedehitze etwa sechs Stunden aufgelöst. Zur großen Überraschung löste sich der Brennstoff aber nur partiell auf, es blieb ein fester Rückstand von ca. 14 %, bezogen auf das Mischoxid, übrig. Variationen der Säuremolarität sowie der Einwirkungsdauer änderten daran nur wenig.^{165,166}

Weitere Auflöserversuche führten zu der bedeutsamen Erkenntnis, daß das Herstellungsverfahren der Brennstofftabletten für die hohen Rückstände verantwortlich war. Beim damaligen Standardverfahren der Firma Alkem wurden UO_2 und PuO_2 noch mechanisch vermischt, was nach dem Pressen und Sintern offensichtlich keine hinreichende Mischkristallbildung ergab. Die Homogenität des Brennstoffs war aber entscheidend für seine Auflösbarkeit, wie eine Vielzahl nachfolgender Untersuchungen ergab. Sie wurde z.B. positiv beeinflusst durch hohe Stabileistungen, weil dadurch mehr Diffusionsprozesse stattfinden konnten. Dem wirkte allerdings eine radiale U/Pu-Entmischung des Brennstoffs entgegen, insbesondere bei PuO_2 -Konzentrationen über 35 %. Da höhere Brennstoffverluste im Brüterkreislauf unter allen Umständen vermieden werden mußten, war die Entwicklung eines verbesserten Herstellungsverfahrens für Brütermischoxid unbedingt geboten. Hiervon wird im übernächsten Abschnitt berichtet werden.

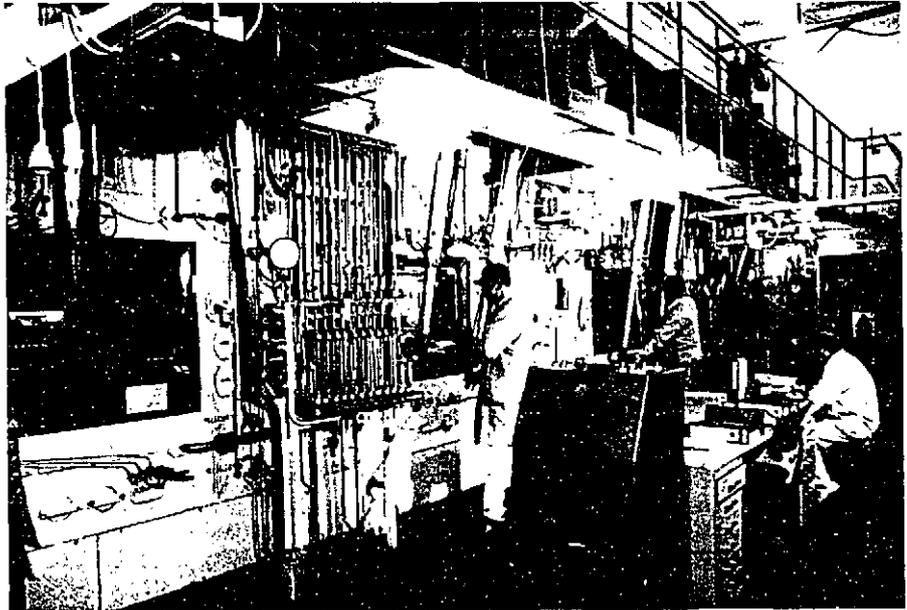
Die Wiederaufarbeitung des Brennstoffs

In der Pilotanlage MILLI des Instituts für Heiße Chemie (IHCh) erfolgte die Wiederaufarbeitung der von KNK II zur Verfügung gestellten Brennelemente. MILLI arbeitete nach dem sogenannten PUREX-Verfahren auf der Basis von Flüssig-Flüssig-Extraktion und war auf einen Durchsatz von ca. 1 kg Brennstoff pro Tag ausgelegt. In der Regel erfolgte die Abtrennung von Uran, Plutonium und den Spaltprodukten über drei Extraktionszyklen, die nachstehend kurz beschrieben werden sollen.¹⁶⁷

Die Auflösung des Brennstoffs führte natürlich zu ähnlich hohen Anteilen an unlöslichen Rückständen, wie bereits beschrieben. Da die MILLI aber in allen Betriebsteilen und Prozeßphasen kritikalitätssicher ausgelegt war, ergaben sich daraus keine Sicherheitsprobleme. Der 1. Extraktionszyklus, auch Kodekontaminationszyklus genannt, zielte auf die Abtrennung der Spaltprodukte von Uran und Plutonium. Am Ende waren die besonders gravierenden Spaltprodukte Zirkon 95 sowie Ruthen 106 noch mit 0,4 % in der U/Pu-Lösung enthalten, alle anderen mit deutlich geringerem Anteil. Die Plutoniumkonzentration von etwa 1 mg/l am Auslauf der wässrigen Lösung bedeutete einen Verlust in den "waste" von weniger als 0,01 %.

Im 2. Zyklus wurden sodann Uran und Plutonium getrennt, sowie die Spaltprodukte weiter reduziert. Der

3. Extraktionszyklus diente der sogenannten Feinreinigung des Uranproduktes. Die Spaltprodukte Zr 95 und Ru 106 waren inzwischen auf 10^{-5} abgesunken, die Dekontaminationsfaktoren der übrigen Spaltprodukte lagen sogar noch besser. Rückblickend kann gesagt werden, daß die Wiederaufarbeitung der



Die Pilot-Wiederaufarbeitung MILLI II bei KIK/IHCh

KNK II-Brennelemente in der MILLI ohne Probleme verlief. Später optimierte das Institut für Heiße Chemie den Trennprozeß weiter, so daß man - unter Verwendung elektrochemischer Methoden - mit einem einzigen Extraktionszyklus auskam. Dieses für die Wirtschaftlichkeit der Wiederaufarbeitung bedeutsame Ergebnis wurde international stark beachtet.¹⁶⁸

Rezyklierung und Refabrikation des Brennstoffs

Das in der MILLI gewonnene Uranyl- und Plutoniumnitrat wurde anschließend nach Hanau transportiert, um bei der dortigen Firma Alkem zu Mischoxidbrennstäben weiterverarbeitet zu werden. Wegen der unbefriedigenden Auflösungsergebnisse beschloß man, vom bisherigen mechanischen Verfahren der Brennstoffherstellung abzugehen. Um einen homogenen Mischkristall zu erzielen, bot sich die Mischung der Uranyl- und Plutoniumnitratlösungen (im Verhältnis 75 : 25) an. Ein ähnliches Verfahren, allerdings nur für Uran, war bei der Schwesterfirma RBU bereits seit Jahren in Gebrauch und erlaubte die problemlose Fertigung von UO_2 im Tonnenmaßstab.

Der durch Kofällung als Ammonium-Uranyl-Plutonyl-Carbonat und anschließende Kalzierung gewonnene Brennstoff zeichnete sich bereits vor der Bestrahlung durch sehr

gute mikroskopische Homogenität und Auflösbarkeit aus. Er wird in der Literatur als AU/PuC-Verfahren bezeichnet. Ein Teil der Brennstofftabletten wurde in ein sogenanntes KNK II-Ringelement für Versuchszwecke eingesetzt, ein anderer Teil für die Fertigung des Drittkerns¹⁶⁹.

Damit war zum ersten Mal in Deutschland der Kreislauf für Schnellbrüterbrennstoff im Kilomaßstab geschlossen worden.

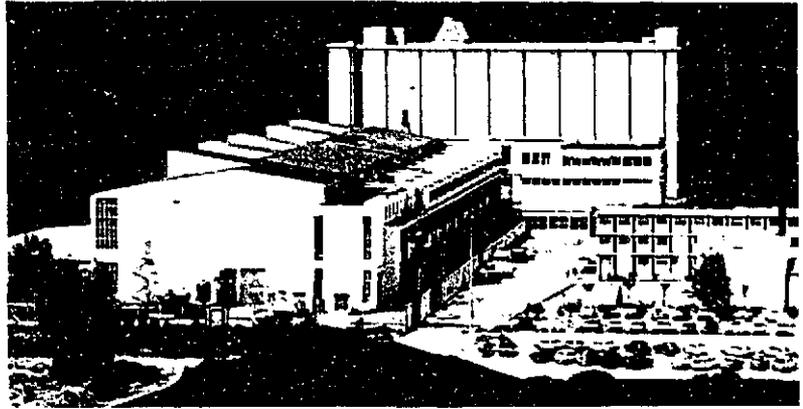
Die Entsorgung der KNK II

Die "Entsorgung" - eine Wortprägung der siebziger Jahre - war natürlich auch für die abgebrannten Kerne der KNK II gefordert. Die entsprechende Vorschrift des § 9a im Atomgesetz wurde zur damaligen Zeit so interpretiert, daß das Kernmaterial aufzuarbeiten und nach Uran, Plutonium und Abfall zu trennen sei. Da die MILLI-Anlage der KfK auf die erforderlichen Durchsätze nicht eingerichtet war, kamen eigentlich nur die MOX-Wiederaufarbeitungsanlagen des französischen CEA in Marcoule und des britischen AEA in Dounreay in Frage. Von beiden Anlagen wurden Angebote eingeholt; am Ende beauftragte man die CEA mit der Aufarbeitung, was durchaus in der Linie der deutsch-französischen Zusammenarbeit auf dem Schnellbrütergebiet lag, welche 1976/77 durch Regierungsabkommen besiegelt worden war¹⁷⁰.

Die Anlage in Marcoule, nahe den berühmten Weinbergen von Chateauf-du-Pape gelegen, bestand im wesentlichen aus dem bereits existierenden Extraktionsteil SAP sowie dem im Bau befindlichen Empfangsteil (head-end) TOR. Die Anlage diente vorzugsweise der Wiederaufarbeitung von MOX-Brennstoff aus den französischen Brüteranlagen Rapsodie und Phénix und war auf eine Gesamtkapazität von insgesamt 47 t ausgelegt. KfK kaufte sich mit 2,44 t für drei Kerne (KNK II/1-3) ein, weshalb in den Verträgen jeweils die relativ krumme Anteilzahl 2,44/47 auftaucht.¹⁷¹

Die Vereinbarung mit CEA-Marcoule wurde im Dezember 1980 geschlossen und sah, wie zur damaligen Zeit üblich, die Rückführung aller Brennstoffe und des hochaktiven verglasten Abfalls vor. Die CEA verpflichtete sich auch zur Annahme defekter Brennstäbe in gebüchster Form sowie der MOX-Elemente mit geringerer Auflösbarkeit. Für letztere war die Ausarbeitung eines geänderten Prozeßschemas erforderlich, wozu eingehende Versuche im französischen Forschungszentrum Fontenay-aux-Roses gemacht wurden, allerdings mit geringem Erfolg.

Anfangs wollten die Franzosen nur Brennstäbe, also keine Bündel annehmen, weshalb bei der KfK umfangreiche Vorkehrungen zur Zerlegung der Brennelemente in den Heißen Zellen getroffen werden mußten. Vorher waren die Elemente noch zu waschen und danach in



Französische Wiederaufarbeitungsanlage TOR - SAP in Marcoule

einer eigens entwickelten Station einzubüchsen. Die Erlangung der atomrechtlichen Genehmigung zur Handhabung von ca. 70 kg Plutonium in den Heissen Zellen gestaltete sich in der Folgezeit aber immer schwieriger, und kostenträchtige Auflagen zur inneren und äußeren Sicherheit der Anlage waren abzusehen. Deshalb verzichtete man schließlich auf die Zerlegung der KNK II-Brennelemente im Kernforschungszentrum und schloß mit CEA später einen weiteren Vertrag ab, der die Anlieferung ganzer Bündel gestattete.

3.2.2 KNK II-Studien zum externen Brennstoffkreislauf

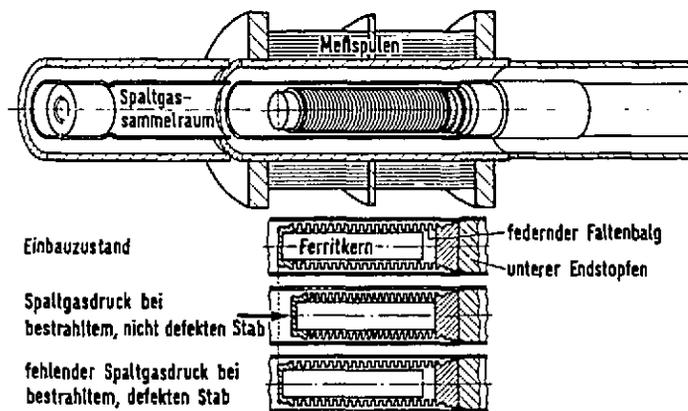
Im Gefolge des KNK II-Betriebs kamen auch eine Menge Ideen zu den einzelnen Stationen des externen Brennstoffkreislaufs auf. Sie wurden im Rahmen eines Seminars im Oktober 1981 im Kernforschungszentrum vorgetragen und zeugten von einer engen Zusammenarbeit der Institute des KfK mit seinen industriellen Partnern.^{172, 173} So identifizierte man etwa ein halbes Dutzend Methoden zur Natriumentfernung bei Brennelementen, die in ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen gegeneinander gestellt wurden.¹⁷⁴ Die Zerlegung von Brennelementen war ein weiteres Thema der technischen und wirtschaftlichen Optimierung, insbesondere bei zu erwartenden abbrandbedingten Elementverbiegungen. Desweiteren beschäftigte der Entwurf von wirtschaftlichen Transportbehältern, welche den technischen Spezifikationen von KNK II-Brennelementen genügten, die Hauptabteilung Ingenieurtechnik (IT) des KfK.¹⁷⁵

Einige Projektstudien ragten wegen ihres Umfangs und ihrer Bedeutung besonders heraus und seien deshalb im folgenden kurz beschrieben.

Die Reparatur von Brüterbrennelementen

Der KNK II-Betrieb hatte bislang gezeigt, daß in einem Brennelementbündel meist nur ein einziger Brennstab defekt wurde; es bestand also ein wirtschaftlicher Anreiz, nur diesen einen defekten Stab zu lokalisieren und auszuwechseln, anstatt das ganze Bündel zu entsorgen. Hierzu entwickelte das KfK-Institut IMF III eine Reihe von Ideen. Demnach sollten die Brennelemente zukünftig so konstruiert sein, daß das Stabbündel von unten her zugänglich war, mit den Einrichtungen der Heissen Zelle demontiert und nach Auswechseln des Defektstabs wieder assembliert werden konnte.¹⁷⁶

Ein Problempunkt war zweifellos die sichere Detektion des schadhafte Brennstabs. Hierzu sollte in jeden Brennstab eine kleine Druckmeßdose eingebracht werden, welche in der Lage war, den Spaltgasinnendruck zu registrieren. Wesentlicher Bestandteil



Detektion defekter Brennstäbe
(Prinzipanordnung)

dieser Meßeinrichtung war ein Ferritkern innerhalb eines Faltenbalgs; er wurde um eine Wegstrecke verschoben, falls infolge eines Hüllschadens der Druck im Spaltgasraum abgefallen wäre. Die Lage des Ferritmeßkerns sollte durch induktive Wegmessung mit Drosselspulen bestimmt werden. Für den Drittkern der KNK II wurde ein Element mit diesen Meßdosen

ausgestattet; es kam leider nicht mehr zum Einsatz, da die KNK II vorzeitig abgeschaltet wurde.

Die Zwischenlagerung von Brennelementen

Auch über die Zwischenlagerung von Brüterbrennelementen auf dem Gelände des Kernforschungszentrums machte man sich ausführlich Gedanken. Drei Lagervarianten, nämlich Naßlager, Trockenlager und Behälterlager wurden durch drei verschiedene Gruppen getrennt untersucht und schließlich gegeneinander gestellt. Jedes Lager sollte in der Lage sein, 10 Kernladungen der KNK II aufzunehmen; gefordert waren u.a. die technische Auslegung, der Nachweis der Genehmigungsfähigkeit und natürlich die voraussichtlichen Kosten.

Das Naßlager war ein konventionelles Beckenlager mit Leichtwasserkühlung, allerdings mit Vorkehrungen gegen Flugzeugabsturz und Druckwellen.¹⁷⁷ Die Brennelemente sollten schutzgasbeaufschlagt in Büchsen unter Wasser gelagert werden. Das Trockenlager sah ein bunkerartiges, gegen Einwirkungen von außen ("EVA") geschütztes Gebäude vor, in welchem die Brennelemente, ebenfalls gebüchset, aufgehängt sein sollten.¹⁷⁸ Die Abfuhr der Nachwärme sollte mit atmosphärischer Luft nach dem Prinzip der freien Konvektion erfolgen. Das Kühlsystem wurde als selbstregulierend und inhärent sicher beschrieben. Eine weitere Variante stellte die Trockenlagerung in Transport-Lagerbehältern dar, wie sie auch bei Leichtwasserreaktoren Verwendung finden. Behälter mit Typ B-Zulassung und Lagerqualifikation sollten in einer leichten Halle untergebracht werden, die nur Witterungs- und Strahlenschutzfunktion hatte.¹⁷⁹

Der abschließende Vergleich ergab für das Naßlager gewisse Vorteile, weil es auf einer erprobten Technik basierte. Daneben bot es die Möglichkeit zur Zerlegung der Brennelemente unter Wasser.¹⁸⁰ Das Trockenlager war die kompakteste Einheit und dementsprechend am kostengünstigsten. Ein gewisses Risiko wurde in der Fernbedienungstechnik im Störfall gesehen. Das Behälterlager war die flexibelste Variante hinsichtlich Aufbau, Erweiterung und Stilllegung. Es hatte eine kurze Errichtungszeit und bot zudem den Vorteil, daß die Investitionskosten erst nach und nach anfielen. Im Falle der Realisierung hätte man sich aus wirtschaftlichen und genehmigungstechnischen Gründen wohl für das Behälterlager entschieden.¹⁸¹

Die Wiederaufarbeitungsanlage MILLI II

Eine weitere bedeutsame Arbeit war die Studie zur Pilot-Wiederaufarbeitungsanlage MILLI II. Wie schon der Name zum Ausdruck brachte, sollte es sich um ein Nachfolge-

projekt der erfolgreichen Labor-Wiederaufarbeitungsanlage MILLI handeln. MILLI II war für einen Durchsatz von 50 kg Schwermetall (U + Pu) pro Tag ausgelegt. Damit hätte man KNK II und SNR 300 bedienen können, außerdem wäre noch eine gewisse Reserve für ausländische Kunden verblieben.¹⁸²

Das Blockschema der Anlage umfaßte das Eingangslager mit Zerlegung, Zerkleinerung und Auflösung, den Extraktionsbereich sowie das Produktlager. Hinzu kamen noch Einrichtungen zur Abgasbehandlung sowie die üblichen Anlagen der Infrastruktur. Die zentrale Aufarbeitung sollte einem dreizyklischen PUREX-Prozeß folgen. Die oben genannte Anlagenleistung orientierte sich am Mindestdurchsatz der verwendeten Pulskolonnen. Außerdem sollten insbesondere die im KfK entwickelten Verfahrensschritte zur Abfallminimierung erprobt werden, wie das salzarme Verfahren und das Electro-Redox-Verfahren. Auch die Demonstration des Zentrifugalextraktors war ein Ziel. Zur Wartung und Reparatur sollte die Fernbedienungs-Wechseltechnik Verwendung finden, wofür im KfK eine Menge an Entwicklungsarbeit geleistet worden war.

Die Wirren um die beiden Projekte Kalkar und Wackersdorf haben leider auch der Idee MILLI II die weitere Beachtung versagt.

4 Der Betrieb mit dem Zweitkern KNK II

4.1 Neue Brennelemente für Kalkar

Mit dem Betriebsverhalten der Brennelemente für den Erstkern der KNK II konnte man außerordentlich zufrieden sein. Sie hatten den vertraglich avisierten Zielabbrand von 60.000 MWd/t nicht nur erreicht, sondern sogar beträchtlich überschritten. Nur zwei Brennstäbe aus mehr als tausend waren undicht geworden; sie waren ihrerseits der Anlaß zu umfangreichen F+E-Aktivitäten auf dem Gebiet des Brennstoffkreislaufs. Auch die damals noch neue Erkenntnis, daß freiliegender Brennstoff mit Natrium keine heftige exotherme Reaktion eingeht und der Austrag von Brennstoff in das Kühlmedium unter normalen Umständen nicht zu erwarten ist, war diesen beiden Defektstäben zu verdanken. Wäre KNK II ein "normales" Kernkraftwerk gewesen, so hätte der Betreiber als Nachladung sicherlich wieder Brennelemente der gleichen, oder allenfalls mit geringfügig abgeänderten Spezifikationen bestellt.

Aber KNK II war kein normales Kraftwerk.

Erinnern wir uns, daß bei den Verhandlungen mit dem Forschungsministerium Anfang der siebziger Jahre insbesondere folgendes Argument für KNK II im Vordergrund stand und maßgeblich zu seinem Baubeschluß beitrug:

"Die Möglichkeit zur Bestrahlung einer statistisch hinreichend großen Zahl von Brüterbrennstäben in Brennelementen, wie sie für den SNR 300 vorgesehen sind."

KNK II hatte also eine Pfadfinderfunktion für den größeren Bruder in Kalkar zu erfüllen, mit all seinen Chancen - und Risiken.¹⁸³

Und die Anforderungen aus Kalkar kamen zuhauf! Noch während KNK II mit dem Erstkern betrieben wurde, stellte man bei der SBK, dem Betreiberkonsortium für den SNR 300, wirtschaftliche Überlegungen zur Nachladung an. Darin kam man zu der Überzeugung, daß sowohl die Auslegungs - als auch die Fertigungsspezifikationen für die Zweitladung Kalkar grundlegend zu ändern seien, um diese Anlage nach wirtschaftlichen Grundsätzen betreiben zu können. Vor allem wünschte man sich dickere Brennstäbe und eine verbesserte Löslichkeit des Brennstoffs. Diese Forderungen hatten jedoch eine Menge weiterer Spezifikationsänderungen im Gefolge, so daß schließlich die neue Mark II-Auslegung drastisch von der bisherigen erprobten Mark Ia-Auslegung unterschied.^{184, 185}

4.1.1 Auslegung und Fertigung

Ausgangspunkt der Überlegungen waren die Brennstoffzykluskosten für den SNR 300, welche etwa 20 % der gesamten Stromerzeugungskosten ausmachten. Sie setzten sich aus 3 Kostenanteilen zusammen: den Plutoniumkosten (20 %), welche relativ unbeeinflussbar waren, den Kosten für die Fabrikation der Brennelemente (40 %) und denen der Aufarbeitung (40 %). Die beiden letztgenannten galt es zu senken.¹⁸⁶

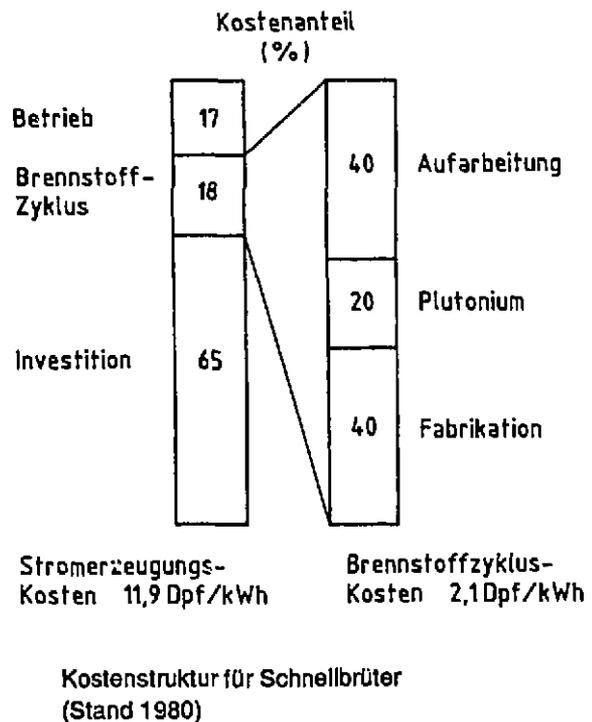
Die Brennstabfertigungskosten für Stäbe von 6 mm Durchmesser waren beträchtlich höher, als in früheren Strategieuntersuchungen angenommen worden war. Neuangestellte Kostenvariationsrechnungen führten zu dem Ergebnis, daß dickere Stäbe die Brennstoffkreislaufkosten signifikant positiv beeinflussen würden. Man legte sich des-

halb für die Nachladung des SNR 300 - und damit für die Zweitbeladung der KNK II - auf einen Brennstabdurchmesser von 7,6 mm fest, wobei man sich gleichzeitig den Spezifikationen für den französischen Phénix-Reaktor näherte. Mit dieser Modifikation beeinflusste man aber auch die Standzeit der Brennelemente im Reaktor. Waren beim Erstkern noch 255 Vollasttage (VLT) vorgesehen, so sollte der Zielabbrand beim Zweitkern erst bei 455 VLT erreicht sein.¹⁸⁷

Auch beim Hüllmaterial für die Brennstäbe vollzog man eine Wende. Waren im Erstkern KNK II noch Austenite der Werkstoffnummern 1.4988, 1.4981 und 1.4970 verschiedenen Behandlungsgrads vereint, z. T. sogar innerhalb eines einzigen Elements, so sollte bei der Nachladung für KNK II und SNR 300 nurmehr der Werkstoff 1.4970 Verwendung finden. Maßgeblich hierfür war sein geringeres Schwellen und Kriechen bei Bestrahlung mit schnellen Neutronen.¹⁸⁸

Auch die Bündelung der Brennstäbe zu Brennelementen war beim Zweitkern verschieden, denn die Brennelemente der KNK II/2 waren wesentlich enger gepackt. Das den Stababstand charakterisierende p/d-Verhältnis, nämlich Stabmittenabstand zu Stabdurchmesser, betrug beim Erstkern noch 1,32 und fiel beim Zweitkern auf 1,16 ab. Die hierfür erforderlichen Abstandshalter wurden wie beim Erstkern nach einem elektrochemischen Erosionsverfahren aus massiven Platten hergestellt und sollten die Einhaltung günstiger Strömungs- und Kühlverhältnisse sichern. Wie der später skizzierte Bestrahlungsverlauf andeutet, ist man bei der engen Packung der Brennstäbe wohl einen Schritt zu weit gegangen.

Die Halterung der funkenerodierten Abstandshalter erfolgte beim Erstkern noch über sechs Strukturstäbe in den Ecken des hexagonalen Bündels. Beim Zweitkern gab man auch diese Version auf und punktete die Abstandshalter an sogenannte Strömungsschürzen, die ihrerseits mit dem Hüllkasten verschweißt waren.



Weitere wichtige Veränderungen betrafen den Brennstoff. War bei KNK II/1 die Brennstoffschmierdichte noch mit 80 % spezifiziert, entsprechend einer Tablettendichte von 86,5 %, so erhöhte man bei KNK II/2 die Schmierdichte auf 85 % (entsprechend 92 % Tablettendichte). Den beim Reaktorbetrieb erzeugten Spaltprodukten wurde also bei dem Zweitkern weniger Platz zugemessen. Warum war man plötzlich so mutig geworden? Der Grund lag in der mittlerweile gewonnenen Erkenntnis, daß Mischoxidbrennstoff bei Temperaturen über 1.400 °C gut plastisch verformbar war und große Porositäten und andere Freiräume deshalb eigentlich nicht erforderlich waren.

Letzteres traf sich auch ganz vorzüglich mit den Wünschen des Brennstoff-Fertigers Alkem. An diese Firma wurde nämlich die Forderung herangetragen, bei den Zweitkernen für KNK II und SNR 300 für eine verbesserte Löslichkeit des Brennstoffs zu sorgen. Es zeigte sich, daß beim Pressen und Sintern "natürlicherweise" Brennstoff höherer Dichte entsteht, wenn die neuen Fertigungsverfahren OKOM und AUPuC zur Anwendung kamen. Und dieser Brennstoff hatte zudem noch die spezifizierte hohe Löslichkeit, weil er a priori ein guter Mischkristall war.¹⁸⁹ Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß auch die Japaner erhebliche Probleme bei der Fertigung von niedrigdichtem MOX-Brennstoff für ihr Prototypkraftwerk MONJU hatten, was zu einem Terminverzug von mehr als einem Jahr führte.

Alkem hatte große Fortschritte bei der Entwicklung neuer Fertigungsverfahren für Brütterbrennstoff gemacht. Je nach Ausgangsmaterial konnte zwischen zwei Verfahren gewählt werden. Lag das Material in Form von Plutoniumoxid vor, so kam das "optimierte Ko-Mahlverfahren", genannt OKOM, zum Einsatz. Dabei wurde die MOX-Pulvermischung so fein aufgemahlen, daß beim nachfolgenden Sinterprozeß eine vollständige Mischkristallbildung und damit volle Löslichkeit erreicht wurde. Das alternative AUPuC-Verfahren verwendete man, wenn flüssiges Plutoniumnitrat als Ausgangsprodukt zur Verfügung stand. Zusammen mit Uranylinitrat wurde dann ein homogener Mischkristall ausgefällt (Ammonium-Uranyl-Plutonyl-Carbonat), der bei nachfolgender Kalzination ein rieselfähiges, volllösliches Mischoxidpulver ergab, das direkt zu Tabletten verarbeitet werden konnte. Bei der Fertigung der Brennstäbe für KNK II/2 kam überwiegend das OKOM-Verfahren zur Anwendung; ein kleiner Teil der Stäbe wurde allerdings mit dem AUPuC-Verfahren hergestellt. Dabei handelte es sich um die bei der MILLI aufgearbeiteten Defektelemente aus dem Erstkern.^{190, 191}

Fassen wir die wesentlichen Spezifikationsänderungen bei KNK II/2 im Vergleich zu KNK II/1 zusammen: der Brennstabdurchmesser wurde erhöht, der Brennstababstand

reduziert, die Abstandshalterung konstruktiv geändert und die Standzeit im Reaktor erhöht. Beim Brennstoff wurden zwei neuartige Herstellungsverfahren angewendet und der wichtige Parameter Tablettendichte verändert.

Die Erfahrungsbasis für diese Vielzahl an Änderungen lag nahe bei Null. Lediglich im französischen Versuchsreaktor Rapsodie hatte man zwischen 1976 und 1978 ein Kleinbündel mit 19 Stäben bestrahlen lassen. Es enthielt zwar Stäbe des Durchmessers 7,6 mm, aber sowohl die Dichte des Brennstoffs als auch sein Herstellungsverfahren entsprachen nicht den neuen Spezifikationsanforderungen; zur Abstandshalterung waren gar nur Wendeldrähte verwendet worden.¹⁹²

Diese Umstände sollte man im Auge behalten, wenn im folgenden von den Betriebserfahrungen mit dem Zweitkern berichtet wird.

4.1.2 Gemischte Betriebserfahrungen

Der Betrieb mit dem Zweitkern der KNK II erstreckte sich von 1983 bis 1991, dem Jahr der endgültigen Abschaltung. Er war reich an Erfahrungen positiver wie negativer Art. Zur letzteren Kategorie gehörten die Probleme mit den Brennelementen sowie den Gestängen der Abschaltvorrichtungen. Über sie wird im nächsten Abschnitt ausführlicher zu berichten sein. Auf die positive Seite des Kontos sind die vielfältigen Ergebnisse und Aktivitäten des Versuchsprogramms zu buchen. KNK II inspirierte während der achtziger Jahre einen großen Teil der Brüterforscher im damaligen Projekt Schneller Brüter (PSB) zu Experimenten am KNK-Reaktor. Auch diesen Tätigkeiten ist ein eigenes Kapitel gewidmet.

Doch zunächst sollen die Betriebserfahrungen mit dem Kern KNK II/2 in geraffter Form und gegliedert nach Kalenderjahren dargestellt werden.^{193, 194, 195}

1983

Ein geschäftiges Jahr! Die Brennelemente des Erstkerns waren aus dem Natriumlager zu entladen und teilweise zur Nachuntersuchung in die Heißen Zellen zu schaffen. Die Lager des Turbogeneratorsatzes wurden nach 18.000 Betriebsstunden überholt und der Tank mit einer Videokamera von innen inspiziert. Schließlich waren die mittlerweile

gefertigten Abzugsrohre der Gasabscheidevorrichtung in die äußere Reflektorreihe einzubauen.

Im Juni kam, endlich, die atomrechtliche Betriebsgenehmigung. Innerhalb von nur 10 Tagen waren die Brennelemente des Zweitkerns eingeladen, und am 26. Juni 1983 hatte der Reaktor die erste Kritikalität erreicht. Alles verlief nach Plan und ohne Probleme; ein Testelement des Erstkerns durfte nach besonderer behördlichen Genehmigung weiterbestrahlt werden. Besonders erfreulich war die Wirkungsweise der Gasblasenabscheider: nach ihrem Einbau wurden keinerlei störende Reaktivitätsänderungen mehr bemerkt.

Schließlich wurde die Errichtung einer Lagerhalle für die Entsorgungskomponenten abgeschlossen; über die Probleme dieses Bauwerks wird noch in einem gesonderten Kapitel die Rede sein.

1984

Ein Jahr mit viel Aktivitäten beim Versuchsprogramm. Auf 7 Reaktorpositionen waren im Laufe des Jahres 16 Versuchseinsätze eingebaut, darunter ein Ringelement mit einem inneren karbidischen Brennstabündel; ein zweites Ringelement enthielt druckbelastete Hüllrohrproben. Über nahezu 2 Monate wurde in der Zentralposition ein elektrisch beheizter Siedegenerator betrieben, zuzüglich mehrerer Siededetektoren auf umliegenden Positionen.

Im Mai wurde erstmals das Laufzeug einer primären Natrium-Hauptumwälzpumpe gegen ein neugefertigtes ausgewechselt. Die Pumpe war seit 15 Jahren im Einsatz und hatte über 90.000 Betriebsstunden angesammelt, ohne daß irgendwelche besondere Wartungsmaßnahmen notwendig geworden wären. In den letzten Jahren war jedoch ihr Lauf bei hohen Drehzahlen etwas unruhiger geworden, was den Anlaß zum Auswechseln gab. Die maximale Personen-Einzeldosis bei der Austauschaktion betrug 52 mrem.¹⁹⁶

Das aus dem Erstkern weiterbestrahlte Testelement hatte zum Jahresende einen Abbrand von 130.000 MWd/t erreicht, umgerechnet 600 Vollasttage; die übrigen Testzonenelemente der KNK II/2-Kernladung lagen bei 200 VLT.

1985

In diesem Jahr kamen die Risiken der neu eingesetzten Brennelemente zum ersten Mal deutlich zutage: im April und im August zeigte ein Anstieg der Aktivität im Schutzgas je einen Brennelementscha den an. Der Betrieb wurde noch 28 bzw. 50 Tage fortgeführt und die Defektelemente anschließend durch Schief lastbetrieb und Einzeldetektion in der Wechselmaschine geortet.

Trotzdem konnte man mit dem Jahresergebnis der Anlage zufrieden sein. Der Reaktor hatte eine Zeitverfügbarkeit von 45 % erreicht, und 360 Vollasttage waren bereits angesammelt. Da zum genehmigten Wert von 455 VLT nur noch eine geringe Spanne von ca. 100 VLT bestand und darüber hinaus Reaktivitätsreserven bestanden, beantragten die Genehmigungsinhaber KfK und KBG bei der Behörde eine Standzeitverlängerung bis 720 VLT.¹⁹⁷

Eine bedeutsame Änderung ergab sich auf dem personellen Gebiet: der Geschäftsführer Dr. Gerhard Brudermüller, welcher die Geschicke der KBG mit viel Detailkenntnis und schwäbischem Temperament seit 1973 geleitet hatte, wurde als Geschäftsführer zum Kernkraftwerk Obrigheim berufen. An seine Stelle trat Dipl.-Ing. Werner O. Steiger, ehemals Betriebsleiter des FR 2 und erfahren in der Stilllegung von Anlagen.

1986

Ein mageres Betriebsjahr mit nur 13 % Zeitverfügbarkeit; wiederum zwei Brennelementscha den. Überraschenderweise konnte die Anlage in einem Falle noch 51 Tage weiterbetrieben werden, bis aus dem sog. leaker ein wirklicher DND-Scha den wurde.

Im übrigen deuteten sich in diesem Jahr all die Schwierigkeiten an, welche die Betriebsmannschaft auch in der Zukunft stark beschäftigen sollten. Die im Vorjahr ausgebauten Defektelemente waren in den Heißen Zellen untersucht worden und zeigten Schäden im Bereich der Abstandshalter. Die Experten tippten auf Schwingungen, waren sich aber unsicher ob ihrer Anregung. Darüber hinaus deutete sich ein beunruhigender Anstieg bei den Austrittstemperaturen der Brennelemente an. Diese sog. Temperaturdrift, welche sich schon früher angedeutet hatte, war der Anlaß zu aufwendigen Untersuchungen der Natriumreinheit. Schließlich - und das war das ernsteste Problem - wurde im Dezember eine Schwergängigkeit eines Trimmabschaltstabs bei der ersten

Abschalteinheit festgestellt und die Behörde per Eilmeldung davon unterrichtet. Eine sicherheitstechnische Gefährdung bestand indes nicht, da weitere 6 Borcarbidstäbe zur Abschaltung des Reaktors zur Verfügung standen.

1987

Noch ein bescheidenes Betriebsjahr, aber immerhin waren im November 1987 die genehmigten 455 Vollasttage erreicht. Da die neue Genehmigung für die verlängerte Standzeit noch nicht vorlag, mußte die Anlage abgeschaltet werden. Trotzdem reichte die Betriebszeit für zwei weitere Brennelementschäden. Einer davon erfolgte an dem weiterbestrahlten Brennelement aus dem Erstkern. Es hatte mit 832 VLT (entsprechend einem Reaktorabbrand von 175.000 MWd/t) seine ursprünglich vorgesehene Standzeit von 400 VLT, auf mehr als das Doppelte überboten und war somit ein Beweis für die relative Robustheit der früheren Mark I- Spezifikation für den Erstkerri. Im November konnte man das 10-jährige Jubiläum des KNK II-Betriebs feiern, ein Ereignis, das in vielen Zeitungen Beachtung fand.^{198, 199}

Im übrigen wurde auf breiter Front Ursachenforschung für die im vorigen Abschnitt genannten Probleme betrieben. So untersuchte man das Natrium des Primärsystems bei abgeschaltetem Reaktor auf eventuell mitgeführte Partikel, welche geeignet waren, die Strömungskanäle der Elemente zu verblocken. Über das Schwingungsverhalten von Brennelementen im Kern wurden Experimente zur Korrelation von Neutronenfluß und BE-Austrittstemperatur durchgeführt. Und beim Problem der Schwergängigkeit eines Trimmabschaltstabes verdichtete sich die Vermutung, daß es sich weniger um ein Betriebsproblem, sondern wohl eher um ein Stillstands- und Handhabungsproblem handeln könnte.

1988 und 1989

Anni horribiles. Zwei Jahre kein Betrieb!

Das Jahr 1988 verging mit einer Vielzahl von Instandhaltungsarbeiten wie Turbinenrevision, Tankinneninspektion, Einbau von Drehmoment-Meßwellen für die Abschalteinheiten usw. Daneben wurden beim Ausbau der Primärnatriumpumpe lose und gebro-

chene Schrauben der Strömungsleitbleche gefunden. Wenige Tage vor Weihnachten kam die Genehmigung zur Standzeitverlängerung.

Trotzdem war auch im folgenden Jahr 1989 kein Betrieb möglich; die Schwergängigkeiten an den Kontrollstäben schienen sich eher verstärkt zu haben. Drehmomentmessungen wechselten mit Hochtemperaturreinigungsversuchen und Spülgasexperimenten ab. Im November kam endlich das grüne Licht der Reaktorsicherheitskommission zum "schonenden" Weiterbetrieb der Anlage.²⁰⁰

Am 01.10.1989 wechselte der Autor (nach 20-jähriger Tätigkeit bei KNK und 11-jähriger bei PSB) zum Projekt European Fast Reactor EFR. Zum Nachfolger bei KNK bestellte der Vorstand Dipl.-Ing.(FH) Gregor Schnetgöke, der dem Projekt seit 1965 verbunden war und es in all seinen technischen, finanziellen und vertraglichen Facetten hervorragend kannte.

1990

Endlich wieder Reaktorbetrieb.

Ende Januar kam die Zustimmung der Aufsichtsbehörde zum Wiederanfahren der KNK II; die maximale Reaktorleistung sollte 60 % der Nennlast nicht überschreiten. Dieser "Schonbetrieb" war in vielen Fachgesprächen mit den Gutachtern diskutiert, von den Antragstellern vorgeschlagen und schließlich von der Aufsichtsbehörde verfügt worden. Zur Einstellung der sog. f_j -Temperaturgrenzwerte mußte die Anlage allerdings kurzzeitig auf 100 % hochgefahren werden.

Trotz des vermeintlich schonenden Betriebs wurde auch in diesem Jahr ein Brennelement undicht, aber relativ zügig über Schiefelastbetrieb und durch Verwendung der Umsetzvorrichtung (BKU) lokalisiert. Im übrigen war 1990 ein Jahr mit der für eine Versuchsanlage relativ hohen Zeitverfügbarkeit von 48 %.

1991

Letztes Betriebsjahr der KNK II.

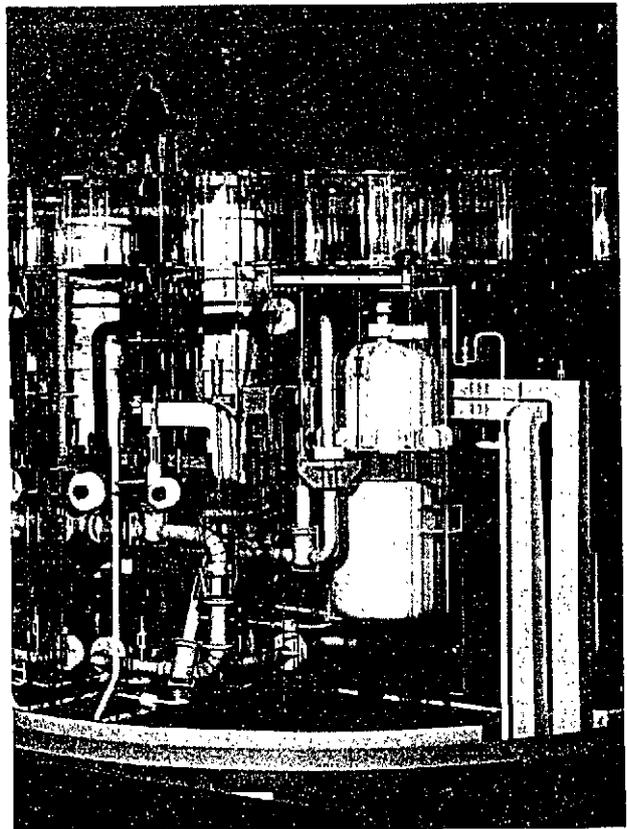
Wegen Schwergängigkeit an den Kontrollstabgestängen war, nach einer kurzen Betriebsphase im Januar, fast ein halbes Jahr kein Reaktorbetrieb möglich. Nach Einzel-fahren der Kontrollstäbe sowie geänderter Spülgaszuführung im Deckelbereich zeigte sich ein deutlicher Reinigungserfolg, so daß im Juli die behördliche Zustimmung zum Wiederaufstart der Anlage erreicht wurde.²⁰¹

KNK II lief dann noch fast 6 Wochen ohne Unterbrechung und wurde am 23. August 1991 auf Veranlassung des KfK-Vorstands endgültig abgestellt. Über die Gründe, die zu dieser Entscheidung führten, wird im letzten Kapitel ausführlich berichtet werden.

4.1.3 Zur Verfügbarkeit der KNK II

In seiner Verfügbarkeit war KNK II einem modernen Leichtwasserkernkraftwerk sicher-lich nicht ebenbürtig, denn sowohl Kon-struktion als auch Betrieb waren auf andere Ziele als die der reinen Strom-erzeugung ausgerichtet.²⁰²

Die Aufgabe als *Testbett* für die Brennelemente des SNR 300 zu dienen, war bereits erwähnt worden. Die Vielzahl der Brennstabschäden beim 2. Kern waren eine Hypothek für den Betrieb der KNK II, denn die Lokalisation eines defekten Brennelementes und der Er-halt der atomrechtlichen Genehmigung zum Austausch dauerten jeweils meh-rere Wochen. Auf der anderen Seite waren diese Schäden eine wertvolle Frühwarnung für den SNR 300. Die Anlage in Kalkar hätte man, sofern sie in Betrieb gegangen wäre, sicherlich mit verbesserten Brennelementen für die Nachladung ausstatten müssen. KNK II war gewissermaßen der techno-logische Minenhund für den SNR 300.



Kompakte Anordnung der KNK-Komponenten in den Primärzellen (Modell)

Das ausgedehnte *Versuchsprogramm* reduzierte ebenfalls die theoretisch mögliche Stromerzeugung. Zeitweise war die Anlage mit 25-30 Experimenten bestückt für Wissenschaftler innerhalb und außerhalb des KfK. Die Anforderungen an den Reaktorbetrieb rangierten von Strichbetrieb bei verschiedenen Leistungsstufen, über Zyklierbetrieb bis sogar zu Nulleistung im Falle der 8-wöchigen "Bestrahlung" eines Siedegenerators in der zentralen Core-Position. Auch der Ein- und Ausbau der Versuchseinsätze - 1984 befanden sich 16 Stück im Kern - kostete viel Zeit, war doch jedesmal der Reaktordeckel umständlich "abzutakeln".

Besonders die Tatsache, daß KNK ein *Prototyp* war, das Erstlingswerk einer neugegründeten wenn auch engagierten Kraftwerksfirma, brachte mancherlei technische Risiken mit sich. Viele Störungen oder auch Fehlkonstruktionen waren nicht vorherzusehen, wie beispielsweise das Gasblasenproblem oder die Schwergängigkeit der Abschaltgestänge. Fast alle Komponenten, man denke nur an die Natriumpumpen, waren erst- und einmalige Konstruktionen, deren Betriebsverhalten und Lebenserwartung schlechterdings nicht abschätzbar waren.^{203,204}

Auch der Umgang mit dem Kühlmittel *Natrium* mußte erst gelernt werden. Daß es damit zu keinen schwerwiegenden Vorfällen kam, ist sicherlich auch der Umsicht des Betriebs- und Wartungspersonals zuzurechnen. Selbst der Natriumbrand und der Dampferzeugerstörfall aus der Zeit der KNK I bildeten nie eine Gefahr für Personal bzw. Umwelt.

Die *atomrechtlichen Genehmigungen* waren kein geringes Hindernis. Für KNK II allein mußten zwischen 1975 und 1988 volle 36 - schriftliche - Genehmigungen von der Behörde erlangt werden. Für alle waren ausführliche Anträge vorzulegen, deren technischer Inhalt von TÜV bzw. RSK zu begutachten war, bevor in vielen Besprechungen mit der Aufsichts- und der Genehmigungsbehörde schließlich die Genehmigungspapiere erlangt werden konnten. Nicht selten mußte die KNK II eine zeitlang angehalten werden, wenn eine notwendige Betriebsgenehmigung nicht rechtzeitig verfügbar war. So, z.B. ein volles Jahr lang, zwischen 1987 und 1988, als die Genehmigung für die Standzeitverlängerung im Gefolge der Tschernobyl-Diskussion viel länger auf sich warten ließ, als angenommen werden konnte.

Die Auflagen aus den Genehmigungen betrafen neben anderem auch die *Wartungsvorschriften* für die Anlage. Die Vielzahl dieser Arbeiten und Prüfungen wurden in der jährlichen großen Revisionsphase erledigt, welche wegen ihres Umfangs zuweilen

6-8 Wochen dauerte. Sie reduzierten unter anderem auch die Zahl der ungeplanten Schnellschlüsse durch Verbesserung der elektrischen und mechanischen Komponenten. 1980 waren noch 12 Scrams zu verzeichnen, die bis 1987 auf einen einzigen zurückgingen.²⁰⁵

Schließlich waren auch die Auswirkungen der *Politik* nicht zu übersehen. KNK II stand zwar nicht so stark im Kreuzfeuer der Kernenergiegegner wie der SNR 300, "erfreute" sich aber dennoch einer ständigen Beobachtung. Jeder Vorfall beim KNK II-Betrieb wurde von den Medien registriert und häufig bezüglich seiner möglichen Auswirkung beim Projekt Kalkar aufgebauscht. Das Gasblasenproblem ist hierfür ein Beispiel. Ein immerwährendes Bemühen der Betriebsmannschaft war es deshalb, Störfälle und daraus erwachsende Schlagzeilen zu vermeiden.

Im *europäischen Vergleich* stand KNK II lange Zeit im Schatten solcher Brüterkraftwerke wie des britischen PFR und des französischen Phénix sowie Superphénix. Seit diese Anlagen jedoch ebenfalls von unabhängigen, externen Behörden begutachtet und genehmigt werden sowie sich politischen Einwirkungen nicht mehr entziehen können, ist auch deren Verfügbarkeit drastisch gesunken und nicht mehr besser als die der KNK II. Über die technischen Probleme der englischen und französischen Anlagen wurde u.a. in der trilateralen Arbeitsgruppe AGT 8 ausführlich berichtet.

4.2 Phänomene und Probleme

4.2.1 Erfahrungen mit Brennelementdefekten

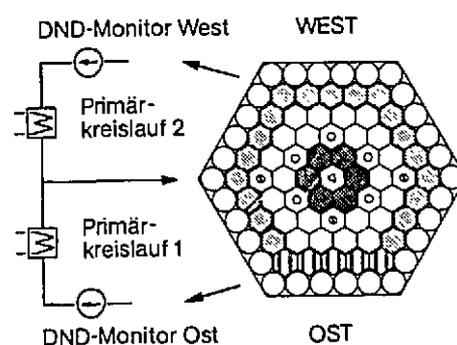
Kehren wir zurück zum Bestrahlungsbetrieb des Zweitkerns und erinnern wir uns der *Statistik* der Brennelementdefekte.²⁰⁶

Die ersten beiden Betriebsjahre 1983 und 1984 verliefen störungsfrei hinsichtlich Brennstabfehler. In den drei darauffolgenden Jahren 1985-1987 ereigneten sich je zwei Defekte; zwei weitere traten noch 1990 und 1991 auf. Zieht man das aus dem Erstkern stammende Brennelement ab, welches immerhin eine Rekordbetriebszeit von 832 VLT erreichte, so wurden also insgesamt 7 Elemente der Zweitbeladung bei Abbränden zwischen 27.000 und 47.000 MWd/t undicht. Davon gehörten 3 der Testzone und 4 der Treiberzone an.^{207, 208}

Zur Standardprozedur im Falle eines Brennelementdefekts gehörte der Nachweis der Undichtigkeit, die Lokalisierung des Elements und schließlich sein Austausch gegen ein unbestrahltes Brennelement. Der *Nachweis* eines Hüllrohrschadens gelang meist schon in der Frühphase des Spaltgasaustritts. Durch kontinuierliche Überwachung der Radioaktivität des Schutzgases Argon konnte man beigemischtes Xenon 133 an der 81 keV-Linie erkennen. Weitere Klarheit - insbesondere für die Unterscheidung von Test- bzw. Treiberelementen - erbrachte dann die massenspektroskopische Bestimmung des Verhältnisses der gasförmigen Xenonisotope Xe 131 und Xe 134. In der Regel wurde mit einem "leaker" noch mehrere Tage bis Wochen weitergefahren, bis sich der sog. DND-Schaden entwickelt hatte. Dabei konnte mit zwei Neutronenmonitoren an den Primärnatriumleitungen die Konzentration der Emitter von verzögerten Neutronen gemessen werden. War eine gewisse Zählrate erreicht, z.B. 2.000 Impulse pro Sekunde, so wurde mit der Vorbereitung zum Austausch des Elementes begonnen, um das Primärnatrium nicht unnötig zu kontaminieren.²⁰⁹

Die *Lokalisierung* eines defekten Elementes entwickelte sich häufig zu einem spannenden Wettstreit zwischen der Betriebsmannschaft der KNK II und den Wissenschaftlern angrenzender Institute, wie des IRE und des IHCh. Alle verfügbaren Meßwerte wurden analysiert, in Computerprogramme wie COCOSS eingegeben und daraus eine "hit-Liste" der besonders verdächtig erscheinenden Brennelemente erarbeitet.²¹⁰ Der "Gewinner", welcher auf das richtige Element getippt hatte, freute sich natürlich besonders. Gelegentlich lagen auch alle Experten mit ihren Prophezeihungen weit daneben.

Durch *Schiefastfahren* des Reaktors - auch das war genehmigungspflichtig - konnte die Zahl der potentiell defekten Elemente eingegrenzt werden. Die endgültige Gewißheit brachte dann der nächste und letzte Schritt: die verdächtigen Elemente wurden in die Wechselmaschine gezogen und durch Anblasen von Natrium befreit. Anschließend reduzierte man die Kühlung und senkte den Druck der Flasche ab. Im Falle eines Lecks gaben Defektelemente dort Spaltgas ab, welches gesammelt und analysiert wurde. Insgesamt dauerte eine solche Prozedur etwa 4 Stunden; zur Durchmusterung des Kerns war gut und gern eine Woche nötig.



Anordnung der DND-Monitore bei KNK II

Von den vielen *Erfahrungen*, die mit Defektelementen gemacht wurden, können hier nur einige mitgeteilt werden. So war die Zeitspanne zwischen dem "leaker"- und dem DND-Signal bei Testelementen wesentlich kürzer als bei Treiberelementen. Der Grund lag darin, daß das Natrium mit PuO_2/UO_2 weitaus stärker reagiert als mit UO_2 allein; das gebildete Reaktionsprodukt verursachte beim Mischoxid eine wesentlich größere Volumenzunahme, was zur Aufweitung der Schadensstelle und damit zum DND-Signal führte.^{211, 212}

Bei eindeutigen Anzeigen der Instrumentierung auf verzögerte Neutronen gebot es sich erfahrungsgemäß die Anlage zügig abzufahren, um möglichst wenig Natrium über die Schadenstelle in den Brennstab einzusaugen. Ein längerer Betrieb mit offenen, defekten Stäben führte zwangsläufig zum Anstieg des Spaltprodukts Cs 137 im Primärkreislauf. Um hier gegenzuwirken, wurde übrigens der Einbau einer Cäsiumfalle im Rahmen des Versuchsprogramms beschlossen.^{213, 214}

Nachdem ein Brennelement als defekt erkannt worden war und aus dem Kernverband entfernt wurde, war die nächste spannende Frage: wie sieht der Schaden aus und wodurch könnte er entstanden sein. Doch darüber im nächsten Abschnitt.

4.2.2 Schwingungen der Brennstäbe

Ab 1986 wurden innerhalb zweier Jahre 3 Brennelemente zu den Heißen Zellen der KfK verbracht und dort nachuntersucht. Bei allen konnte man deutlich Reibmarken zwischen den Brennstabhüllen und den Abstandshaltern, insbesondere in Höhe der 6. und 7. Ebene feststellen, also am oberen Stabende. Dabei wiesen die Brennelemente der Treiberzone einen höheren Verschleiß auf als jene der Testzone; am geringsten war der Abrieb bei den leistungslosen Moderatorstäben.



Rattermarke bei KNK II-Brennstab

Ganz offensichtlich war der Verschleiß in Höhe der Abstandshalter auch die Ursache für die nachfolgenden Hüllrohrundichtigkeiten. Die Stabschäden traten stets im Bereich des höchsten Abriebs auf. Bei den Testzonenstäben führten sie zu Längsrissen am Hüllrohr, bei den Treiberzonenstäben zu Umfangsrissen. Diese Unterschiede in der Defektart lassen sich

schlüssig deuten über die unterschiedlichen Brennstoffreaktionen von Uran- und Mischoxid mit Natrium, wie im Abschnitt 3.2.1 bereits erklärt.

Die Erforschung der Ursachen für die Verschleißmarken erwies sich als außerordentlich kompliziertes Problem, das die Wissenschaftler über volle zehn Jahre beschäftigte. Ausgehend von den "Rattermarken" beim Erstkern, die 1981 noch ziemlich einfach als Folge der Gasblasendurchläufe bei KNK II/1 erklärbar schienen, endete man 1989-1991 bei den sog. THIBO-Experimenten, welche das Phänomen schließlich als thermohydraulisch induzierte Staboszillationen verifizieren konnten. Dazwischen lagen viele vergebliche Erklärungsversuche, die sich nicht durch Versuchsdaten stützen ließen, sowie eine ausgedehnte Recherche der internationalen Erfahrungen auf diesem Gebiet.

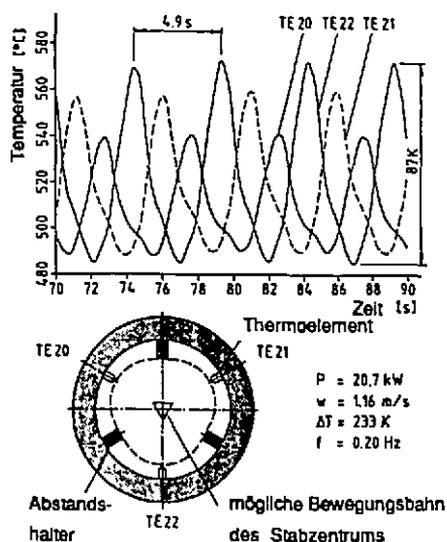
Die Gasblasen schieden als Schwingungsanreger aus zwei Gründen aus: zum einen, weil in einem out-of-pile-Test absichtlich ins Kühlmittel eingespeiste Blasen die Brennelementattrappen nicht zu Schwingungen anzuregen vermochten; zum anderen, weil beim Zweitkern weiterhin Abriebsmarken festzustellen waren, obwohl es dort (wegen der eingebauten Abscheider) das Gasblasenproblem schon nicht mehr gab. Man suchte deshalb nach anderen Anregungsquellen im Bereich der Anlage. Mit Koppelstangen und komplizierten Kohärenzanalysen wurden viele Monate lang die Schwingungen der Gitterplatte, des Reaktortanks, der Primärrohrleitungen und der Natriumhauptpumpen untersucht. Alles vergeblich!

Eine Wende in die mittlerweile ziemlich festgefahrene Denkweise kam Mitte 1987, als die Nachuntersuchungsergebnisse eines am französischen Reaktor Phénix bestrahlten Mark II-Elements bekannt wurden. Dieses Element besaß nahezu den gleichen Aufbau wie das KNK II/2-Element, und nach Beendigung seiner Bestrahlung zeigten sich auch die gleichen Schäden. Die Erklärungshypothese war fortan: nicht im Reaktor, sondern in der Konstruktion des Brennelements selbst liegt die Ursache für dessen Verschleiß. Die Fremderregung ("farfield") wurde zugunsten der Selbsterregung ("nearfield") aufgegeben.²¹⁵

Weitere Gewißheit kam im Gefolge des internationalen Erfahrungsaustauschs. Die Kollegen vom japanischen JOYO und dem amerikanischen EBR II berichteten über ähnliche (wenn auch geringere) Reibmarken an ihren Anlagen. Eine besonders interessante Information stammte vom französischen CABRI-Reaktor in Cadarache. Von dort wurde bekannt, daß es bei einigen CABRI-Versuchen und beheizten Mark II-Bün-

deln zu Stabbewegungen gekommen war. Hinfort war "thermisches Taumeln" die Erklärung des Schwingungsphänomens. Darunter stellte man sich folgendes vor: durch Temperaturunterschiede am Stabumfang wird der Stab verbogen, dies hat Rückwirkungen auf die Thermohydraulik im Kühlkanal und führt letztlich zu periodischen schraubenförmigen Taumelbewegungen des Brennstabs.

Es galt nun, diese niederfrequenten Brennstaboszillationen auch im Versuch nachzuweisen. Dies gelang dem Institut für Materialforschung IMF in den THIBO-Teststrecken, bei welchen ein elektrisch beheizter und reichlich instrumentierter Stab in einem Natriumkreislauf betrieben wurde. Die Versuchsergebnisse zeigten, daß Brennstäbe schon bei relativ kleinen Aufheizspannen in Bewegung geraten können, selbst wenn das Stabspiel im Abstandshalter auf kleine Werte eingestellt ist.^{216, 217}



Reproduktion der KNK II-Brennstab-bewegungen im THIBO-Versuch

Mit diesen Versuchen, 1991 publiziert, schloß sich der Kreis zu Experimenten, die schon ein volles Jahrzehnt vorher begonnen hatten: am Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik INR hatte man 1981 die Reaktivitätssignale der KNK II-Betriebsinstrumentierung analysiert und war durch sehr empfindliche Korrelationsmessungen auf fast harmonische Oszillationen gestoßen,

welche per Erklärung Brennelementschwingungen zugerechnet wurden.²¹⁸ Als Anregungsmechanismus für die Schwingung dachte man damals aber noch an Wirbel bzw. Fluidstrahlen.^{219, 220}

Die Schadensanalyse der Brennelemente des Zweitkerns hatte natürlich direkte Auswirkungen auf die Auslegung der nachfolgenden Elemente des Drittkerns. Da wesentliche Teile, wie Brennstäbe und Strukturteile, 1989 bereits gefertigt waren, konnte man nicht mehr alle Auslegungsparameter frei wählen. Eigentlich blieb nur noch die Verkleinerung des Zellkreisdurchmessers sowie die radiale Versetzung der Abstandshalter übrig. Ob diese Änderungen später für einen zufriedenstellenden Reaktorbetrieb genügt hätten, wird nie mehr feststellbar sein. Die Beendigung des KNK II-Betriebs im Jahre

1991 - noch vor dem Einsatz des Drittkerns - bewahrte die Brennelementausleger vor weiterem Tadel, oder vielleicht auch vor hohen Ehren.

4.2.3 Temperaturdrift am Brennelementaustritt

Die beschriebenen Brennelementschwingungen wurden während des gesamten Zweitkernbetriebs begleitet von einem zweiten rätselhaften Phänomen, der sog. Temperaturdrift am Brennelementaustritt, welche es in ihrer Gesamtheit ungemein schwer machten, die Einzelprobleme richtig zu trennen und in ihren Ursachen zu verstehen.²²¹

Die Temperaturdrift äußerte sich dadurch, daß die Austrittstemperaturen der Testelemente - nicht die der Treiberelemente - pro Vollasttag um etwa ein Drittel Grad anstiegen und zwar, ohne daß Änderungen im Kühlfluß der Elemente vorgenommen worden wären. Diese Temperaturerhöhung, genannt Temperaturdrift, bewirkte nach etwa 100 VLT eine um 20-30 °C erhöhte Brennelementaustrittstemperatur, womit der Sättigungswert erreicht war. Nach Abschalten des Reaktors bildete sie sich merkwürdigerweise ganz oder teilweise zurück, um dann mit zunehmender Betriebszeit wieder auf etwa den früheren erhöhten Wert anzusteigen. Eine sicherheitstechnische Gefährdung ging von diesem Phänomen nicht aus.²²²

Nahezu ein Jahr lang tappte man im Dunkeln, bis ein zufälliges Ergebnis beim Versuchsprogramm auf die richtige Fährte führte. Bei der Bestrahlung des Siedegenerators im Reaktorkern stellte man Mitte 1984 fest, daß die vorher akkumulierte Temperaturdrift abgebaut worden war. Offensichtlich hatten die von kollabierenden Natriumdampfblasen ausgehenden Druckimpulse genügt, die Austrittstemperaturen wieder auf Normalwerte zu bringen. Gleiche Ergebnisse erzielte man später mit einem ins Core absichtlich eingebrachten Ultraschallgenerator. Damit war zumindest ein Weg zum Abbau der Temperaturdrift gefunden; man wollte nun aber auch deren Ursache kennenlernen.

Vieles deutete auf Ablagerungen in den Brennelementen hin mit der Folge von partieller Verblockung der Kühlkanäle. Im KfK-Institut IRE wurden deshalb Rechnungen mit dem BACCHUS-Code durchgeführt; man kam dabei auf Partikel im Durchmesserbereich von 0,3 bis 0,7 mm, welche in Höhe der Abstandshalter angeschwemmt sein sollten.²²³

Filterversuche an der anlageneigenen Probeentnahmestation erbrachten jedoch keine Bestätigung, wahrscheinlich wegen der nicht isokinetischen Probenahme. Man stellte deshalb spezielle Siebeinsätze für einen Gitterplatteneinsatz her und betrieb darüber hinaus etwa 300 Stunden eine Bündelattrappe mit 37 Stäben im Reaktorkern. Nun konnten tatsächlich Partikel aus dem Primärnatrium herausgefischt werden. Mit 0,1 mm Durchmesser und darunter waren sie allerdings wesentlich kleiner als vorher vermutet. Daneben gab es Agglomerationen von noch kleineren Teilchen, also eine Art Schlamm, welche zusammen wohl die teilweise Verblockung der Kühlkanäle bewirkt hatten. In der chemischen Zusammensetzung waren es meist Fe, Cr und Ni - alles Elemente, die auf der heißen Seite des Primärsystems aus den Oberflächen herausgelöst worden waren.²²⁴

Die endgültige Bestätigung kam 1986 über Befunde in den Heißen Zellen. Sie hatten "Rauhputz"-artige, flächenhafte Ablagerungen auf den Brennstäben, insbesondere in Höhe des 6. Abstandshalters gefunden. Diese verändern die hydraulischen Widerstände und den Druckverlust, wodurch sich die Temperaturänderungen am BE-Austritt erklären ließen. Da die KNK II-Anlage nach 455 VLT bei 60 % "Schonbetrieb" gefahren wurde, spielte das Phänomen der Temperaturdrift in den späteren Jahren keine Rolle mehr.²²⁵

4.2.4 Das Gestängeproblem

Ein schwieriges Betriebsproblem - kein Sicherheitsproblem! - waren die Schwergängigkeiten an den Abschaltvorrichtungen der KNK II. Sie wurden in den Jahren 1986 bis 1991 an den Zwischengestängen dieser Komponenten entdeckt und jeweils als "besonderes Vorkommnis" der Aufsichtsbehörde gemeldet. Das Zwischengestänge war jenes Bauteil, welches sich, wie schon der Name vermuten läßt, zwischen dem die Abschaltung bewirkenden Absorber und der oberhalb des Reaktortanks angeordneten Antriebseinheit befand. Es beinhaltete die mechanische Kupplung, die Scrammagnete, sowie die Drehspindel und befand sich teilweise im Natrium des Reaktortanks, teilweise im Argonschutzgasraum und zum Teil sogar oberhalb des Drehdeckels. Diese Erstreckung über verschiedene Medienräume erzeugte letztlich auch die Probleme des Bauteils. Im Folgenden werden die 4 Vorkommnisse kurz beschrieben; die Nummern beziehen sich auf die laufende Numerierung im Melderegister der KNK an die Aufsichtsbehörde in Stuttgart.^{226, 227}

1. Vorkommnis Nr. 64

Im Dezember 1986 wurde zum ersten Mal eine Schwergängigkeit an einem Regelstab der ersten Abschaltseinheit (1. AE) bei abgeschaltetem Reaktor festgestellt. Als Ursache konnte die Ablagerung von Natriumaerosolen während der vorausgehenden Handhabungsvorgänge festgestellt werden, bei denen das Gestänge nicht mit Gas gespült wurde.²²⁸

2. Vorkommnis Nr. 83

Im Dezember 1988 stellte man Ablagerungen in einem Stab der 2. AE fest; bei der Komponente wurde dadurch zwar ihre Fahrfunktion, aber nicht die Abschaltfunktion beeinträchtigt. Wahrscheinlich hatten die zahlreichen vorausgehenden Öffnungen des Primärsystems für Wartungszwecke zu schlechter Schutzgasqualität und damit zu Ablagerungen geführt.²²⁹

3. Vorkommnis Nr. 97

Es erfolgte im Juni 1990 bei 17 % Schiefastbetrieb des Reaktors an der 1. AE. Die plötzliche Abwärtsbewegung des Absorbers löste einen Reaktorschnellschluß über Temperaturänderungsgeschwindigkeit am Brennelementaustritt aus. Bei der Inspektion des Gestänges in den Heißen Zellen wurden keine Ablagerungen, wohl aber ein Metalispan gefunden, der für die zeitweilige Bewegungshemmung in der Fahrfunktion verantwortlich gemacht wurde.²³⁰

4. Vorkommnis Nr. 103

Wie beim Vorkommnis Nr. 97 wurde hier die Schnellabschaltung (im Januar 1991) bei 15 % Reaktorbetrieb durch eine plötzliche Absorberbewegung nach Überwindung einer Fahrhemmung eingeleitet. Verursacht wurde diese Blockierung an der 1. AE allerdings erneut durch Ablagerungen im Gestänge in einer Phase nicht ausreichender Schutzgasqualität.²³¹

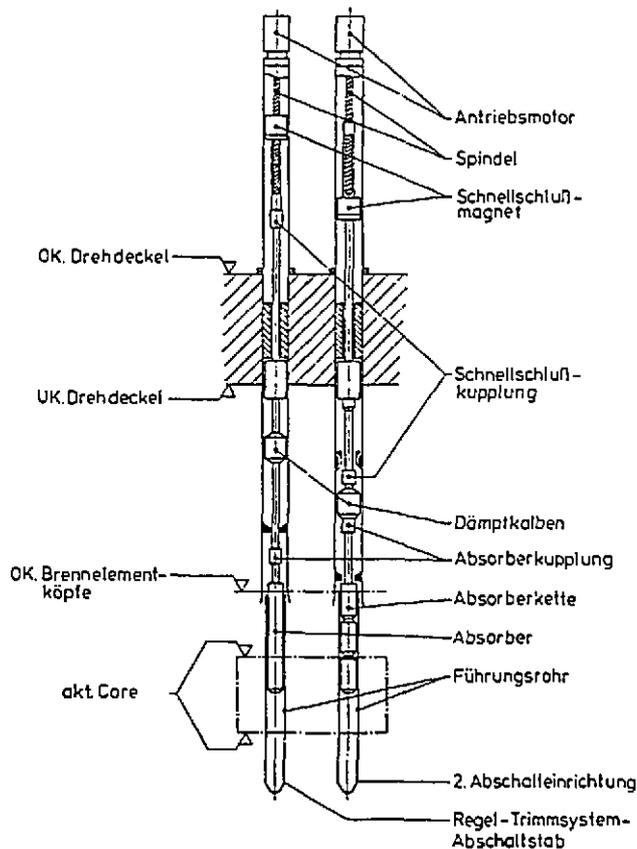
Allen Vorkommnissen - mit Ausnahme des singulären Ereignisses Nr. 97 - war also gemeinsam, daß sie durch Schwergängigkeit in den Zwischengestängen verursacht wurden. Bei schlechter Schutzgasqualität oxidiert das Natrium in den Gestängen zu Natriumoxid, die durch ihre teigige Konsistenz die Hubbewegungen des Gestänges hemmen. Aus dieser Diagnose ergibt sich bereits die Therapie: es war auf sauerstoff- und feuchtfreies Schutzgas zu achten, insbesondere während der Revisions- und Handha-

bungsphasen. Zur Requalifikation entwickelt man ein Verfahren zum Spülen der Zwischengestänge in heißem Natrium. Die Behörde verfügte außerdem regelmäßige Messungen des Drehmoments am Antrieb sowie die Überprüfung der Fallzeiten der Absorber. Sie sind letztlich für die sichere Abschaltung des Reaktors verantwortlich.^{232, 233}

Die Rolle der verschiedenen Interatom-Oberbauleiter (OBL), im Anhang zu diesem Bericht aufgelistet, bei der Lösung von Anlagenproblemen in Liaison mit der Mutterfirma in Bensberg ist hier besonders zu würdigen. Bei der Bewertung und der Behebung der Schwergängigkeiten an

den Kontrollstäben war die vertrauensvolle Zusammenarbeit von OBL Klaus Brockmann mit den damaligen KNK II-Betriebsleitern (Finke, Zimmermann, Pleesz) sicherlich ein Gewinn.

Über den internationalen Erfahrungsaustausch wurde vor ähnlichen Problemen beim britischen PFR und dem französischen Phénix-Reaktor berichtet. Dort hatte man u.a. Erfolg mit periodischen Einzelstabfahrten ("rod exercising"), z.B. während der Stillstandsphasen. Auch beim SNR 300 in Kalkar stellte man 1986 Ablagerungen an einigen Abschaltssystemen fest. Sie hatten ihre Ursache im Ausgasen des Deckelgranulats. Offensichtlich gelangte bei diesem Prozeß



Schematische Darstellung der Abschaltstäbe beim 1. und 2. Abschaltssystem KNK II

Feuchtigkeit in die Abschaltgestänge und führte dort zu stellenweise 10 mm dicken und harten Belägen, welche die Bewegung von 6 Zwischengestängen blockierten.²³⁴

4.3 Entsorgung und Standzeitverlängerung

Für KNK II mußten zwischen 1975 und 1988 insgesamt 36 atomrechtliche Genehmigungen aller Art erlangt werden. Dabei waren nicht weniger als 529 Auflagen zu erfüllen. Mit Ausnahme einer - für den Reaktorbetrieb unbedeutsamen - Genehmigung für die Lagerhalle, welche erfolgreich gerichtlich beklagt wurde, und der schwierigen Genehmigung für die Standzeitverlängerung im Gefolge des Tschernobyl-Unfalles verlief das atomrechtliche Verfahren zwar unter außerordentlichen Anstrengungen, aber letztlich doch erstaunlich glatt. Die Probleme mit den beiden genannten Genehmigungsverfahren werden nachstehend beschrieben werden; zuvor jedoch noch einige Bemerkungen zu den Usancen der Antragsteller beim Umgang mit Gutachtern, Aufsichts- und Genehmigungsbehörden.

Ein Prinzip der Antragsteller - also KfK, KBG und Interatom - war Offenheit und Transparenz gegenüber Gutachtern und Behörden. Dies geschah im Rahmen der sog. Vollständigkeitsbesprechungen, bei denen in der Regel KfK, KBG und Interatom einerseits sowie TÜV, Aufsichtsbehörde und Genehmigungsbehörde andererseits an einem Tisch saßen. Die Besonderheiten eines Genehmigungsantrags, der bei KNK II in der Regel erstmalige Sachverhalte beinhaltete, wurden von allen Beteiligten und für alle Beteiligten in allen technisch und juristischen Facetten dargestellt. Jeder der Besprechungsteilnehmer durfte sich zu Wort melden, Rang oder Position spielten keine Rolle. Dieses Verfahren hatte den unschätzbaren Vorteil, daß sich in der Folge auch jeder informiert fühlte und gewissermaßen am gleichen Strick zog. Politische Schaukämpfe auf Referenten- oder Gutachterebene gab es nicht; man fühlte sich der Sache verpflichtet. Der § 1 des Atomgesetzes, wonach es Zweck dieser Vorschriften ist,

"die Erforschung, die Entwicklung und die Nutzung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken zu führen",

schwebte praktisch als Geist über diesen Besprechungen. Das bedeutete jedoch nicht, daß Pardon in Sicherheitsdingen gegeben wurde; die Debatten darüber waren jedoch nur technisch und nicht ideologisch orientiert. Letzteres galt besonders im Vergleich zum Genehmigungsverfahren beim SNR 300, das der Autor als Projektleiter im KfK parallel dazu erleben mußte.

Die Gutachter des TÜV Baden (insbesondere Dr. Fendler, Dr. Eitner und Jurgutat) konnten auf langjährige Berufserfahrungen zurückblicken; sie konzentrierten sich auf die technischen Probleme und zogen sich nie auf bürokratische Formalien zurück. Ministerialrat Günther, von der Aufsichtsbehörde in Stuttgart war von vorsichtiger Natur; er verschaffte sich regelmäßig einen Überblick der Realitäten, indem er die KNK II visitierte oder - noch öfters - seine Referenten Dr. Heermann, Dr. Grözinger, Dr. Wörner, Dr. Zimmermann, Schwarz zur Inspektion an die Anlage schickte. Bei Ministerialrat Blickle, dem federführenden Juristen der Genehmigungsbehörde, beeindruckte insbesondere sein Verständnis für technische Zusammenhänge in einem juristischen Umfeld.

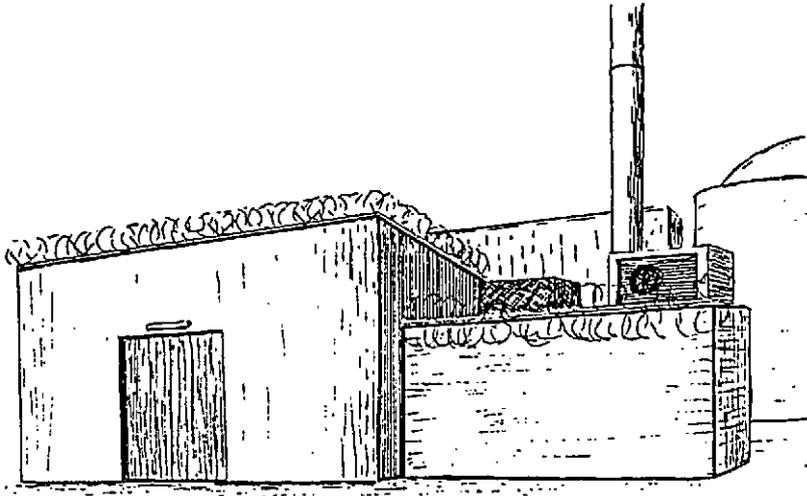
Damit dem Autor dieses Berichts nicht der Vorwurf gemacht werden kann, er würde das atomrechtliche Genehmigungsverfahren beim KNK II zu leichtfüßig darstellen, werden nun die beiden - wirklich einzigen - Verfahren beschrieben, bei denen es zu erheblichen Zeitverzögerungen und nicht vorhergesehenen Problemen kam.

4.3.1 Der Streit um die Lagerhalle

Der einzige Gerichtsstreit beim Doppelprojekt KNK I-KNK II entzündete sich an einem eher belanglosen Bauwerk, der Lagerhalle. Sie war auf Drängen der KNK-Betriebsleitung und nach einigem Zögern der KfK Anfang der achtziger Jahre in den Finanzierungsplan für KNK II aufgenommen und damit zur Realisierung freigegeben worden. Die Lagerhalle sollte im wesentlichen die großen, raumfordernden Entsorgungskomponenten aufnehmen, daneben waren noch einige Chemieabzüge zur Kleinteilreinigung und ein Meßraum geplant. Für die Handhabung bestrahlter Brennelemente war die Lagerhalle ausdrücklich nicht vorgesehen, die Komponenten durften allenfalls leicht kontaminiert sein.

Durch den 4. Nachtrag zur 3. Teilerrichtungsgenehmigung erhielten die Antragsteller KfK und KBG im Juli 1982 vom Wirtschaftsministerium Stuttgart im Wege eines Änderungsbescheids die Genehmigung zum Bau der Lagerhalle. Sie wurde umgehend wegen fehlender Öffentlichkeitsbeteiligung beklagt, und im Dezember 1982 gab die IV. Kammer des Verwaltungsgerichts Karlsruhe dieser Klage überraschenderweise statt und verhängte einen Baustopp.²³⁵ Der Kläger war Hans Blöchle, ein Maschinenbaustudent und aktives Mitglied eines Karlsruher Aktionskreises gegen das Kernfor-

schungszentrum Karlsruhe (KFZ-AK). Er befürchtete durch den Lagerhallenbau "eine konkrete Gefährdung seiner Gesundheit".



Räumliche Anordnung
bei Lagerhalle (links),
Notdieselgebäude (rechts)
und Reaktor (hinten)

Kurz darauf, im Januar 1983, hob das gleiche Gericht, aber unter einem anderen Vorsitzenden Richter (Dr. Jacob) in einem Eilverfahren die einstweilige Verfügung und den Baustopp wieder auf. Das Gericht hatte sich vor Ort über die Sachlage informiert und in einem ungewöhnlich ausführlichen Schriftsatz von 31 Seiten dargelegt, weshalb die noch ausstehende Klage zur Hauptsache "aller Voraussicht nach erfolglos bleiben wird".²³⁶

Das war jedoch ein Irrtum. Im März 1984 fand die Hauptverhandlung statt, und das gleiche Verwaltungsgericht hob nun die Genehmigung - für die bereits fertiggestellte Lagerhalle - wiederum auf. In der Begründung wurde darauf verwiesen, daß eine öffentliche Auslegung der Baupläne nötig gewesen wäre. Insbesondere im Falle eines Erdbebens wäre das durch die Halle geringfügig überbaute Notdieselgebäude gefährdet gewesen und möglicherweise funktionsuntüchtig geworden.²³⁷

Nun war guter Rat teuer. Die Lagerhalle war zwar gebaut, durfte aber nicht in Betrieb genommen werden. Das Wirtschaftsministerium in Stuttgart als die eigentlich beklagte Behörde legte zwar über das Land Baden-Württemberg Berufung beim Verwaltungsgerichtshof in Mannheim ein, aber wer konnte wissen, wie lange ein solches Verfahren sich hinziehen würde, und wer konnte schließlich garantieren, ob "wir" dann auch ob-siegen würden.

"Auf dem Meer und bei Gericht ist man in Gottes Hand". Die Berechtigung dieses Sprichworts war deutlich geworden.

Schließlich entschlossen sich Genehmigungsbehörde und Antragsteller, den vom Gericht gerügten "juristischen Mangel" zu heilen und nachträglich einer öffentlichen Erörterung der Einwendungen zuzustimmen. Entsprechend der atomrechtlichen Verfahrensordnung wurden Antrag, Sicherheitsbericht und eine Kurzbeschreibung des Bauvorhabens im Jahre 1984 in den Bürgermeisterämtern der umliegenden Gemeinden ausgelegt.²³⁸ Eine Verzögerung ergab sich noch dadurch, daß kurz vor Ablauf der 2 Monate-Frist im Rathaus Eggenstein der Sicherheitsbericht gestohlen wurde und daraufhin, aus formalen Gründen, eine weitere Auslegung zwischen September und November anberaumt werden mußte. Der Übeltäter wurde natürlich nicht gefunden. Cui bono?

Die öffentliche Erörterung fand am 12. Dezember 1984 in der Rheinhalle Leopoldshafen statt. Von den 600 Einwendern waren etwa ein Dutzend wirklich gekommen; sie standen einer gleich großen Zahl von Experten der KNK II gegenüber. Mit souveräner Umsicht geleitet wurde die Anhörung von dem Referenten Heitmann aus dem Wirtschaftsministerium. Im Zentrum der Diskussion standen natürlich die angeblichen Sicherheitsdefizite der Lagerhalle. Der Haupteinwender Blöchle begründete nochmals recht geschickt die seiner Meinung nach nicht bewiesene Erdbebensicherheit, verwies darüberhinaus auf die Gefährdung durch Flugzeugabsturz - tatsächlich war ein Jahr vorher 5 km südlich des KfK ein Flugzeug abgestürzt - und brachte schließlich die "drastisch erhöhte Kriegsgefahr" durch die kürzlich erfolgte Stationierung der Pershing II-Raketen aufs Tapet. Andere Einwender wiesen auf die "Brandgefahren des Natriums" in den Chemieräumen hin. Förster Wilhelm Knobloch, schließlich, der bei keinem Erörterungstermin fehlte, und später mit dem Bundesverdienstkreuz ausgezeichnet wurde, rügte die mangelhafte Beschreibung des Standorts innerhalb seines geliebten Hardtwaldes. Nach wenigen Stunden waren alle vorgebrachten Einwendungen ausdiskutiert und man schied, zwar nicht einvernehmlich, aber doch in Frieden voneinander.²³⁹

Fast eineinhalb Jahre später erteilte die Behörde im April 1986 schließlich die - nunmehr gerichtsfeste - Genehmigung zur Benutzung der Lagerhalle.²⁴⁰

4.3.2 Das Genehmigungsverfahren zur Standzeitverlängerung

Mit Beginn des Zweitkernbetriebs war schon nach wenigen Monaten aufgrund der physikalischen Reaktordaten klar, daß der Kern über die - konservativ angenommenen - 455 VLT hinaus weiterbetrieben werden konnte. Genauere Rechnungen ergaben, daß das Core durch Ausnutzung seiner Reaktivitätsreserve und durch Zuladen von vier moderierten Treiberelementen auf eine Standzeit von 720 VLT gebracht werden konnte, entsprechend einem maximalen lokalen Abbrand von 100.000 MWd/t. Demgemäß wurde im Mai 1984 ein Antrag zur sog. Standzeitverlängerung des Kerns gestellt.²⁴¹

Das Wirtschaftsministerium, welches damals noch unter dem Eindruck eines vor zwei Monaten verlorenen Prozesses um die Lagerhalle stand, verfügte sofort die öffentliche Erörterung der gewünschten Standzeitverlängerung sowie einiger kleinerer, ebenfalls beantragter Vorhaben. Der Antrag lautete deshalb auf:

*"Verlängerung der Standzeit des 2. Kerns von 455 auf 720 VLT unter Weiterführung des Versuchsprogramms und des Einbüchsens der Brennelemente zum Transport."*²⁴²

Dies wurde amtlich bekanntgemacht und die dafür erforderlichen Dokumente wie Sicherheitsberichte vom Januar bis März 1986 in den Bürgermeisterämtern der Umliegergemeinden diesmal angekettet ausgelegt.²⁴³ Die Anhörung war für den 26. Mai 1986 vorgesehen.

Zwischen März und Mai jedoch, am 28. April 1986 ereignete sich der Unfall von Tschernobyl. Dieses traumatische Ereignis versetzte Bevölkerung, Behörden und auch die Wissenschaftler über Wochen und Monate hinweg in einen verwirrenden Zustand, bei dem rationale Argumente nur noch geringe Chancen zu haben schienen. In dieser brodelnden Zeit eine öffentliche Erörterung zu einem Schnellbrüterprojekt abzuhalten, mußte wohlüberlegt sein, manchem erschien es als purer Wahnsinn.

Es wäre durchaus möglich gewesen, die Anhörung um einige Monate zu verschieben. Am Ende war es jedoch der KfK-Vorstand Prof. Hennies, der entschied, bei dem ursprünglichen Mai-Termin zu bleiben - mit dem logischen Argument, daß unsere bisherigen guten Gründe zur Standzeitverlängerung unabhängig von den Ereignissen in Tschernobyl seien und auch nicht besser werden würden, wenn wir noch einige Mona-

te abwarteten. Er ordnete jedoch gleichzeitig eine exakte Vorbereitung dieser Veranstaltung an.

Dies geschah auch. Die eingelaufenen Einwendungen, welche sich von der Brüterpolitik über nukleare und sicherheitstechnische Probleme bis hin zu Rechtsfragen erstreckten, wurden analysiert und in knapp hundert Detailfragen untergliedert.²⁴⁴ Ein Team von etwa 15 Experten aus KfK, KBG und Interatom arbeitete schriftliche Antworten aus, die peinlichst genau auf Richtigkeit überprüft wurden.

Die öffentliche Erörterung fand wiederum in der Rheinhalle Leopoldshafen statt und wurde von Regierungsdirektor Ostberg vom Wirtschaftsministerium geleitet. Gegen ihn gab es gleich einen Befangenheitsantrag, da er maßgeblich bei der - gerichtlich gekippten - Genehmigung für die Lagerhalle mitgewirkt hatte. Der Antrag wurde jedoch nach telefonischer Beratung mit dem Ministerium abgelehnt, ebenso wie ein Antrag gegen den Betreiber KBG wegen angeblicher Unzuverlässigkeit.

Der Student Hans Blöchle, weiterhin engagiert in der Karlsruher Antikernkraftszene tätig, war erkennbar der spiritus rector der etwa zwei Dutzend anwesenden Einwender. Er brachte die Fragen auf den Punkt, hakte nach, wenn ihm die Antworten zu lückenhaft schienen und scheute auch nicht davor zurück, das angeblich "große Durcheinander" auf dem Stuttgarter Schreibtisch des Versammlungsleiters zu kritisieren. Im übrigen lief die Veranstaltung durchaus gesittet ab: die Fragen wurden an den Autor dieses Berichts gestellt, der sie - um etwas Zeit zu gewinnen - meist wiederholte, einige Sätze anfügte und dann einen seiner bereits im Vorhinein benannten Experten zur Beantwortung aufrief. Am Nachmittag war die Liste der technischen Einwendungen abgearbeitet. Das Wortprotokoll der Veranstaltung umfaßte 124 Seiten und wurde jedem der anwesenden Einwender später zugeschickt.²⁴⁵

Auch wenn diese Erörterung letztlich einen ruhigen Verlauf nahm, so unterschied sie sich doch deutlich von den vorausgehenden. Das Thema Tschernobyl klang oftmals an und wurde vom Vorsitzenden zu Recht auch nicht unterbunden. Menschen, die erkennbar keine Berufsoponenten waren, artikulierten immer wieder ihren Schock darüber, daß ein solcher Unfall passieren konnte. Die Klage einer Frau, die sich als 6-fache Mutter vorstellte, wird den Anwesenden wohl in besonderer Erinnerung geblieben sein. Sie machte auf ihre schlichte, nichttechnische Weise den anwesenden kerntechnischen Fachleuten klar, welche Verantwortung sie im Umgang mit dieser riskanten Technologie tragen.

Die Genehmigungsbehörde ließ sich in der Folge noch volle zweieinhalb Jahre Zeit, bis sie die Genehmigung zur Standzeitverlängerung im Dezember 1988 tatsächlich "verausfolgte".²⁴⁶ Die Gründe für diese lange Zeitspanne lagen wohl zum Teil darin, daß nach Tschernobyl jede atomrechtliche Genehmigung automatisch "Chefsache" war und noch genauer als früher überprüft wurde; zum Teil gaben auch die Betriebsprobleme bei KNK II Anlaß, wie etwa die Ablagerungen bei den Gestängen der Abschalt-einrichtungen.

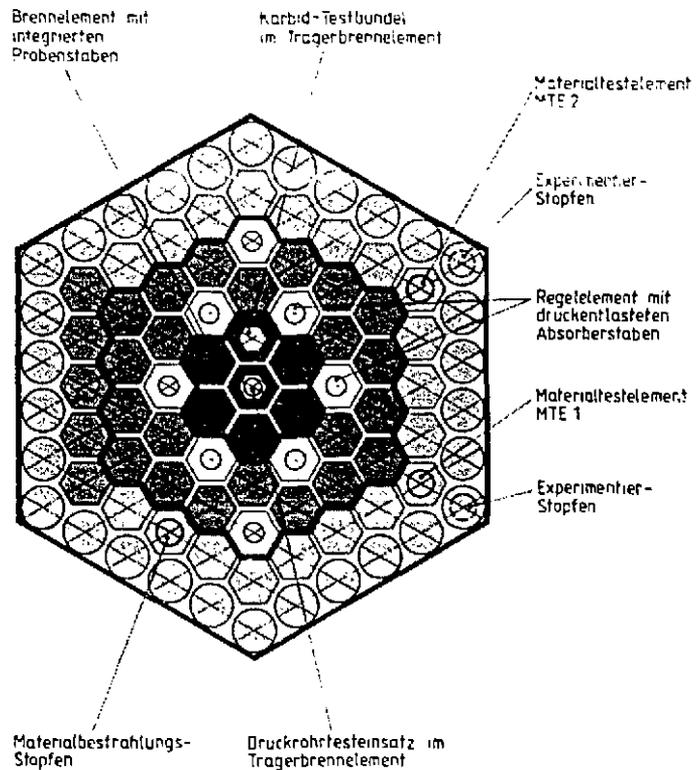
Nicht unerwartet wurde die Genehmigung schon einen Monat nach ihrem Erscheinen im Januar 1989 beim Verwaltungsgerichtshof in Mannheim beklagt.²⁴⁷ Zur Begründung waren all die Störungen angegeben, welche der Betreiber KBG selbst in seinen jährlichen Jahresberichten bei den Zeitschriften ATOMWIRTSCHAFT und ATOM + STROM zu veröffentlichen pflegte. Sie bezogen sich vorwiegend auf die Brennstabdefekte, die Temperaturdrift, die Schwergängigkeit der Abschaltgestänge und die Entsorgungsproblematik. KfK und KBG erarbeiteten im Februar 1990 eine Stellungnahme dazu, und im Juni 1990 nahm der Kläger seinen Antrag (wegen des Kostenrisikos) zurück, womit die Genehmigung endgültig rechtskräftig geworden war.^{248, 249}

4.4 Das Versuchsprogramm an der KNK

An der KNK II wurde ein Versuchsprogramm durchgeführt, das eigentlich schon 1971 - also noch zu Zeiten der KNK I - begonnen und danach ständig an Umfang gewonnen hatte. Diese F+E-Tätigkeiten vermischten sich zum Teil mit dem Betriebsgeschehen, da KNK II ja per Definition ein Versuchskernkraftwerk war, bei dem die Stromerzeugung nicht die vorrangige Rolle spielen sollte. So hätte man die Bestrahlung der Reaktorkerne - jeweils "first of its kind" - auch dem Versuchsprogramm zuordnen können, gleiches galt für den Nachweis und die Lokalisierung der Brennstabdefekte.

Besonders deutlich wurde die Vermaschung zwischen Betrieb und Forschung beim Auftreten von Reaktorstörungen, wie der beschriebenen Temperaturdrift oder den Brennstabschwingungen. Was für die Betriebsmannschaft wenig Anlaß zur Freude war, bot den Wissenschaftlern bei KfK und Interatom jedoch die willkommene Gelegenheit, ihre diagnostischen Fähigkeiten mit zumeist selbst entwickelten Geräten unter Beweis zu stellen. Wie die Mannschaften aus Betrieb und Forschung sich bei Störfällen ohne besondere Aufforderung gegenseitig mit vollen Kräften unterstützten, war der Anerkennung wert.

Eine Reihe von Versuchen an der KNK II waren auch von großer Wichtigkeit für den SNR 300, besonders als das Projekt Kalkar Ende 1982, nach Beseitigung der politischen Hemmnisse, wieder Fahrt aufgenommen hatte. Als Beispiele seien die Wasserstoff-Nachweisgeräte für die Dampferzeuger des SNR 300 genannt, welche an der KNK II vorher auszutesten waren; gleiches galt für die Brennelement-Kontrollvorrichtung, welche an der KNK II zur Feststellung ihrer Empfindlichkeit untersucht werden mußte. Von besonderer Wichtigkeit war jedoch der Test der Core-Austrittsinstrumentierung für den SNR 300; deren positive Überprüfung stellte sogar eine Genehmigungsvoraussetzung für diesen Reaktor dar. Als "wichtiges Zwischenergebnis" WZE 2.02 beschäftigte es die Wissenschaftler über einige Jahre hinweg.



Positionierung der Bestrahlungsexperimente bei KNK II/2

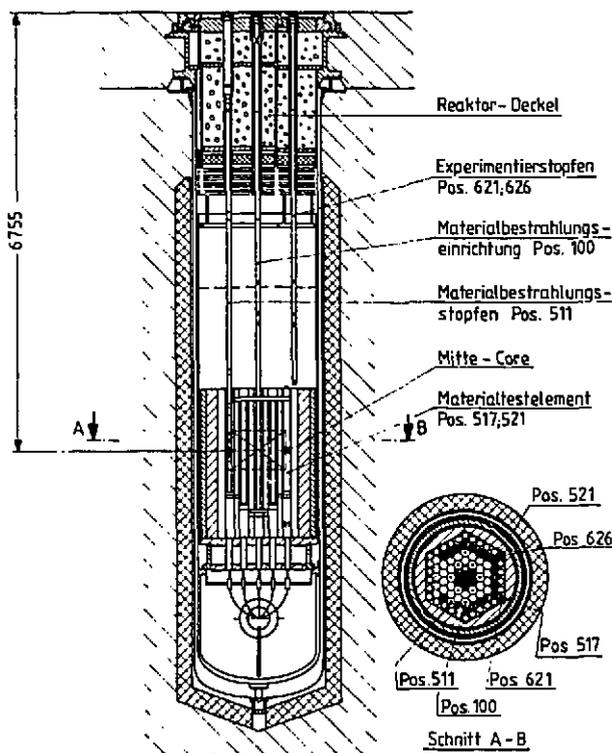
Wenn im folgenden nur wenige Versuche aus drei Teilgebieten herausgegriffen werden, so deshalb, um den Rahmen dieser Darstellung nicht zu sprengen. Das Versuchsprogramm bestand in toto aus 30 bis 40 Einzelversuchen, die von Werner Kathol, einem Mitglied der Projektleitung PSB, mit Umsicht koordiniert und auch bezüglich des Genehmigungsverfahrens und des internationalen Erfahrungsaustausches (AGT 8) betreut wurden.²⁵⁰

4.4.1 Physikalische Versuche

Ein wichtiges physikalisches Experiment war der Einsatz eines *Siedegenerators* in der Zentralposition der KNK II. Mit ihm sollte nachgewiesen werden, daß Natriumsieden,

welches etwa bei der Verblockung von Brennelementen hätte auftreten können, über geeignete Detektoren feststellbar ist.

Zur Erzeugung der Siedesignale setzte man ein dummy-Element mit 18 elektrisch beheizten Stäben an die Stelle des zentralen Brennelements. An verschiedenen Positionen des Kerns waren speziell konstruierte Mikrophone angeordnet, um diese Siedegeräusche aufzunehmen. Die Versuche wurden bei nuklear abgeschalteter Anlage, aber bei vollem Natriumdurchlauf ausgeführt, um repräsentative Kühl- und Temperaturbedingungen zu erhalten. Das Ergebnis dieser Sicherheitsversuche war außerordentlich befriedigend: der Siedevorgang konnte mit den Sensoren auf allen Positionen eindeutig detektiert werden.²⁵¹



Querschnitt des KNK II-Reaktortanks mit Experimentierstopfen

Die physikalischen Versuche im Reaktorkern wurden über 6 m lange *Experimentierstopfen* an ihre Position gebracht. Dabei handelte es sich um sehr komplizierte Spezialkonstruktionen, die im Reaktordeckel eingesetzt wurden, und die Signale von der Core-Position zum Experimentator brachten. Maximal wurden bei KNK II 4 Stopfen gleichzeitig in Stellung gebracht. Für Konstruktion und Beschaffung dieser wichtigen Komponenten war Detlef Artz zuständig, ebenso wie für die informative Broschüre zum KNK II-Versuchsprogramm.^{252, 253}

Da es sich bei den Stopfen um kostspielige Objekte handelte, waren sie in der Regel vollgepackt mit allen möglichen *Meßsonden*. Bei dem schon erwähnten Test der

Core-Austrittsinstrumentierung für den SNR 300 waren beispielsweise drei verschiedene Arten von Schallaufnehmer, zwei unterschiedliche Durchflußmesser und verschiedene Thermolemente in einen einzigen Stopfen untergebracht. Er wurde über nahezu

7.000 Stunden betrieben und lieferte wichtige Ergebnisse über das Langzeitverhalten dieser Detektoren bei hoher Reaktorstrahlung und Natriumtemperatur. Die meisten Schäden an den Sensoren gab es übrigens nicht wegen der Neutronenstrahlung, sondern wegen der Temperaturschocks, welche unweigerlich bei Reaktorabschaltungen auftreten. Die Schadensursache war zumeist eingedrungenes Natrium. Durch ständig verbesserte Qualitätssicherung konnte die Ausfallrate der Meßwertaufnehmer aber sukzessive verringert werden.

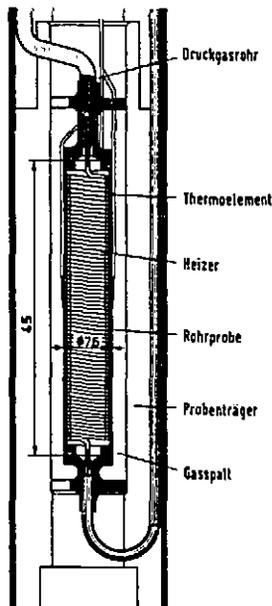
Einen großen Umfang nahmen an der KNK II die *Rauschanalysen* ein. Hierbei wurden Neutronenfluß-, Temperatur-, Druck- und Schallsignale ausgewertet, die entweder aus der Betriebsinstrumentierung stammten oder über spezielle Meßwertaufnehmer gewonnen wurden.²⁵⁴ Durch Autokorrelation prüften die Wissenschaftler, insbesondere von den KfK-Instituten INR, IRE und IRB, ob Teile des Rauschens periodisch wiederkehrten.^{255, 256} Die Frequenz gab häufig Hinweise auf die Ursache des sich wiederholenden Rauschanteils, etwa, wenn sie mit den Eigenfrequenzen einer Reaktorkomponente übereinstimmten. Durch Kreuzkorrelation verschiedener Signale konnte man Aufschluß über die räumliche Ausbreitung eines Ereignisses gewinnen. Ein Beispiel sind die bereits beschriebenen harmonischen Oszillationen der Brennelemente, welche mit dieser Methode erfolgreich nachgewiesen wurden.^{257, 258}

4.4.2 Bestrahlungsversuche

Den größten Raum im Versuchsprogramm an der KNK II nahmen die Bestrahlungsversuche ein. Hierbei handelte es sich vorzugsweise um die Bestrahlung von Hüll- und Strukturwerkstoffen, Brennstäben und Absorbermaterialien. Dafür waren technisch anspruchsvolle Bestrahlungseinrichtungen erforderlich, worum sich das KfK-Institut IMF III sehr verdient gemacht hat. Im wesentlichen handelte es sich um Druckrohrtesteinrichtungen, Materialtestelemente mit und ohne Instrumentierung sowie verschiedene Ausführungen von Trägerelementen und Kleinbündeln.

Die *Druckrohrtesteinrichtung* gestattete die Bestrahlung von 8 Rohrproben gleichzeitig auf der Zentralposition. Die Proben waren mit einem Innendruck bis zu 500 bar belastet; ihre Temperaturen konnten bis zu 800 °C mit hoher Genauigkeit geregelt werden. Druck und Temperatur war für jede Probe individuell einstellbar. Die 8 Proben waren im unteren Teil eines Experimentierstopfens angeordnet, der auch die Meß- und Steuerleitungen aufnahm. Aus Reaktivitätsgründen mußten sie in der Zentralposition von einem

ringförmigen Trägerelement umgeben werden. Untersucht wurde das Kriechen und die Zeitstandsfestigkeit der Rohrproben in Abhängigkeit von Strahlung, Temperatur und Spannung.

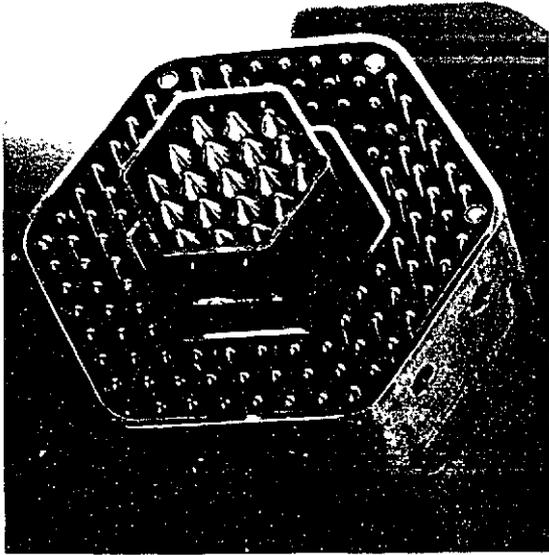


Innendruckbelastete Rohrprobe
im Materialtestelement

Die wiederbeladbaren *Materialtestelemente* hatten die äußere Kontur eines normalen Brennelements und konnten die Proben offen oder gekapselt aufnehmen. Im ersteren Falle nahmen sie die Temperatur des umströmenden Natriums an, im letzteren - wegen der Absorption der Gammastrahlen - darüber hinausgehende Temperaturen. Bei den Kapselproben erfolgte die Einstellung der Probentemperatur entweder über einen Gasspalt oder mit Hilfe eines Wärmerohrs. Letzteres hielt die Temperatur auch bei Änderung der Reaktorleistung auf dem gewünschten Wert.^{259, 260}

Neben Mischoxid, das im KNK II-Kern in vielen Varianten bestrahlt wurde, beschäftigte man sich beim Projekt Schneller Brüter eine zeitlang auch mit karbidischen Brennstoffen. Sie besitzen einen recht hohen Schmelzpunkt, haben eine bessere Wärmeleitfähigkeit und erlauben daher wesentlich höhere Stablängenleistungen als die Oxidbrennstoffe. Zum Abschluß der KfK-Arbeiten auf diesem Gebiet wurde deshalb ein *Karbidkleinbündel* im KNK II bestrahlt. Es bestand aus 19 Stäben, die in einem Trägerbrennelement mit 102 Testzonenstäben integriert waren. Die Bestrahlung fand zwischen 1984 und 1988 statt und erreichte einen Abbrand von 80.000 MWd/t. Der Brennstoff soll in Dounreay aufgearbeitet werden.^{261, 262}

Für die 3. Corebelastung der KNK II waren noch zwei sehr interessante Bestrahlungsexperimente vorbereitet worden: *TOAST* und *TETRA*, die leider nicht mehr zum Einsatz kommen konnten, da der Reaktor 1991 endgültig abgeschaltet wurde. Mit der Toleranzaufweitungsstudie *TOAST* sollten die Spezifikationsvorschriften auf unnötige Erschwernisse überprüft werden,²⁶³ mit dem Temperaturtransientenexperiment *TETRA* wollte man das Brennstabverhalten bei Temperaturzyklen und Überlast studieren.



Kleinbündelelement mit
19 Karbidstäben (innen)

Schließlich seien noch die *Absorberbestrahlungen* vermerkt, die in Verbindung mit den Absorberelementen der ersten Abschalteneinrichtung durchgeführt wurden. Ausgehend von Borkarbidgranulat bestrahlte man beim Zweitkern offene und geschlossene druckbelastete Absorberstäbe mit B_4C -Tabletten sowie Europiumoxidverbindungen, welche den Vorteil haben, kein Helium freizusetzen.

Für die Koordination der genannten Bestrahlungsexperimente hat sich der *Arbeitskreis Kernkomponenten* AKK unter Leitung des frühverstorbenen Professor Karl Kummerer sehr verdient gemacht. In 113 Arbeitssitzungen zwischen 1973 und 1991 wurden die Ziele der verschiedenen Bestrahlungen definiert,

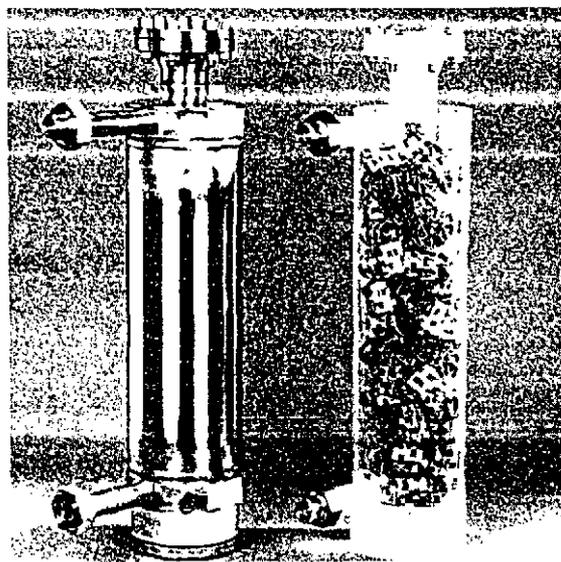
die Auslegung und der Bau der Einrichtungen in die Wege geleitet sowie die Bestrahlungsergebnisse analysiert. Während dieser langen Zeitspanne war die Zusammenarbeit zwischen dem AKK und der Projektleitung PSB von vollem gegenseitigen Vertrauen getragen.²⁶⁴

4.4.3 Natriumchemie und Betriebstechnik

Große Anstrengungen galten der Untersuchung des *Natriums* und des *Schutzgases*. Es war ein Gebiet, bei dem häufig die Aktivitäten der Betriebsingenieure und der Wissenschaftler ineinander übergingen. Das Versuchsprogramm zur Natriumchemie befaßte sich u.a. mit der Entwicklung von Methoden zur Analytik für Kühlmittel und Schutzgas, dem heiklen Gebiet der Natriumprobenentnahme und dem Test von Sauerstoff- und Kohlenstoffsonden.^{265, 266} Daneben wurden beim Dampferzeuger die Korrosion und Schutzschichtbildung in Abhängigkeit verschiedener Betriebszustände untersucht.^{267, 268}

KNK II war das einzige Brüterkraftwerk, bei dem gleichzeitig sieben Parallelproben aus dem strömenden Primärkühlmittel gezogen werden konnten. In einem umfangreichen Programm wurde eine Vielzahl von Radionukliden im Natrium analysiert, u.a. in Abhän-

gigkeit von der Temperatur des Kühlmittels und vom Tiegelmateriale. Ausgedehnte Versuche, insbesondere an Nickel, brachten wertvolle Erkenntnisse über die selektive Sorption von Nukliden.²⁶⁹ Auf der Basis weiterer Studien konnte im Sommer 1988 an der KNK II eine sog. *Cäsiumfalle* installiert und über mehrere Kampagnen erfolgreich betrieben werden. Mit ihr konnten die langlebigen Cäsiumnuklide, welche erheblich zu den Dosisbelastungen in den Betriebsräumen beitragen, aus dem Primärkühlmittel Natrium entfernt werden. Sorbentien wie RVC und Sigratex haben sich als sehr effektiv für Fallen erwiesen; sie führen zu kleinen Volumina, allerdings mit gewissen Problemen beim Ausbau dieser konzentrierten Strahlenquellen.^{270, 271}



Cäsiumfallen (Plexiglasmodelle)

Über viele Jahre hinweg wurde der Tritiumgehalt des tertiären Wasserdampfkreislaufs bestimmt. Tritium entsteht im Kernbrennstoff durch ternäre Spaltung, darüberhinaus auch im B_4C der Absorberstäbe, und wandert aufgrund seiner hohen Diffusionsfähigkeit vom Primär- zum Tertiärkreislauf. Der Einfluß der Sekundärkühlfalle auf die Konzentration des im Dampferzeugerbereichs festgestellten Tritiums war von besonderem Interesse.²⁷²

Bei den *betriebstechnischen Versuchen* lag der Schwerpunkt bei der Beobachtung der Dosisleistungen in den Primärzellen, der Untersuchung des Aerosolverhaltens und der Überprüfung der Natriumarmaturen.²⁷³ Weitere Arbeiten galten der Anlagensicherheit und -dynamik, insbesondere zur Verifikation theoretischer Modelle.²⁷⁴ Auch die Naturkonvektion des Natriums nach Abschalten der KNK II-Anlage war Gegenstand umfangreicher Untersuchungen. In einem Test wurde die Austrittstemperatur am Reaktor als Sollwert für die Temperaturregelung benutzt. Zur Überprüfung der Abschirmrechnungen, schließlich, bestückte man einen Experimentierstopfen mit Aktivierungs sonden um die wirklichen Strahlenfelder zwischen Kern und Reaktordeckel festzustellen.

Zur Messung der *Dosisleistung* in der Primärzelle wurde ein Tauchrohr gebaut, das senkrecht in die Anlagenräume ragte. Mit kalibrierten Ionisationskammern konnte die

Dosisleistung in Abhängigkeit von Reaktorleistung bzw. Abschaltdauer an Stellen gemessen werden, die zur Wartung vorgesehen waren. Natürlich lieferte das Na 22 den höchsten Anteil zur Aktivität, aber auch Zn 65, Ag 110m und Mn 54 wurden in nicht unerheblichen Mengen nachgewiesen.

Diese wenigen Beispiele sollen einen Eindruck von der Vielfalt des Versuchsprogramms an der KNK II vermitteln.

5 Die Beendigung des Projekts

5.1 Lagebeurteilung

Der zweijährige Stillstand der KNK II in den Jahren 1988/89 - wegen technischer Probleme mit den Absorbergestängen und nicht eintreffender Genehmigung für die Standzeitverlängerung - bot ausreichenden Anlaß, über das weitere Schicksal der Anlage nachzudenken. Hinzu kam der de facto Stillstand des SNR 300 in Kalkar, um den ein heißer politisch-juristischer Streit entbrannt war.²⁷⁵

KNK II hatte, unabhängig vom weiteren Fortgang, bereits zu diesem Zeitpunkt alle Aufgaben erfüllt, deretwegen das Projekt einstmals in Angriff genommen worden war. Insbesondere war mit seiner Existenz bewiesen, daß ein natriumgekühlter Schneller Brüter in Deutschland gebaut sowie sicher betrieben werden konnte - und das nach den in diesem Land geltenden harten Anforderungen im Genehmigungsverfahren. Der Erstkern erzielte mit 100.000 MWd/t einen Spitzenabbrand; ein Element konnte sogar bis 175.000 MWd/t betrieben werden. Beim Zweitkern gab es lediglich ein knappes Dutzend Stabfehler mit eindeutig festgestellter Ursache, die bei Abänderung der Auslegung sicherlich vermieden worden wären. Der Brüterbrennstoffkreislauf konnte, wenn auch nur im Kilogrammaßstab, in Deutschland zum ersten Mal geschlossen werden.

Dem in der Vergangenheit Erreichten standen jedoch Risiken für die Zukunft gegenüber.

5.1.1 Die Situation der KNK II

Bei der Bewertung der Lage der KNK II waren insbesondere die technischen, genehmigungsmäßigen und personellen Aspekte zu bedenken.

Die *technische Situation* war verknüpft mit der Tatsache, daß die Anlage - 1971 als KNK I in Betrieb gegangen - nunmehr fast 20 Jahre alt war. Vergleichbare Natriumreaktoren im europäischen Bereich waren bereits nach 16 Jahren stillgelegt worden: der englische DFR (Betrieb 1961-1977) und der französische Rapsodie (1967-1983). Gewisse Probleme bei wichtigen Komponenten waren unübersehbar, etwa bei den Brennelementen (Abrieb, Natriumablagerungen), den Absorbergestängen (Aerosolablagerungen) sowie der Primärpumpe (Schwingungen). Sie bedeuteten zwar keine Gefahr für die Sicherheit der Anlage, behinderten jedoch den Betrieb und reduzierten ihre Verfügbarkeit. Bei künftigem Ausfall wichtiger Großkomponenten wie des Zwischenwärmetauschers, der Brennelementwechsellmaschine oder der Gleichdruckturbine hätte ein Engpaß im Ersatzteilbereich entstehen können. Die Untersuchung der Tankversprödung durch das IMF II war noch im Gange.

Auch die *genehmigungstechnische Situation* war mit Risiken behaftet. Die atomrechtliche Genehmigung für die Standzeitverlängerung des 2. Kerns kam, obschon 1984 beantragt, erst im Dezember 1988 und wurde sofort beklagt. Für den 3. Kern, dessen Brennstäbe bei Alkem (nunmehr Siemens) bereits weitgehend gefertigt waren, bearbeitete man den Sicherheitsbericht. Die Behörde hatte bereits angekündigt, daß sie ein Verfahren mit öffentlicher Auslegung und Anhörung der Einwender einleiten werde. Legte man die Erfahrungen beim Zweitkern zugrunde, so konnte man mit dieser Betriebsgenehmigung frühestens Ende 1992 rechnen. Kaum kalkulierbar waren die Risiken im Gefolge der "sicherheitstechnischen Überprüfung der Gesamtanlage", welche die Behörde bereits verfügt hatte. Gewisse Auflagen zum Brandschutz, Flugzeugabsturz und Kernschmelzen, welche beim SNR 300 schon realisiert waren, hätten die Nachrüstungsmöglichkeiten bei der Altanlage KNK II wohl überschritten. Schließlich waren die Genehmigungsprobleme bei den Heißen Zellen zu bedenken. Obschon 1977 beantragt, konnte die atomrechtliche Genehmigung zur Erhöhung des Plutoniuminventars erst 1989 mit recht aufwendigen Objektschutzmaßnahmen erlangt werden.

Auch die zukünftige *personelle Situation* an der KNK II mußte bedacht werden. Hätte man den Drittkern noch eingesetzt, so wäre ein Reaktorbetrieb bis etwa 1998, bei Be-

rücksichtigung der Brennelementausladung bis zum Jahr 2000 zu organisieren gewesen. Dies würde die Einstellung jungen technischen Personals erfordert haben. Ob dies angesichts der negativen öffentlichen Brüterdiskussion mit hinreichender Qualität möglich gewesen wäre, ist eine offene Frage.

Über die Situation bei KNK II wurde in den Jahren 1988/89 ein reger *Informationsaustausch* zwischen den Entscheidungsträgern und sonstigen Verantwortlichen betrieben.^{276,277} In die Diskussionen waren neben Vorstand und Projektleitung insbesondere Interatom, KBG und Alkem einbezogen.^{278,279} Es sei nicht verschwiegen, daß vor allem Interatom sich sehr für den Weiterbetrieb der KNK II einsetzte, wobei natürlich auch ein gewisses Lieferanteninteresse bestand. Insbesondere Dr. Höchel analysierte die Situation der Anlage sehr tiefeschürfend und machte bemerkenswerte technische und organisatorische Vorschläge.^{280,281}

Der Aufsichtsrat wurde in den halbjährlichen Sitzungen und darüberhinaus durch ausführliche Schreiben unterrichtet.²⁸² Einen vorläufigen Schlußpunkt in den Überlegungen stellte das Schreiben des Vorstandsmitglieds Prof. Hennies an den Aufsichtsratsvorsitzenden der KfK vom Oktober 1989 dar. Angesichts des Umstandes, daß die KNK II fast zwei Jahre außer Betrieb war, legte er folgendes fest:

"Der 2. Kern wird unter Ausnutzung der vorhandenen Genehmigung abgebrannt... Falls kein befriedigender Dauerbetrieb erzielt wird, wird spätestens im Frühjahr 1991 erneut die Stilllegung in Betracht gezogen.

Über die Frage des Einsatzes des 3. Kerns wird ebenfalls im Frühjahr 1991 abschließend entschieden ...".²⁸³

Werfen wir nun einen Blick auf das Leitprojekt SNR 300 und sein politisches Umfeld.

5.1.2 Der SNR 300 und sein politisches Umfeld

Mit dem Bau des SNR 300 wurde im März 1973 in Kalkar am Niederrhein begonnen. Nach zunächst zügigem Fortschritt geriet das Projekt in den darauffolgenden Jahren in größere Bedrängnis. Zahlreiche von der Genehmigungsbehörde verlangte Änderungen im Bereich der Zwischenwärmetauscher und der Notkühlung zwangen zu zeitaufwendigen und kostspieligen Umplanungen. Hinzu kamen die Auflagen zur Beherrschung des

Kernschmelzenunfalls, des sog. Bethe-Tait-Ereignisses. Im Jahre 1976 waren bereits 750 Mio. DM an Mehrkosten angelaufen, der Terminverzug war auf 20 Monate angewachsen. Im darauffolgenden Jahr verließ der bislang Projektverantwortliche Dr. Klaus Traube die Firma Interatom, und wechselte in das Lager der Kernenergieopponenten über.^{284, 285}

In den Jahren 1979-82 durchleuchtete eine vom Deutschen Bundestag eingesetzte Enquête-Kommission das Projekt Kalkar über nahezu 4 Jahre hinweg und votierte schließlich mit mehr als zwei Drittel-Mehrheit für den Weiterbau des Brüterkraftwerks.²⁸⁶

Der Antritt der christdemokratisch-liberalen Bundesregierung im Oktober 1982, die sog. "Wende", brachte das Ende der bisherigen Stagnation. Der Bau ging nun unter der Leitung von Wulf Bürkle zügig vonstatten, und mit dem Füllen der Primärkreise mit Natrium im Mai 1985 war die Errichtung, gemäß den Lieferverträgen, beendet. Nach Abschluß einiger Nachbesserungsarbeiten (Bergung einer Schwingungsmeßlanze, Trocknung des Deckelgranulats) hätte die Anlage 1986 in Betrieb genommen werden können.²⁸⁷

Dazu kam es jedoch nicht, denn der politische Wind hatte sich in der Zwischenzeit gedreht. Die SPD, im Land Nordrhein-Westfalen mit absoluter Mehrheit an der Regierungsmacht, propagierte nun unter Ministerpräsident Johannes Rau die sog. Kohlevorrang-Politik, und der bisher für die Genehmigungen bei Kalkar zuständige Minister Farthmann sprach sich gegen die Inbetriebnahme des SNR 300 aus.

Im April 1988 entschloß sich Bundesumweltminister Töpfer, dem Land Nordrhein-Westfalen (NRW) in einer sogenannten Weisung Vorgaben für die weitere Durchführung des Genehmigungsverfahrens zu erteilen. Das Land antwortete mit einer Klage gegen den Bund, die vor dem Bundesverfassungsgericht in Karlsruhe verhandelt werden mußte. Bis zur Urteilsverkündung veranschlagte man 1-2 Jahre; bis dorthin war das Projekt Kalkar in der Schwebe.²⁸⁸

Zwischenzeitlich, im April 1989, wurde eine wichtige Entscheidung auf einem anderen Gebiet der Kernenergie getroffen: Bennigsen-Foerder, Chef der Veba AG und einer der Hauptgesellschafter der DWK beschloß (für die Außenstehenden) ziemlich abrupt den Rückzug seiner Firma aus der deutschen Wiederaufarbeitung und kippte dadurch das Projekt Wackersdorf. Dem Brüter, auf die Wiederaufarbeitung zwingend angewiesen,

war dadurch ein wichtiger (nationaler) Baustein genommen. Für das Projekt Wiederaufarbeitung und Abfallbeseitigung PWA im Kernforschungszentrum Karlsruhe bedeutete es das plötzliche Ende.^{289, 290}

Für die KfK, welche über diese weitreichende Entscheidung des VEBA-Vorsitzenden weder eingebunden, noch vorab unterrichtet war, konnte dies nur bedeuten, zukünftig die eigenen Interessen - etwa beim Brüter und der KNK II - stärker im Auge zu behalten. Der Vorstandsvorsitzende des Kernforschungszentrums, Prof. Horst Böhm, brachte dies in seiner Ansprache beim Jahresempfang 1989 auf den Punkt:

*Die Entscheidung zu Wackersdorf hat uns erneut gezeigt, wo die Grenzen und die Verlässlichkeit einer langfristigen Planung bei vielen Gebieten der angewandten Forschung liegen. Sie hat zugleich deutlich gemacht, daß neben der Qualität der Forschung die **Flexibilität** sicher eine ebenso wichtige Kenngröße für die Bewertung einer Forschungseinrichtung ist, wie die immer wieder geforderte detaillierte langfristige FuE-Planung.*²⁹¹

Im Oktober 1989 wurde deshalb in Übereinkunft von Vorstand und Projektleitung das seit 1960 bestehende Projekt Schneller Brüter PSB beendet. Die stark reduzierten Restarbeiten wurden mit einigen F+E-Themen aus dem Leichtwasserreaktorgebiet zum Projekt Nukleare Sicherheitsforschung PSF zusammengelegt. KNK II wurde ausgegliedert und, wie bereits vermerkt, G. Schnetgöke unterstellt.

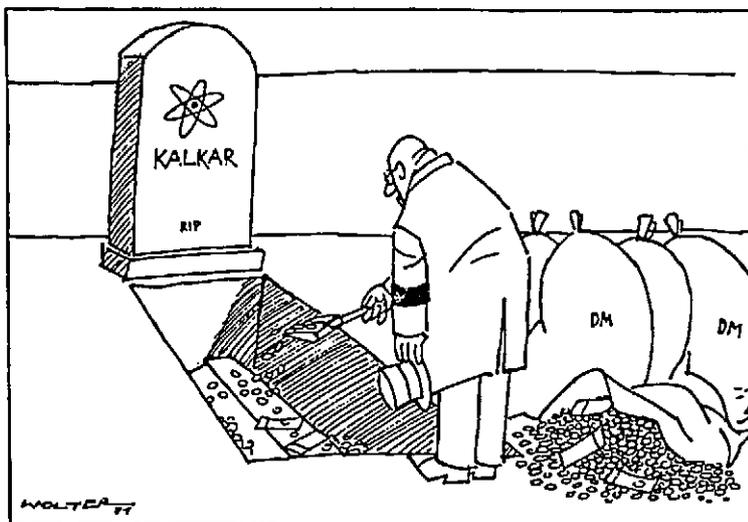
5.2 Die Beendigung der deutschen Brüterprojekte

5.2.1 Der Stopp des KKW Kalkar

Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts im Mai 1990 war eine angenehme Überraschung. Die Klage des Landes Nordrhein Westfalen wurde in allen Punkten zurückgewiesen, der Bund hatte also seine Weisungskompetenz rechtmäßig in Anspruch genommen. In der Begründung stellten die Richter fest, daß bei atomrechtlichen Verfahren dem Bund die sog. Sachkompetenz, also die Verantwortung für die Sachbeurteilung, zusteht; das Land hat die Weisungen des Bundes zu befolgen.²⁹²

Trotzdem machte das Projekt Kalkar auch in der Folge keine Fortschritte. Das Ende des SNR 300 wurde in einer Besprechung am 20. März 1991 entschieden, zu welcher der Bundesforschungsminister Dr. Heinz Riesenhuber die Vertreter der drei Energieversorgungsunternehmen RWE, PreußenElektra und Bayernwerk sowie Siemens geladen hatte. Die Beteiligten waren sich aufgrund der Sachlage einig, daß wegen der Haltung des Landes Nordrhein-Westfalen der Erhalt der Betriebsgenehmigung für Kalkar nicht mehr zu erwarten war. Um weitere Kosten zu vermeiden, beschloß man deshalb, das Projekt einzustellen. In der Presseerklärung des darauffolgenden Tages heißt es:

"Die Verantwortung für das Ende von Kalkar, so die beteiligten EVU, der Hersteller und das BMFT, liege eindeutig beim Land Nordrhein Westfalen."²⁹³



Die letzte Ehre

Die Beteiligten legten noch einvernehmlich fest, daß die Brüteroption und die Expertise der Fachleute durch Fortführung des europäischen Brüterverbundes im Rahmen des European Fast Reactor EFR aufrechterhalten werden sollte - eine Zusage, die bereits ein Jahr später durch ministeriell verfügte Mittelsperren bei Siemens/Interatom und KfK hinfällig wurde.

5.2.2 Die KNK II wird abgeschaltet

Der Stopp des SNR 300 veränderte die Brüterlandschaft in Deutschland und hatte vor allem direkte Konsequenzen für die KNK II. Da keine F+E-Arbeiten für das Leitprojekt Kalkar mehr erforderlich waren, reduzierte sich das Versuchsprogramm an der KNK II

deutlich.²⁹⁴ Dies galt insbesondere für die reaktorbezogenen Forschungsarbeiten. Bei Interatom, aber auch bei der KfK hatte ein neuer Trend eingesetzt. Die kerntechnischen Programme waren in den letzten Jahren mehr und mehr heruntergefahren worden zugunsten neu aufgenommenen Forschungsarbeiten auf den Gebieten Kernfusion, Umwelt und Mikrostrukturtechnik. KNK II war damit als Versuchsreaktor weitgehend überflüssig geworden.

Durch die Aufgabe des Projekts Kalkar entfiel auch die Notwendigkeit zum Austesten neuer Reaktorkernvarianten an der KNK II.^{295, 296} Damit gab es auch keine Notwendigkeit mehr für die Bestrahlung des bereits weitgehend gefertigten Drittkerns, sollte er doch der Vorläufer für die Nachladung beim SNR 300 sein.²⁹⁷ Hinzu kam ein neues juristisches Risiko: der Sofortvollzug nach § 80 VGO wäre bei künftigen atomrechtlichen Genehmigungen sicherlich schwieriger erreichbar gewesen, weil man sich bei der Begründung nicht mehr auf den SNR 300 hätte beziehen können. Der Nutzen einer Genehmigung ohne gleichzeitig erteilten Sofortvollzug war aber sehr begrenzt; eine Klage, mit der man in diesen Zeiten immer rechnen mußte, hätte die Verwertung der Genehmigung unmöglich gemacht.

Im Sommer 1991, etwa ein Vierteljahr nach dem Stopp des Projekts Kalkar, waren alle technischen und politischen Aspekte zur KNK II mit den Partnern und dem Aufsichtsrat durchdiskutiert. Der Vorstand der KfK mußte die Entscheidung treffen. Sie fiel in den Bereich von Professor Hans-Henning Hennies, der die Anlage seit Anbeginn bestens kannte. Als junger Wissenschaftler hatte er bei Interatom an den neutronenphysikalischen Versuchen zur KNK I mitgewirkt, Anfang der siebziger Jahre als technischer Prokurist die Kernausslegung der KNK II bestimmt und ab 1975 als Vorstand bei der KfK den Gesellschaftern gegenüber den Umbau von KNK I auf KNK II sowie den anschließenden Betrieb der KNK II verantwortet. Er hatte jetzt die Aufgabe, das weitere Schicksal der Anlage zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung all der genannten Umstände entschied Professor Hennies, daß die Anlage KNK II am Freitag, dem 23. August 1991, nach Beendigung der noch laufenden Versuche zur Regelstaboszillation, abzuschalten sei.²⁹⁸ Die schriftliche Anweisung hierzu händigte er dem Geschäftsführer der KBG, Dipl.-Ing. Steiger, der aus dem Urlaub angereist war, am gleichen Tag um 10.30 Uhr aus, der wiederum seinen Betriebsleiter (Pleesz) mit der Umsetzung beauftragte. Die Außerbetriebnahme sollte mittags durch die Frühschicht erfolgen.

Der Rest war Routine.²⁹⁹

Schichtleiter Bernhard Kunle gab seinem Stellvertreter Roland Lang um 12.00 Uhr die Order, den Speisewasserdurchsatz über Regler RD3R1 zurückzufahren. Die automatische Reaktorregelung reagierte durch Reduktion der Kühlmitteldurchsätze im Sekundär- und Primärbereich und anschließend durch Einfahren der Regelstäbe. Um 13.36 Uhr war die Kraftwerksleistung auf etwa 2 MWe abgesunken, worauf die Turbine durch Schnellschluß abgeschaltet wurde.

Um 14.00 Uhr übernahm die Spätschicht unter ihrem Leiter Günter Theil. Er überwachte den weiteren Abbau der Temperaturdifferenz zwischen Reaktorein- und -austritt und wies um 21.56 Uhr seinen Operateur Rolf Zimmermann an, die erste und zweite Abschalteneinrichtung einzufahren. Als dieser um 22.00 Uhr auch den Schlüsselschalter SS 63 "Magnetstrom aus" entriegelt hatte, war der Abfahrvorgang beendet.

Die KNK II war für immer abgeschaltet.³⁰⁰



Die KNK II wird endgültig abgeschaltet.
von links:
Kunle, Lang,
Zimmermann,
Theil

Literatur

- 1 W. D. Müller:
"Geschichte der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland; Anfänge und Weichenstellungen".
Schäffer Verlag für Wirtschaft und Steuern GmbH, Stuttgart, 1990, S. 366-385 und S. 425-428.
- 2 K. Winnacker und K. Wirtz:
"Das unverstandene Wunder"
Verlag Econ Düsseldorf 1975.
- 3 O. Keck:
"Der Schnelle Brüter; Eine Fallstudie über Entscheidungsprozesse in der Großtechnik".
Campus Verlag Frankfurt/New York 1984, ISBN 3-593-33339-2.
- 4 H. Schöller:
"Kernenergie für die Elektrizitätswirtschaft - aber wann?".
atomwirtschaft 1 (1956), S.331-332.
- 5 W. Cartellieri et.al:
"Taschenbuch für Atomfragen".
Festland-Verlag 1969, Bonn.
- 6 "SRE kritisch".
atomwirtschaft, Juni 1957, S. 206.
- 7 "OMRE in Betrieb".
atomwirtschaft, Oktober 1957, S. 343.
- 8 "Demag und NAA gründen Interatom".
atomwirtschaft 3 (1958), S. 37.
- 9 "Interatom zieht um".
Die Atomwirtschaft, Januar 1959, S. 42.
- 10 "INTERATOM aktuell".
Sonderausgabe - 30 Jahre Interatom,
Informationen für Mitarbeiter.
Hrsg.: Interatom, Ausgabe Nr. 30, Januar 1988.
- 11 "Siemens muß Standort Bergisch Gladbach schließen".
Siemens Presseinformation für die Wirtschaftspresse, Erlangen,
Informationsnummer: KWU 0393.062 d, 30. März 1993.
- 12 "Demag-Angehörige werden bei Atomics International ausgebildet".
Die Atomwirtschaft, Juni 1958, S. 251.

- 13 R. Harde, K.W. Stöhr:
 "Die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage Karlsruhe (KNK)".
 1. Teil: atomwirtschaft Juli 1966, S. 354-360 und
 2. Teil: atomwirtschaft August/September 1966, S. 448-453.
- 14 K. Einfeld, E. Ruppert:
 "Experimentelle Bestimmung der Neutronenspektren und der Abklingzeitkonstanten in Zirkoniumhydrid als Funktion der Temperatur".
 Nukleonik 7 (1965), S. 452 ff.
- 15 K. Einfeld, G. Memmert, W. Ullrich, S. Wiesner:
 "Theoretical and Experimental Investigations of Slightly Enriched Zirconium-Hydride Moderated Lattices".
 Third International Conference of the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva,
 31 August-9 September 1964.
 Proc. of the Conference, Volume 3, Reactor Studies and Performance, United Nations, New York
 1965, P/645, pp. 291-299.
- 16 A. Brandstetter, H.-H. Hennies:
 "Die Kritische Anordnung KNK".
 Atomkernenergie, 9. Jg., Heft 7/8, 1964, S. 259-262.
- 17 H. H. Hennies:
 "Cross-Sections and Resonance Parameters for ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu and ^{241}Pu between Cadmium Cutoff and 10 keV".
 Proc. of a Conference on Nuclear Data - Microscopic Cross-Sections and other Data Basic for Reactors held by the International Atomic Energy Agency in Paris, 17-21 October 1966. In two volumes. IAEA, Vienna, 1967, Vol. II, pp. 333-358.
- 18 H. Reichel, E. Ruppert:
 "Messung des totalen und schnellen Neutronenflusses in der 'Kompakter natriumgekühlten Kernreaktoranlage', KNK-I".
 Atomkernenergie (AKTE) Bd. 31, Lfg.3, 1978, S. 137-143.
- 19 H. Hübel, D. Knecht, H. Mausbeck:
 "Safety Aspects of the Experimental Power Station KNK".
 Nuclear Engineering, 10 (1965), S. 335 ff.
- 20 H. Hübel, O. Knecht, H. Mausbeck:
 "Reaktorsicherheit bei positiven Leistungskoeffizienten der Reaktivität am Beispiel des KNK".
 1. Teil: atomwirtschaft, 10, 1966, S. 506-510.
 "Reaktorsicherheit bei positivem Leistungskoeffizienten der Reaktivität am Beispiel des KNK (II)".
 2. Teil: atomwirtschaft, 11, 1966, S. 566-568.
- 21 J. Motz:
 "Über das System Zirkon-Wasserstoff".
 Zeitschrift f. Metallkunde 53 (1965), S. 770 ff.

- 22 P. Paetz:
"Über die Wasserstoffaufnahme von Zirkonhydrid, über seine Gitterparameter und über sein Verhalten bei der Bestrahlung mit schnellen Neutronen".
Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der RWTH Aachen, Dissertation (1970).
- 23 P. Paetz, K. Lücke:
"Über die Dichteänderung von Zirkonhydrid bei der Bestrahlung mit schnellen Neutronen".
Journ. Nucl. Materials, Jg. 43, H. 13, 1972, S. 13-27.
- 24 J. Motz:
"Untersuchung einiger warmfester ferritischer Stähle auf ihre Verwendbarkeit in Natriumanlagen bis zu Temperaturen von 600 °C".
Zeitschr. f. Metallkunde, 55 (1964), S. 485 ff.
- 25 R. Harde:
"Activities in the Field of Sodium Technology".
Proceedings of Sodium Component Developing Program.
TID - 4500, 1965, S. 156ff.
- 26 H. Mausbeck:
"Entwicklungsstand und Probleme der Natriumtechnologie in der Bundesrepublik".
Vorgelegt bei der Reaktortagung 1969, Frankfurt/Main, 15.-18. April 1969. Deutsches Atomforum e.V., Bonn. Veröffentlicht in: Atomkernenergie (AKTE), Bd. 15, Lfg. 1, 1970, S. 1-13.
- 27 E. Büscher, W. Jansing, H. Knuth, H. Mausbeck:
"Tests of a Tube-in-Tube Sodium-heated Steam Generator".
Proc. of the International Conference on Sodium Technology and Large Fast Reactor Design, November 7-9, 1968. ANL-7520 (Part I), 1968, pp. 335-344.
- 28 K. Dumm, H. Mausbeck, W. Schnitker:
"Status of Sodium-Water Reaction Test Work at INTERATOM".
Proc. of the International Conference on Sodium Technology and Large Fast Reactor Design, November 7-9, 1968. ANL-7520 (Part I), 1968, pp. 374-383.
- 29 H. Münster:
"Untersuchungen über Natrium-Luft-Reaktionen".
Nukleonik, 7, (1965), S. 477 ff.
- 30 R. Greifeld, O. Haxel, G. Ritter:
"Der Aufbau der Kernreaktor Bau- und Betriebs-Gesellschaft".
Atomwirtschaft 2 (1957), S. 394-398.
- 31 R. J. Gleitsmann, Universität Stuttgart:
"Im Widerstreit der Meinungen: Zur Kontroverse um die Standortfindung für eine deutsche Reaktorstation (1950 - 1955)".
Ein Beitrag zur Gründungsgeschichte des Kernforschungszentrums Karlsruhe und zu einem Kapitel deutscher Kernenergiegeschichte.
KfK-Bericht 4186, März 1988.

- 32 E. Neck:
"25 Jahre Finanz- und Rechnungswesen im Kernforschungszentrum Karlsruhe".
KfK-Bericht 3071 B, November 1980.
- 33 W. Häfele:
"Das Projekt Schneller Brüter".
Atomwirtschaft 8 (1963), S. 206-209.
- 34 "10 Jahre Kernforschungszentrum Karlsruhe".
Hrsg. Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe 1966.
- 35 J. H. Wright:
Conference on Breeding, Economics and Safety in Large Fast Power Reactors.
October 7-10, 1963
zitiert in: Schreiben Dr. Häfele, KfK, an Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung
(BMwF), Bonn
27.11.1963.
- 36 Notiz Dr. Häfele
"Die Bedeutung der KNK und ihr Zusammenhang mit dem Karlsruher Projekt Schneller Brüter".
15.06.1963.
- 37 Schreiben KfK (Dr. Greifeld, Dr. Schnurr)
an Vorstand Badenwerk AG, 31.07.1963.
- 38 H. Oehme, W. Marth:
"Die Ausnutzung des Reaktors FR 2 als Forschungseinrichtung".
Kerntechnik, 8. Jg., H. 6, Juni 1966, S. 253-256.
- 39 Notiz Prof. Wirtz, INR an DI Vomhof, PtA
30.06.1964.
- 40 Schreiben KfK (Dr. Schnurr, Dr. Greifeld)
an Interatom
"Zusatzstudien zum KNK-Reaktor".
21.07.1964.
- 41 Schreiben KfK (Dr. Schnurr, Dr. Greifeld)
an Interatom
05.10.1964.
- 42 Schreiben KfK (Dr. Schurr, Dr. Greifeld)
an Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF), Bonn
12.09.1963.
- 43 G. Bruder Müller, J. Gallenberger, H.-J. Kraus, W. Müller, H. Ramdohr:
"Die Rolle der GfK-Versuchsanlagen im Projekt Schneller Brüter".
Atomwirtschaft XII, April 1967, S. 191-194.

- 44 A. W. Eitz, H. Tebbert:
"Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe - Versuchsanlagen".
Broschüre, 1. Sept. 1972.
- 45 Liefervertrag KNK
GfK/VA, Karlsruhe - Interatom, Bensberg.
Unterzeichnet: Dr. Armbruster, Dr. Tebbert - Dr. Harde, Stöhr :
01.03.1966-31.05.1966.
- 46 Kromer, Krück:
Brief Badenwerk Karlsruhe an KBG vom 08.08.1963.
- 47 Betriebsführungsvertrag KNK
GfK/VA, Karlsruhe - KBG, Karlsruhe
Unterzeichnet: Dr. Brandl, Dr. Tebbert - Dr. Armbruster, Kullmann
03.11.1966-30.11.1966.
- 48 H. Tebbert, G. Bruder Müller, R. Harde, K. W. Stöhr:
"Die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage Karlsruhe (KNK) - Die Vorstufe
zum natriumgekühlten Brutreaktor".
Atom und Strom, 13. Jg., Sept./Okt. 1967, S. 117-129.
- 49 H. Armbruster, A. W. Eitz, R. Harde:
"Bedeutung der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK). Die Vorstufe für
das SNR 300-Projekt".
Atomwirtschaft, Jg. XVIII, Heft 2, 1973, S. 84-85.
- 50 H. Rothfuss, F. Vogt:
"Reactor Vessel System".
Nuclear Technology, Vol. 78, Sept. 1987, pp. 245-254.
- 51 F.H. Morgenstern, H. Buchholz, H. Krüger, H. Röhrs:
"Diverse Shutdown Systems for the KNK-1, KNK-2 and SNR-300 Reactors".
Fast Reactor Safety Meeting, Beverly Hills, California, U.S.A., April 2-4, 1974.
Proc. ANS Technical Group for Nuclear Reactor Safety, CONF-740401-P3, pp. 1349-1369.
- 52 H. Zeibig, E. Fortmann:
"Fracture Behaviour Investigations of 10 Cr Mo Ni Nb 910 Steel Pipes".
First International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Berlin, F.R.G.,
20-24 September 1971.
Proceedings Commission of the European Communities, Brussels. Bundesanstalt für
Materialprüfung (BAM), Berlin, Vol. 6 Structural Analysis and Design, Part L Thermal and
Mechanical Analysis, L 6/7, pp. 605-614.
- 53 G. Bruder Müller, W. Marth, H. Tebbert:
"Erfahrungen bei der Durchführung des Projekts KNK".
Atomwirtschaft, Jg. XVIII, Heft 2, 1973, S. 85-87.
- 54 J. Gilles, G. Hendl, G. Herberg, H. Mausbeck, G. Bruder Müller, G. Finke:
"Bau- und Inbetriebnahme-Erfahrungen bei KNK".
Atomwirtschaft, Jg. XVIII, Heft 2, 1973, S. 88-93.

- 55 G. Hendl, G. Herberg, L. Jegeroff, W. Marth:
"Erfahrungen während des Natrium-Probebetriebes an der KNK".
Reaktortagung 1972, Hamburg, F.R.G., 11.-14. April 1972. Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1972,
S. 602-605.
- 56 G. Kirchner, U. Schäfer, S. Herberg, G. Hendl, W. Albat:
"Erfahrungen mit Na-Versuchsanlagen und bei der K N K - Inbetriebnahme im Hinblick auf schnelle
Na-gekühlte Reaktoren".
"Experience in Sodium Test Facilities and Commissioning of KNK with a View to Fast Sodium-Cooled
Reactors".
Int. Conference on Engineering of Fast Reactors for Safe and Reliable Operation,
Kernforschungszentrum Karlsruhe, October 9-13, 1972.
Proceeding. Editor: D. Faude. Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe, 1973, Volume II,
pp. 522-536.
- 57 H. Henssen, A. Stojadinovic:
"Die Auswertung der Nulleistungsversuche bei KNK".
Reaktortagung 1972, Hamburg, F.R.G., 11.-14. April 1972. Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1972,
S. 94-97.
- 58 D. Althaus, W. Jansing, R. Kesseler, G. Kirchner, J. Menck:
"Experience with Handling Core Subassemblies in Sodium-Cooled Reactor KNK and Test Rigs".
International Conference Organized by the British Nuclear Energy Society held at the Institution of
Civil Engineers, London, 11-14 March 1974.
Proceedings BNES, Vol. 2, Specialist Session 6: Fuel Handling and other Mechanisms, London,
1974, pp. 545-554.
- 59 W. Marth:
"Erfahrungen bei der Inbetriebnahme der KNK I und Umbau-Vorbereitungen für KNK II".
Statusbericht 1974, Projekt Schneller Brüter, Karlsruhe, F.R.G., 26. März 1974.
KfK-Bericht 2003, März 1974, S. 35-46.
- 60 G. Bruder Müller, G. Finke, E. Guthmann, G. Hendl, W. Marth:
"Operating Experience with the KNK Reactor and Preparations for a Fast Mixed Oxide Core
(KNK II)".
International Conference Organized by the British Nuclear Energy Society held at the Institution of
Civil Engineers, London, 11-14 March 1974.
Proceedings BNES, Vol. 2, Plenary Session 3: Planned Power Plants, London, 1974,
pp. 111-118.
- 61 H. Lorenz, G. Herberg:
"Dampferzeugerschaden an der KNK-Anlage".
2. Internationales Kolloquium "Schweißen in der Kerntechnik", Düsseldorf, F.R.G.,
23.-24. Oktober 1974, S. 299-302.

- 62 W. Marth, K. Dumm:
"Problems with Sodium Steam Generators: Example of a Leakage in a Steam Generator of the Sodium-Cooled KNK Nuclear Power Station".
Symposium on Experience from Operating and Fuelling Nuclear Power Plants, Vienna, 8-12 October 1973.
Proc. International Atomic Energy Agency, IAEA-SM-178/17, Vienna, 1974, pp. 343-352.
- 63 W. Marth:
"Das Projekt KNK - Vorstufe zum natriumgekühlten Brutreaktor".
KfK-Nachrichten, Jg. 13, 1-2/81, S. 17-22.
- 64 Assoziationsvertrag zwischen GfK und EURATOM (technischer Anhang),
1963.
- 65 H.E. Häfner:
"Bestrahlung an Brennstäben in instrumentierten Blei-Wismut-Kapseln".
Kerntechnik, Heft 3, 1968, S. 136-141.
- 66 H. Oehme, W. Marth:
"Die Ausnützung des FR 2 als Forschungseinrichtung".
Kerntechnik, 8. Jg., Heft 5, 1966, S. 253-256.
- 67 C. Cawthorne, E.J. Fulton:
"Voids in irradiated stainless steel".
Nature, Vol. 216, November 11, 1967, pp.575-576.
- 68 G. Karsten:
"Die Arbeiten zur Brennelemententwicklung".
Atomwirtschaft 16 (1971), S. 256-259.
- 69 "Euratom bestrahlt Brennelemente für Schnelle Brüter in den USA".
Deutscher Forschungsdienst,
Sonderbericht Kernenergie (13. Jan. 1966) 10.
- 70 D. Geithoff, K. Kummerer:
"Auslegung, Bestrahlung und zerstörungsfreie Nachuntersuchung des UO_2 - PuO_2 -Brennstab-
bündels DFR 350".
KfK-Bericht 1377 (1972).
- 71 P. Engelmann:
Notiz an Projektrat PSB,
23.10.1971.
- 72 W. Marth:
Aktenvermerk
Besprechung mit BMwF am 03.09.1969.
- 73 W. Häfele:
Notiz an die Geschäftsführung Versuchsanlagen über Geschäftsführung/F
12. Mai 1969.

- 74 A.W. Eitz:
"Ad hoc Ausschuß des Projektkomitee Schneller Brüter - Stellungnahme zur technischen Baureife des SNR 300".
21.07.1970.
- 75 Anlage B zum Bewilligungsbescheid
III B1 - 5532 - 11 - 56/66.
- 76 Kurzprotokoll
15. Sitzung des Projektkomitee Schneller Brüter.
18.03.1971.
- 77 W. Marth:
"Zusammenfassung des Ausschußberichts über essential KNK".
25.10.1971.
- 78 H. Mausbeck:
"Materials Experience with Large Sodium Loops and Components".
International Conference on Liquid Metal Technology in Energy Production,
Champion, Pennsylvania, U.S.A., May 3-6, 1976.
Proceedings American Nuclear Society, Hinsdale III, U.S.A.. CONF-760503-P1,
November 1976, pp. 67-74.
- 79 Telegramm-Schreiben
an Alkem, RBU, Interatom
29.10.1971.
- 80 G. Schnetgöke:
Finanzplan KNK II.
31.12.1971.
- 81 W. Häfele:
Statusbericht 1971.
Schweizerische Vereinigung für Atomenergie, Beilage zu Bulletin Nr. 7, April 1971 und
atomwirtschaft, Mai 1971, S. 247-250.
- 82 "Ad hoc Ausschuß Überprüfung des Projekts KNK II".
19.07.1972.
- 83 J. Höchel:
"BE-Bündelbestrahlungen im KNK II"
(Schreiben an GfK/VA)
18.01.1972.
- 84 K.W. Stöhr, H. Andrae:
"Bedeutung und Nutzen der KNK II für die Entwicklung des Schnellen Natriumgekühlten Reaktors
SNR 300". (Notiz)
10.01.1972.

- 85 Kurzprotokoll 4. Sitzung:
"Ad hoc-Ausschuß Überprüfung des Projekts KNK II".
08.03.1972.
- 86 Protokoll
80. Sitzung der RSK.
24.01.1973.
- 87 Vertrag über den Umbau der KNK in eine Anlage mit Schnellern Kern (KNK II).
GfK/VA, Karlsruhe - Interatom, Bensberg
(Unterzeichnet: Dr. Marth, Dr. Tebbert - Dr. Traube, Brakelmann)
19.06.1973 -12.06.1973.
- 88 W. Marth:
Aktenvermerk KNK II
30.03.1973.
- 89 H.H. Hennies, H. Mausbeck:
"Die Bedeutung der KNK II für das Kernforschungszentrum Karlsruhe und die Entwicklungsgemeinschaft Schneller Brüter".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 3.
- 90 A. G. Plessa:
"Fuel Element Irradiation in the KNK for the Development of the German Fast Breeder".
Proceedings of the International Conference held at Thurso, Caithness, Scotland,
14th-17th April 1969. UKAEA Reactor Group, Risley, U.K., 1970, Paper 2/3, pp. 175-183.
- 91 H. Schäfer, W. Klassmann:
"Application of Hot Channel Analysis to KNK-II".
Principles of Hot-Channel Factor Calculations for Fast Reactors.
Summary Report of a Panel Meeting on Principles of Hot-Channel Factor Calculations for LMFBR's
held in Karlsruhe, F.R.G., 22-24 November 1973, IWGFR, International Atomic Energy Agency,
Vienna, IAEA-166, 1974, pp. 161-188.
- 92 U. von Möllendorff:
"SNEAK 11: Kritische und unterkritische Experimente zu Nachladekernen für KNK II".
KfK-Bericht 3464, August 1983.
- 93 W. Marth, K. W. Stöhr, H. Andrae:
"KNK II Auslegung und Stand des Projekts".
Reaktortagung '71, Bonn, 30. März-2. April 1971. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1971, S. 754-757.
- 94 H. Andrae, H. Mayer, K. H. Wenk:
"Entwicklung und Auslegung der KNK-Brennelemente".
Reaktortagung '71, Bonn, 30. März-2. April 1971. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1971, S. 594-597.

- 95 D. Eitner, P. Engelmann, E. Ruppert:
"Physics Considerations in the Design of, and Mock-up Experiments in SNEAK for, KNK-II".
International Conference on the Physics of Fast Reactor Operation and Design, London,
24-26 June 1969. The British Nuclear Energy Society.
Proc. of an International Conf. at the Institution of Civil Engineers, London SW1. Paper 2.1,
June 1969, pp. 201-212.
- 96 H. Henssen, W. Feltes, J. Heinecke, E. Ricken, H. Wilhelm:
"Die Auslegung des Reaktorkerns".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 10-11.
- 97 J. Höchel:
"Die SNR-Kerne - KNK-II, SNR-300 bis SNR-2".
Das Brennelement des Natrium-Brüters. Fachtag der Fachgruppe der Kerntechnischen Gesellschaft
zum Thema Brennelemente und Brennstoffkreislauf, Karlsruhe, 28.-29. Oktober 1976.
KfK-Bericht 2416, Oktober 1976, S. 12-18.
- 98 W. Marth, K.W. Stöhr:
"Das KNK-Projekt als Vorstufe des Schnellen Brüters".
Reaktortagung '72, Hamburg, 11. April-14. April 1972. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1972, S. 696-699.
- 99 H. Andrae, W. Marth:
"Das Projekt KNK II".
Atomwirtschaft, Jg. XVIII, Heft 2, 1973, S. 93-95.
- 100 P. Voj, A. Benemann, K. Brockmann, D. Markfort:
"Untersuchung der Druckprofile in Brennelement-Stabbündeln".
Reaktortagung 1973, Karlsruhe, 10.-13. April 1973. Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1973,
S. 178-181.
- 101 W. Dietz, P. Dünner, H. Mayer, B. Steinmetz, H. Többe:
"Die Auslegung der Kernelemente".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S.12-13.
- 102 H. W. Glinsky, F. Mehren, P. Voj, H. Hoffmann, K. Marten:
"The Shutdown Systems of KNK and SNR 300".
International Symposium on Design, Construction and Operating Experience of Demonstration
LMFBRs held in Bologna, Italy, 10-14 April 1978. IAEA-SM-225/28. Proc. IAEA, Vienna, 1978,
pp. 191-203.
- 103 W. Bergmann, S. Janson, R. Meyer:
"Die Sicherheits- und Prozeßinstrumentierung - Das Konzept".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 20-21.
- 104 H. Hans, J. Barzantny, A. Schönsiegel, H. Jäger, H. Richard, E. Zimmermann, W. Zirlewagen:
"Die Sicherheits- und Prozeßinstrumentierung - Die Ausführung".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 22-23.

- 105 D. Klein, K. Gielen, H. Niebel, H. Kappauf:
"Das Verhalten der Anlage bei betrieblichen Transienten".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 16-17.
- 106 H. Vossebrecker, F.J. Bange, S. Dreyer, G. Grönefeld, P. Meyer, K. Schwarzin:
"Das Notkühlsystem".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 26-27.
- 107 H. Hübel, P. Cerutti, G. Friedel:
"Zentrale Fragen der Sicherheitsauslegung".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 30-31.
- 108 K.A. Busch, D. Schmitz, H. Zeibig:
"Kriterien und Methoden zur Erdbebenertüchtigung".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 32-33.
- 109 A. Angerbauer, H. Kappauf:
"Beurteilung der KNK-Primärrohrlösungen nach neuen Spannungs- und Dehnungskriterien".
Reaktortagung 1974, Berlin, 2.-5. April 1974. Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1974,
S. 199-202.
- 110 K.A. Busch, H. Hillekum, G. Radermacher, D. Schmitz, K. Vinzens:
"Die Erdbebenertüchtigung der Rohrleitungen des Wärmeübertragungssystems".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 36-37.
- 111 W. Marth, H. Andrae, K.A. Busch, E. Guthmann, G. Hendl:
"KNK II - Construction and Aseismic Design".
International Symposium on Design, Construction and Operating Experience of Demonstration
LMFBRs held in Bologna, Italy, 10-14 April 1978. IAEA-SM-225/30. Proc. IAEA, Vienna, 1978,
pp. 205-216. ISBN 92-0-050278-4.
- 112 K.A. Busch, H. Kappauf, H.W. Klein, J. Schmitz, K. Vinzens:
"Die Erdbebenertüchtigung der Komponenten des Wärmeübertragungssystems".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 34-35.
- 113 F. Vogt, W. Erdmann, H. Katzmann, J. Menck, H. Breittländer, B. Reuter:
"Das Handhabungssystem".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 28-29.
- 114 W. Marth, G. Schnetgöke, W. Kathol, H. Richard:
"Die Entsorgung der KNK II".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 58-59.
- 115 1. Teilerrichtungsgenehmigung KNK II.
IV 8722. 412/57.
02.05.1975.
- 116 R. Gürtler, W. Perabo, B. Reuter, Katemann, J. Ristow:
"Betriebshandbuch und Sicherheitspezifikation".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 52-53.

- 117 H.-G. Fendler, F. Bosten, H. Jurgutat, E. Morgner:
"Die Begutachtung der Anlage".
KfK-Nachrichten, 9. Jg. 3/4, 1977, S. 38-39.
- 118 H. Andrae, D. Forst, G. Guthmann, G. Schnetgöke:
"Das Genehmigungsverfahren".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 40-41.
- 119 K. Stickel, H. Eversberg, P. Romeike, E. Zimmermann:
"Die Dokumentation der Anlage".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 42-43.
- 120 W. Marth:
"Erfahrungen bei Bau und Betrieb der KNK II".
KfK-Nachrichten, 15. Jg., 3/83, S. 191-197.
- 121 O. Grözinger, H. Jurgutat, E. Morgner:
"Praktizierte Qualitätssicherung bei der KNK II".
Reaktortagung, Mannheim, 29. März-1. April 1977, Kerntechnische Gesellschaft
Deutsches Atomforum e.V., Bonn, S. 852-856.
- 122 H. Beisswenger, F. Brodt:
"Beurteilung der Auslegung von oxidischen Brennstoffen und Abnahmekriterien für Brennelemente".
Konferenz Charakterisierung und Qualitätskontrolle von Kernbrennstoffen, Karlsruhe,
13-15. Juni 1978. Journal of Nuclear Materials, Volume 81 (1979) 283-286.
- 123 K. Ennerst, K. Gruber, G. Bestenreiner, W. Feldmann, K.-H. Wenk:
"Die Brennelement-Fertigung und -Qualitätssicherung".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 14-15.
- 124 W. Marth:
"Die Errichtung der KNK II aus der Sicht des Bauherrn".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 4-5.
- 125 H. Richard, G. Finke, K. Ch. Stade:
"Entladen und Abtransport des KNK I - Cores".
Reaktortagung 1976, Düsseldorf, 30.03.-02.04.1976. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1976, S. 762-765.
- 126 D. Forst, E. Guthmann, H. Andrae, P. Romeike:
"Einflüsse des Backfittings im Genehmigungsverfahren KNK II".
Reaktortagung 1978, Hannover, 4.-7. April 1978, Kerntechnische Gesellschaft,
Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1978, S. 406-409.
- 127 G. Brudermüller, G. Finke:
"Die Betriebsführung und Bauüberwachung aus der Sicht des Betreibers".
KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 8-9.

- 128 R. Kimpel, F. Nowitzki:
"Untersuchung zur Funktionstüchtigkeit und Lebensdauer der 1. und 2. Abschaltvorrichtung KNK II".
Reaktortagung 1977, Mannheim. 29.03.-01.04.1977. Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1977,
S. 710-713.
- 129 G. Guthmann, H. Andrae, D. Forst, P. Romeike:
"Die Abwicklung des Projektes KNK II aus der Sicht des Herstellers".
KIK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 6-7.
- 130 G. Hendl, W. Albat, H. Katemann, O. Kuck:
"Die Montagearbeiten auf der Baustelle".
KIK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 44-45.
- 131 300. Projektbesprechung.
Interatom, Ident-Nr. 75.19855.1
23.09.1991.
- 132 H. Overbeck:
"Der Schnelle Brüter in Kalkar".
VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992.
- 133 M. Schmidt-Hönow, N. Mörig, R.-D. Eisele, H. Richard:
"Das Inbetriebnahmeprogramm".
KIK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 46-47.
- 134 W. Albat, M. Schmidt-Hönow, G. Finke, H. Richard:
"Nukleare Inbetriebnahme der KNK II-Anlage".
atomwirtschaft, März 1978, S. 122-124.
- 135 H. Richard, M. Schmidt-Hönow, H. Wilhelm, W. Feltes, A. Strömich:
"Die Nukleare Inbetriebnahme KNK-II".
Reaktortagung 1978, Hannover, 4.-7. April 1978. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1978, S. 82-85 und S. 935-938.
- 136 G. Bruder Müller, G. Finke, W. Marth, H. Mausbeck:
"Power Startup of the First German Fast Sodium-Cooled Reactor, KNK II".
European Nuclear Conference, Hamburg, F.R.G., 6-11 May 1979.
Trans. Am. Nucl. Soc. (1979), Vol. 31, pp. 112-114.
- 137 A. Stanculescu, U. Wehmann, H. Wilhelm, F. Sperber, W. Feltes:
"Nuclear Design of the Fast Test Reactor KNK II and some Aspects of its
Operational Behaviour".
International Symposium on Fast Reactor Physics Jointly held in Aix-en-Provence, France,
24-28 September 1979. IAEA-SM-244/51. Proceedings Fast Reactor Physics 1979, (in two
Volumes). IAEA, Vienna, 1980, Vol. I, pp. 481-494.
- 138 K. Rudzinski:
"Der Störfall am Brüter-Versuchsreaktor in Karlsruhe".
Frankfurter Allgemeine Zeitung, 17.1.1979.

- 139 H. Hübel:
"Gasblasen im Reaktorkern".
Frankfurter Allgemeine Zeitung, 22.2.1979, Nr. 45.
- 140 P. Hoppé, H. Massier, F. Mitzel, W. Váth:
"Untersuchungen zum Gaseintrag an KNK II".
KfK-Bericht 2867, November 1979.
- 141 H. U. Borgstedt:
"Zur Frage eines Beitrags der Löslichkeit von Argon zum Gastransport in der KNK II".
atomwirtschaft, Juni 1980, S. 303-304.
- 142 M. Edelmann, P. Hoppé, F. Mitzel, W. Vaeth:
"Two-Phase-Flow Effects Observed in a Sodium-Cooled Reactor".
American Nuclear Society Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, June 8-12, 1980.
Trans. Am. Nucl. Soc. (1980), Vol. 34, S. 798-799. ISSN: 0003-018X.
- 143 J. Höchel, H. Schott:
"Untersuchungen zu den Gasdurchläufen durch den Reaktorkern der KNK-II".
Zusammenfassender Bericht über die erzielten Ergebnisse bis Dezember 1979.
Interatom, Bergisch Gladbach 1, INTAT 75012841, April 1980.
- 144 J. Höchel, W. Marth, G. Bruder Müller:
"Operational Safety Experience gained with KNK II".
International Topical Meeting on Liquid Metal Fast Breeder Reactor Safety and Related Design and Operational Aspects. July 19-23, 1982, Lyon, Ecully France.
Proc. of the L.M.F.B.R. Safety Topical Meeting. Vol. I, Actes de la Conference de Lyon, Vol. I, Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN), Paris, 1982, pp. I.257-I.267.
- 145 K. Brockmann, P. Voj, G. Bestenreiner:
"Entwicklung eines integrierten Zyklonabscheiders für das KNK II - Reflektorelement".
Jahrestagung Kerntechnik '82, Mannheim, 4.-6. Mai 1982. Tagungsbericht Kerntechnische Gesellschaft e.V., Deutsches Atomforum, Bonn, ISSN 0720-9207, S. 141-144.
- 146 H.-J. Schade, H. Püschel, J. Heinecke, D. Klein:
"Berechnung von Brennelementaustrittstemperaturen zur Interpretation der Reaktivitätsänderungen aufgrund von Gasdurchläufen durch den Kern der KNK-II".
Jahrestagung Kerntechnik '80, Berlin, 25.-27. März 1980. Tagungsbericht Kerntechnische Gesellschaft e.V., Deutsches Atomforum, Bonn, ISSN 0173-0924, S. 811-814.
- 147 K. Bär, K. Brockmann, P. Voj:
"Versuche zu Gasblasentransport und -speicherung an der KNK - Anlage".
Jahrestagung Kerntechnik '81, Düsseldorf, 24.-26. März 1981. Tagungsbericht Kerntechnische Gesellschaft e.V., Deutsches Atomforum, Bonn, ISSN 0173-0924, S. 97-100.
- 148 H. Richard, K. Ch. Stade, S. Jacobi, L. Stieglitz, R. Becker, J. Dauk:
"Experience of Failed Fuel Detection and Localization at KNK II".
Specialists' Meeting Fuel Failure Detection and Location in LMFBRs, Karlsruhe, F.R.G., May 11-14, 1981. Editor: S. Jacobi.
KfK-report 3203/IWGFR 38, Juni 1982, pp. 93-111.

- 149 J. Dauk, M. Relic, G. Finke, H. Richard, S. Jacobi, L. Stieglitz:
 "Detektion und Lokalisierung des 2. Brennelements Schadens in der KNK II".
 Jahrestagung Kerntechnik '81, Düsseldorf, 24.-26. März 1981. Tagungsbericht Kerntechnische
 Gesellschaft e.V., Deutsches Atomforum, Bonn, ISSN 0173-0924, S. 537-540 und Kurzbeitrag
 atomwirtschaft, August/September 1981, S. 481-482.
- 150 G. Bruder Müller, G. Finke, H. Richard, K. Ch. Stade:
 "18 Days KNK II Operation with a Failed Fuel Element Based on In-Pile Loop Experiments".
 ANS Topical Meeting Reactor Safety Aspects of Fuel Behavior, Sun Valley, Idaho, U.S.A.,
 August 2-6, 1981. Proceedings American Nuclear Society, LaGrange Park, Ill., U.S.A.,
 1981, pp. 1.232-1.242.
- 151 "Versuchsbrüter erzielt Spitzenwerte:
 Frankfurter Rundschau, 18.12.1982.
- 152 "Brüter-Brennelemente mit hohem Abbrand".
 Frankfurter Allgemeine Zeitung, 19.01.1983, Nr. 15.
- 153 E. te Heesen, W. Ohly:
 "Werkstofftechnische Überwachung von Reaktortank und Einbauten bei KNK und SNR 300".
 Jahrestagung Kerntechnik '83, Berlin, 14.-16. Juni 1983. Deutsches Atomforum, Bonn, 1983,
 S. 635-638. ISSN 0720-9207.
- 154 H. Jung, E. Zimmermann:
 "Das Wiederholungsprüfprogramm".
 KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 54-55.
- 155 H. Schöller, H. Richard, H. Lindhorst, D. Schlottmann, D. Schneeloch:
 "Der Prozeßrechner und seine betriebliche Nutzung".
 KfK-Nachrichten, 9. Jg., 3/4, 1977, S. 50-51.
- 156 W. Marth:
 "KNK II Back-Fitting Requirements and Operational Experience".
 Second International Conference on Liquid Metal Technology in Energy Production. Richland,
 Washington, U.S.A., April 20-24, 1980. Proceedings, Editor: J. M. Dahlke, Washington D.C.,
 American Nuclear Society, CONF-800401-P1, 1980, S. 6.10-6.16.
- 157 G. Finke, E. Zimmermann, H. Breitländer:
 "Inspection and Maintenance at KNK II".
 International Topical Meeting on Liquid Metal Fast Breeder Reactor Safety and Related
 Design and Operational Aspects. July 19-23, 1982, Lyon, Ecully France.
 Proc. of the L.M.F.B.R. Safety Topical Meeting. Vol. II, Actes de la Conference de Lyon,
 Vol. II, Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN), Paris, 1982, pp. II.709-II.716.
- 158 W. Schmidt:
 "Zuverlässigkeit von natriumspezifischen Komponenten".
 atomwirtschaft, Februar 1981, Jg. 26, Heft 2, S. 77-79.
- 159 W. Marth:
 "Das Brüter-Versuchskernkraftwerk KNK II und seine Nutzung für den Brennstoffkreislauf".
 Atom + Strom, Jg. 28, Heft 3, Mai-Juni 1982, S. 77-84.

- 160 H. Enderlein:
"The Hot Cells of the Kernforschungszentrum Karlsruhe".
Proceedings, 35th Conference on Remote Systems Technology, ANS, 1987,
pp. 70-75.
- 161 H. Enderlein, H. Ziegler:
"Remotely Handled Disassembly of the KNK II Fast Breeder Fuel Elements".
Proceedings, 37th Conference on Remote Systems Technology, ANS, 1989,
pp. 69-74.
- 162 H. Enderlein, W. Kathol:
"Die Zerlegung und Nachuntersuchung des ersten und zweiten defekten KNK II-Brennelements".
Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
KfK-Bericht 3278, März 1982, S. 56-82.
- 163 G. Bestenreiner:
"Die Zerlegung von Schnellbrüter-Brennelementen mit Gitterabstandshaltern".
Jahrestagung Kerntechnik, Fachsitzung, 24.-26. März 1981. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1981, S. 55-72.
- 164 W. Köhler, J. Vagner, H. Enderlein, H. Lahr, H. Deckers, H. Reiser:
"Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum mechanischen Teil des Brüterbrennstoff-
Kreislaufs".
KfK-Nachrichten, Jg. 15, 3/83, S. 180-189.
- 165 H. Kleykamp, R. Pejsa:
"Untersuchungen zur Homogenität des Mischoxids in verschiedenen Stadien des
Brennstoffkreislaufs".
Schnellbrüter-Brennelemententwicklung - Beiträge zum Seminar am 15./16. November 1982
im Kernforschungszentrum Karlsruhe. Hrsg.: W. Marth, G. Mühling, PSB.
KfK-Bericht 3505, August 1983, S. 70-80.
- 166 H. Kleykamp:
"Zusammensetzung des Rückstands von KNK II/1-Brennstoff nach Auflösung in HNO_3 ".
atomwirtschaft, Mai 1987, Vol. 32(5), S. 235-236.
- 167 H.-J. Bleyl:
"Die Wiederaufarbeitung von Brennstoff aus dem ersten defekten KNK II-Brennelement in der
MILLI".
Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
KfK-Bericht 3278, März 1982, S. 93-99.
- 168 K. Ebert, E. Henrich, H. Schmieder:
"Concept of an Advanced FBR-Purex-Process".
International Conference on Fast Breeder Systems: Experience Gained and
Path to Economic Power Generation, Pasco-Richland, U.S.A., September 13-17, 1987.
Proc. American Nuclear Society (ANS), La Grange Park, Ill., U.S.A., 1987, pp. 7.3-1 to 7.3-8.

- 169 V. Schneider, W.G. Druckenbrodt:
 "Erfahrungen zur Brennstoff-Rezyklierung".
 Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
 im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
 KfK-Bericht 3278, März 1982, S. 121-124.
- 170 G. Schnetgöke:
 "Das Referenzkonzept zur Entsorgung der KNK II".
 Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
 im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
 KfK-Bericht 3278, März 1982, S. 14-28.
- 171 "Service Agreement for the Reprocessing of KNK II Irradiated Fuel".
 Commissariat à l'Énergie Atomique and Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH.
 December 1980.
- 172 W. Marth:
 "KNK II Operating Experience and Fuel Cycle Activities".
 International Conference on Nuclear Power Experience, Vienna (Austria), 13-17 September 1982.
 IAEA-CN-42/379. Proceedings "Advanced Systems and International Co-operation". Vienna: IAEA,
 1983, Vol. 5, S. 167-177. ISBN 92-0-050483-3.
- 173 W. Marth, G. Bestenreiner, H.-J. Bleyl, H. Enderlein, K. Knecht, W. Köhler, H. Lahr,
 W. Ochsenfeld:
 "Fuel Cycle Activities at the German Experimental Fast Breeder Plant KNK II".
 International ENS/ANS Conference New Directions in Nuclear Energy with Emphasis on Fuel Cycle,
 Bruxelles, B, April 26-30, 1982.
- 174 K. Ch. Stade, H. Breitländer, H.H. Stamm:
 "Die Entfernung des Natriums von Brennelementen".
 Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
 im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
 KfK-Bericht 3278, März 1982, S. 29-45.
- 175 G. Bestenreiner, W. Köhler:
 "The mechanical headend for KNK II and SNR 300 subassemblies".
 International Conference on Fast Reactor Fuel Cycles, London, U.K., 9-12 November 1981.
 BNES, London, Thomas Telford Ltd., 1982, pp. 381-384. ISBN 0 7277 0157 6.
- 176 H. Alfke, H.-J. Bleyl, R. Grimm, W. Ochsenfeld, H. Enderlein, H. Kleykamp, H. Wertenbach:
 "Die Schließung des Brüterbrennstoffkreislaufs der KNK II".
 KfK-Nachrichten, Jg. 15, 3/83, S. 171-179.
- 177 K. Wasinger:
 "Konzeptstudie zur Zwischenlagerung von KNK II-Brennelementen unter Wasser".
 Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
 im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
 KfK-Bericht 3278, März 1982, S.157-164.

- 178 P. Amtzen, A. Gasch:
"Konzeptstudie zur Zwischenlagerung von KNK II-Brennelementen in einem Blocklager".
Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
KfK-Bericht 3278, März 1982, S. 165-172.
- 179 W. Bergmann, G. Dries, R. Laug:
"Konzept zur Zwischenlagerung bestrahlter KNK II-Brennelemente in Transport-/Lagerbehältern".
Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
KfK-Bericht 3278, März 1982, S.173-183.
- 180 K. Knecht:
"Unterwassertechnik zur Reparatur von LWR-Brennelementen unter deren Anwendung für die
Zerlegung von KNK-BE".
Technologische Fragen des Brüterbrennstoffkreislaufs - Beiträge zum Seminar am 15. Okt. 1981
im Kernforschungszentrum Karlsruhe, Hrsg.: W. Marth, H. Lahr, PSB.
KfK-Bericht 3278, März 1982, S.142-150.
- 181 H. Lahr, W. Marth:
"Interim storage of spent KNK II breeder fuel elements".
International Conference on Fast Reactor Fuel Cycles, London, U.K., 9-12 November 1981.
BNES, London, Thomas Telford Ltd., 1982, pp. 273-281. ISBN 0 7277 0157 6.
- 182 G. Koch, H. Goldacker, H. Haug, E. Henrich, W. Ochsenfeld, H. Schmieder, G. Böhme,
W. Köhler, L. Grimm:
"MILLI II: Konzeptstudie einer Pilotanlage zur Wiederaufarbeitung von Schnellbrüter-
Brennelementen".
KfK-Nachrichten, Jg. 15, 3/83, S. 158-170.
- 183 H. Mayer, H. Andrae:
"The Role of the KNK-II Facility for the Development of SNR Fuel Subassemblies".
Topical Meeting Irradiation Experimentation in Fast Reactors, Jackson Lake Lodge, Wyoming,
September 10-12, 1973.
Proc. American Nuclear Society, Hinsdale, Illinois, U.S.A., 1973, pp. 166-185.
- 184 H. Mayer:
"Begründung für die ursprüngliche Wahl der Brennstoffdichte; internationaler Stand der
zeitlichen Entwicklung der Dichteausswahl".
Interatom-Notiz Nr. 54.3376.7 vom 06.04.1979.
- 185 H. Morelle, H. Hübel, W. Roßbach:
"Umstellung des Brennstoffs auf bessere Löslichkeit (höhere Dichte): techn. und geneh-
migungstechn. Daten, Bewertung und Empfehlung der INB an SBK".
INB-Notiz Nr. 401.1896.5 vom 28.07.1980.
- 186 J. Höchel:
"Abbrand von Schnell-Brüter-Brennelementen".
KTG-Fachtag 1982, Geesthacht, 1982.

- 187 J. Höchel, H. Mayer:
 "Entwicklung und Betrieb von Brennelementen für natriumgekühlte Brutreaktoren in Deutschland".
 Atomkernenergie, Kerntechnik, Bd. 36, Lfg. 4, 1980, S. 264-270.
- 188 K. Ehrlich, L. Schmidt:
 "Stand und Tendenzen bei der Hüll- und Kernstrukturmaterialentwicklung".
 KfK-Nachrichten, Jg. 15, Heft 2, 1983, S. 132-142.
- 189 H. H. Hennies, J. Höchel, W. Marth, H. Mausbeck, W. Stoll
 -Entwicklungsgemeinschaft Schneller Brüter-:
 "Die deutsche Brüterentwicklung - Stand und Perspektiven".
 atomwirtschaft, März 1981, S. 151-156.
- 190 U. Neumann, K. Ennerst, K. Gruber, J. Krellmann:
 "Erfahrungen bei der Herstellung der Plutonium-Brennstäbe für die erste Kernladung des KNK II und die weitere Entwicklung für die Folgekerne".
 Brief an Dr. W. Marth von H. Roepenack, Alkem, Hanau, vom 15.10.1982.
- 191 "Löslichkeit von Brüterbrennstoffen verbessert".
 FAZ - Blick durch die Wirtschaft, Nr. 210, 31.10.1983.
- 192 W. K. Biermann, K. Ehrlich, G. Mühlring:
 "Operational Behavior of FBR Mixed Oxide Fuel Pins".
 Effects of Radiation on Materials: 14th International Symposium (Volume II), ASTM STP 1046,
 N. H. Packan R. E. Stoller, and A. S. Kumar, Eds., American Society for Testing and Materials,
 Philadelphia, 1990, pp. 769-781.
- 193 "Betriebsverfahren mit Kernkraftanlagen in der Bundesrepublik Deutschland".
 Betriebs-/Jahresberichte von 1972-1987 des ABE-Ausschusses im Arbeitskreis I "Technik und Industrie" des Deutschen Atomforums e.V., Bonn, veröffentlicht in "Atom und Strom".
- 194 "Jahresberichte der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK II) Karlsruhe".
 ab 1988 bis 1991. Hrsg.: Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH, Egg.-Leopoldshafen.
- 195 "Legende und Betriebsdaten der KNK".
 Hrsg.: Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft m.b.H., Egg.-Leopoldshafen
 1982-1991.
- 196 E. Zimmermann:
 "Induced Vibrations in the Pumps: Experience with Sodium Pumps in the KNK".
 I.A.E.A. Specialists' Meeting on 'Flow Induced Vibrations in Fast Breeder Reactors', Paris, France,
 October 22-24, 1986, Proceedings. Editor: M. A. Perez, International Atomic Energy Agency,
 Vienna, IWGFR-62, October 1986, pp. 277-283.
- 197 J. Heinecke, A. Stanculescu, W. Kathol, H. Richard:
 "Operating Experience with KNK-II as an Experimental Reactor".
 Proceedings of a Symposium. Fast Breeder Reactors: Experience and Trends, Lyon, 22-26 July,
 1985, Vol. 1. International Atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-SM-284/7, 1986, pp. 95-102.

- 198 "Erfolgreicher Schnellbrüter".
Badisches Tagblatt, 21. Oktober 1987.
- 199 "Zehn Jahre Versuchsreaktor".
Ludwigsburger Kreis-Zeitung, 21. Oktober 1987.
- 200 G. Finke, K.-Ph. Streib:
"KNK II/2, Anlagenbetrieb während der Standzeitverlängerung zur schonenden Fahrweise der Brennelemente".
KBG-KNK-Bericht: BL 88/05 vom 27.10.1988.
- 201 K.-Ph. Streib, R. Pleesz:
KNK II/2, Anlagenbetrieb während der Standzeitverlängerung zur schonenden Fahrweise der Brennelemente".
KBG-KNK-Bericht: BL 91/30 vom 05.08.1991.
- 202 G. Brudermüller:
"Betriebserfahrungen mit KNK II".
KTG Fachtag 1980, Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1980, S. 8-16.
- 203 H. Zeibig, W. Marth, G. Brudermüller, W. Schmidt:
"Collection of Reliability Data for Sodium Components in KNK".
International Symposium on Reliability of Nuclear Power Plants, Innsbruck,
14-18 April 1975.
Proc. of a Symposium organized by International Atomic Energy Agency, Vienna,
IAEA-SM-195/31, 1975, pp. 83-89.
- 204 H. Zeibig, O. Knecht:
"Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit mechanisch und thermisch beanspruchter Reaktorbau-
teile".
Reaktortagung 1969, Frankfurt/Main, 15.-18. April 1969. Deutsches Atomforum e.V., Bonn,
1969, S. 111-112.
- 205 W. O. Steiger:
"The KNK II Instrumentation for Global and Local Supervision of the Reactor Core".
IAEA/IWGFR Specialists' Meeting on Instrumentation for Supervision of Core-Cooling in
Fast Breeder Reactors, Kalpakkam (India), 12-15 Dec. 1989. Proc. International Atomic
Energy Agency, Vienna (Austria), International Working Group on Fast Reactors, IWGFR-72,
March 1991, pp. 109-142.
- 206 B. Heß:
"Bestrahlungserfahrungen mit KNK II-Schnellbrüter-Brennelementen".
Siemens KWU-Bericht Nr. KWU BGL N22/1993/E001, Bergisch Gladbach 1,
Februar 1993.
- 207 W. O. Steiger:
"Erfahrungsaustausch über den Betrieb von KNK II- und BOR 60/BR 10-Anlagen".
Deutsch-Sowjetische Zusammenarbeit bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie".
Dimitrowgrad, UdSSR, 5.-8. September 1988.

- 208 H. Richard, K. Ch. Stade, K. Brockmann:
 "10 Years Experience with Failed Fuel at KNK II: Operation, Detection and Localization".
 International Conference on Fast Breeder Systems, Experience Gained and Path to
 Economical Power Generation, Pasco-Richland, U.S.A., September 13-17, 1987.
 Proc. American Nuclear Society (ANS), La Grange Park, Ill., U.S.A., 1987, pp. 8.20-1 to 8.20-9.
- 209 G. Hoffmann, S. Jacobi, K. Schleisiek, G. Schmitz, L. Stieglitz, M. Becker:
 "KNK II Experience with Local Flux Tilting to Locate Defective Fuel Subassemblies".
 International Conference on Fast Breeder Systems, Experience Gained and Path to
 Economical Power Generation, Pasco-Richland, U.S.A., September 13-17, 1987.
 Proc. American Nuclear Society (ANS), La Grange Park, Ill., U.S.A., 1987, pp. 8.21-1 to 8.21-9.
- 210 G. Hoffmann:
 "Consulting Core Surveillance System COCOSS I at KNK II".
 KfK-Bericht 4139, Oktober 1986.
- 211 W. O. Steiger:
 "Operating Experience with Failed Fuel Elements in the Compact Sodium Cooled
 Fast Research Reactor KNK II".
 International Symposium on Research Reactor Safety, Operations and Modifications, Chalk River,
 Ontario, Canada, 23-27 October 1989. Proc. International Atomic Energy Agency, Vienna, AECL-
 9926(v.1);
 IAEA-SM-310/42P, March 1990, pp. 214-223.
- 212 S. Jacobi, G. Hoffmann, G. Schmitz:
 "Brennstoffverlust aus defekten Brennstäben in natriumgekühlten Reaktoren und Konsequenzen".
 KfK-IRE/5/330/91, Juli 1991.
- 213 M. Becker, K.Ch. Stade, H. Richard, H. H. Stamm, H. D. Hanke, H. Clauss, S. Jacobi,
 G. Schmitz, G. Hoffmann:
 "Radionuclide Behaviour in the KNK II Primary Cover Gas during Operation with Open Fuel".
 3rd International Conference on Liquid Metal Engineering and Technology, Oxford (U.K.),
 9.-13 April 1984. British Nuclear Energy Society, London, 1984, Vol. 1, pp. 509-513.
 ISBN: 0 7277 0209 2.
- 214 G. Schmitz, G. Hoffmann, S. Jacobi, D. Klein:
 "Monitoring of Fuel Failure Development at KNK II by Measurement and Analysis of Fission
 Products in the Sodium and Cover Gas".
 International Fast Reactor Safety Meeting, Snowbird, Utah, August 12-16, 1990.
 Proc. of the 1990 International Fast Reactor Safety Meeting, American Nuclear Society Meeting,
 Session 3, Volume IV, pp. 243-252.
- 215 K. Schleisiek:
 "Thermisch induzierte oszillatorische Stabbewegungen in Mark II-Stabbündeln".
 KfK-IRE-Notiz: IRE/5/261/87 vom 04.03.1987.
- 216 E. Bojarsky, H. Deckers, H. Lehning, D. Piel, H. Reiser, L. Schmidt:
 "Experimente zu thermohydraulisch induzierten Brennstaboszillationen (THIBO) in
 natriumgekühlten Reaktoren".
 Jahrestagung Kerntechnik '89, Düsseldorf, 9.-11. Mai 1989. Deutsches Atomforum e.V.,
 Bonn, INFORUM Verlag, Mai 1989, S. 433-436.

- 217 E. Bojarsky, H. Deckers, H. Lehning, D. Piel, H. Reiser, L. Schmidt:
"THIBO Experiments - Experiments on Thermohydraulically Induced Fuel Rod Oscillations in a Sodium Flow".
KfK-Report 4798, May 1991.
(Auch als Video-Film aufgezeichnet; erhältlich bei IMF III.)
- 218 F. Mitzel, W. Vöth, S. Ansari:
"Nachweis von Brennelementschwingungen in KNK II".
KfK-Bericht 3379, November 1982.
- 219 W. Vöth, F. Mitzel, S. Ansari:
"Identification of Vibrational Effects in KNK II Fuel Elements".
KfK-Bericht 3157, Juli 1981.
- 220 W. Vöth, H. Massier:
"BE-Schwingungen und Schonbetrieb".
KfK-INR-Notiz vom 26. August 1991.
- 221 J. Heinecke, B. Heß:
"Zusammenfassende Darstellung zum Verhalten der Brennelementaustrittstemperaturen der KNK II/2".
Siemens KWU, Bericht Nr.: KWU BT71/92/0055, Bergisch Gladbach 1, Dezember 1992.
- 222 G. Finke, H. Richard, K. Ch. Stade:
"Drift Phenomenon of the Sodium Outlet Temperatures of KNK II Fuel Subassemblies Caused by Insoluble Corrosion Products".
International Conference on Fast Breeder Systems, Experience Gained and Path to Economical Power Generation, Pasco-Richland, U.S.A., September 13-17, 1987.
Proc. American Nuclear Society (ANS), La Grange Park, Ill., U.S.A., 1987, pp. 8.19-1 to 8.19-5.
- 223 H. Mausbeck, W. Marth:
"Safety-Oriented Operating Experience with KNK II".
ANS/ENS International Topical Meeting on Fast Reactor Safety, Knoxville, Tennessee, (U.S.A.), April. 21-25, 1985. Proc. of the International Topical Meeting. Vol. I. Oak Ridge National Lab., Tennessee (U.S.A.), July 1985, pp. 373-380.
- 224 H. Clauss, H. D. Hanke, H. H. Stamm, H. Wild:
"Partikeln im Primärnatrium der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage in Karlsruhe (KNK)".
Jahrestagung Kerntechnik '87, Karlsruhe, 2.-4. Juni 1987. Deutsches Atomforum e.V., Bonn, 1987, S. 711-714.
- 225 K. Brockmann, H. Richard:
"Temperature Drift at the Outlet Temperature of the KNK II Subassemblies".
International Fast Reactor Safety Meeting, Snowbird, Utah, August 12-16, 1990.
Proc. of the 1990 International Fast Reactor Safety Meeting. American Nuclear Society Meeting, Session 2, Volume III, pp. 259-268.

- 226 B. Heß:
"Schwergängigkeiten an den KNK II-Abschalteinrichtungen, Untersuchung der Ursachen und Bewertung im Vergleich mit Erfahrungen anderer Anlagen".
Siemens KWU, Bericht Nr.: KWU BGL N22/92/007 vom 03.12.1992.
- 227 B. Heß, K. Brockmann, R. Pleesz:
"Experience with the control and shut-down rods of the reactor KNK II".
Kerntechnik 57, No. 2, 1992, pp. 123-125.
- 228 Bericht über Untersuchungen an der 1. Abschalteinrichtung der KNK II und Schlußfolgerungen für den weiteren Betrieb.
KBG-Bericht BL 1/87, Januar 1987.
- 229 Meldepflichtiges Vorkommnis Nr. 83. Klemmen des Zwischengestänges YC 230 der 2. AE auf Pos. YG 304.
TÜV Baden, Az.: 116-522-2.1 B, 29.11.1989.
- 230 Schwergängigkeit einer Steuer- und Abschalteinheit der 1. AE. Besonderes Vorkommnis Nr. 97 Zwischengestänge YC 215 mit Antriebseinheit YA 21.
TÜV Baden, Az.: WBB2(M)-101/90, 10.10.1990.
- 231 Gutachtliche Stellungnahme zum Besonderes Vorkommnis Nr. 103 der KNK.
TÜV Baden, Az.: KS(M) - 126/91, Mannheim, Juni 1991.
- 232 Analyse von Belagsproben an Zwischengestängen der Abschalteinrichtungen KNK II.
Interatom-Notiz 55.09778.5 A, Bensberg, 13.09.1989.
- 233 W. Steiger, J. Schreibmaier:
"Some Experiences with Sodium Exposed Components in KNK".
FR'91 International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles.
Kyoto, Japan, October 28-November 1, 1991, Vol. I, pp. 5.2-1 to 5.2-10.
- 234 Natriumchemische Abläufe im Zusammenhang mit Schwergängigkeit bei den Zwischen-
gestängen.
Interatom-Notiz 55.10313.3, Bensberg, 03.05.1991.
- 235 "Bau für KfK-Lagerhalle eingestellt".
Badische Neueste Nachrichten, Nr. 284, 10.12.1982.
- 236 "Baustopp aufgehoben".
Stuttgarter Zeitung, Nr. 10, 14.01.1983.
- 237 "Student stoppt Kernforschungsanlage".
Handelsblatt, Nr. 59, 22.03.1984.
- 238 Land Baden-Württemberg "Bekanntmachung"
Amtsblatt der Gemeinde Eggenstein-Leopoldshafen, Nr. 25, Freitag, 22.06.1984.
- 239 H. Blöchle:
"Erstmals Erörterungstermin seit fast 10 Jahren für KNK II".
Umweltschutz, Heft 1, Februar 1985, S. 16.

- 240 Genehmigung Lagerhalle, Chemieraum I und II.
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie Baden-Württemberg, Stuttgart.
AZ: IV 8760 - KNK II/350.
09.04.1986.
- 241 Atomrechtliches Genehmigungsverfahren KNK II.
Standzeitverlängerung für KNK II/2.
Schreiben KBG an Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg,
Stuttgart, vom 23.05.1984.
- 242 KNK II: Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage mit schnellem Kern.
"Standzeitverlängerung 2. Kern auf 720 Vollasttage". Sicherheitsbericht.
KfK, KBG, Interatom, Ident-Nr.: 75.15917, Januar 1986.
- 243 Land Baden-Württemberg. Bekanntmachung.
Badische Neueste Nachrichten, Nr. 11, Mittwoch, 15. Januar 1986.
- 244 Sammeleinwendung gegen die Standzeitverlängerung des 2. Kerns KNK II.
KFZ-AK, Karlsruhe.
- 245 "Standzeitverlängerung KNK II".
Abschrift des Tonbandmitschnitts der Erörterungsverhandlung am 26.05.1986 in
Eggenstein-Leopoldshafen.
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie Baden-Württemberg, Stuttgart.
Az.: III 8760.1-KNK II/9.
- 246 "KNK II Genehmigung zur Standzeitverlängerung".
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie Baden-Württemberg, Stuttgart..
GV-003377 - 0.135, Az.: IV 8760 - KNK II/377 vom 20.12.1988.
- 247 Verwaltungsrechtssache Junker ./ Land Baden-Württemberg.
Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, Mannheim vom 07.02.1989.
Az.: 10 S 291/89.
- 248 Verwaltungsstreitsache Klaus Junker ./ Land Baden-Württemberg
KBG-Antrag vom 13.02.1990 an Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg, Mannheim.
- 249 Az.: 10 S 291/89 und 10 S 292/89 Verwaltungsrechtssache Klaus Junker ./ Land
Baden-Württemberg.
Schreiben Rechtsanwalt M. P. Schulze an Verwaltungsgerichtshof Baden-Württemberg,
Mannheim, 13.06.1990 .
- 250 W. Kathol, H. Richard, H. Schott:
"Ergebnisse des KNK II-Versuchsprogramms".
KfK-Nachrichten, Jg. 14, Heft 4, 1982, S. 216-224.
- 251 J. Aberle:
"Akustische Messungen zur Siededetektion in der KNK II".
KfK-Bericht 4580, Juni 1989.

- 252 W. Kathol, D. Artz, J. Schindewolf:
"Das Versuchsprogramm am Brüterkraftwerk KNK II".
Broschüre, Hrsg. Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, Dezember 1986.
- 253 D. Artz, H. G. Leiste, B. Konstandin:
"Experimentierstopfen, bewährte Versuchseinrichtung der KNK II".
Jahrestagung Kerntechnik '88, Travemünde, 17.-19. Mai 1988, Deutsches Atomforum e.V.,
Bonn, 1988, S. 547-550.
- 254 St. Müller, G. Thun:
"Performance of Permanent Magnet Flowmeter Probes for Instrumentation of LMFBR's".
Second International Conference on Liquid Metal Technology in Energy Production, Richland,
Washington, U.S.A., April 20-24, 1980. Proceedings, Editor: J. M. Dahlke, Washington D.C.,
American Nuclear Society, CONF-800401-P1, 1980, S. 4.44-4.51.
- 255 V. Bauernfeind, B.J. Oima:
"Experimental and Theoretical Vibration Analysis by Noise Measurements of a Sodium Cooled
Reactor".
3rd International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology. London, U.K.,
1-5 September 1975.
Proc. Compiler: T.A. Jäger, International Association for Structural Mechanics in Reactor Technolo-
gy; Commission of the European Communities, Brussels, British Nuclear Energy Society, London
Amsterdam, The Netherland: North-Holland, 1975, Vol. 2, Part F, Paper F1/3, pp. 1-13.
- 256 L. Caldarola, P. Ferranti, F. Mitzel:
"Fast Reactor Transfer Functions with Special Reference to the Nonlinearities and to the Spatial
Dependence of the Heat Transfer Process".
KfK-Bericht 2027/EUR 4978e, Oktober 1974.
- 257 G. Weinkötz, L. Krebs, H. Martin:
"The Cooling Disturbances Indication and Analysis System CODINAS - an On-Line
Temperature Noise Surveillance of KNK II Subassemblies".
International Conference on Fast Breeder Systems: Experience Gained and
Path to Economic Power Generation, Pasco-Richland, U.S.A., September 13-17, 1987.
Proc. American Nuclear Society (ANS), La Grange Park, Ill., U.S.A., 1987, pp. 8.22-1 to 8.22-8.
- 258 H. Eggert, K. P. Scherer, K. Schleisiek, P. Stiller, H. Schöller, P. Rohnacher:
"An Intelligent Diagnostic System for the Experimental Fast Reactor KNK II".
FR'91 International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles.
Kyoto, Japan, October 28-November 1, 1991, Vol. I, pp. 4.1-1 to 4.1-11.
- 259 L. Schmidt, H. Lehning, K. Müller, G. Reimann:
"Regelbare Bestrahlungseinrichtungen für den KNK II-Reaktor".
KfK-Bericht 4149, Dezember 1986.
- 260 K. Müller, E. Bojarsky, P. Norajitra, L. Schmidt:
"Bestrahlungskapsel mit Wärmerohr für KNK II und SNR 300".
KfK-Bericht 4151, November 1986.

- 261 H. E. Häfner, H.-J. Ritzhaupt-Kleissl, H. Steiner:
"Erfolgreicher Karbid-Brennelementtest im KNK II-Reaktor".
Kerntechnik, Band 52, Heft No. 3, Juni 1988, S. 164-168.
- 262 K. Richter, U. Benedict, J.F. Gueugnon, H. Kutter, C. Sari, G. Mühlhing:
"Specification, Fabrication and Characterization of (U, Pu)C Fuel".
Journal of Nuclear Materials 153, North-Holland, Amsterdam, 1988, pp. 205-210.
- 263 H.-J. Ritzhaupt-Kleissl, H.-J. Heuvel:
"Das Bestrahlungsexperiment TOAST im 3. Kern der KNK II - Zielsetzung und Umfang -".
Jahrestagung Kerntechnik '86, Aachen, 08.-10. April 1986. Deutsches Atomforum e.V.,
Bonn, 1986, S. 333-336.
- 264 Arbeitskreis Kernkomponenten.
Protokoll der 113. Sitzung vom 06.12.1991.
Verfasser: W. Kathol.
- 265 G. Finke, H. Richard, K. H. Menges:
"System contamination and radiological aspects after 12 years' operation of KNK I/II".
3rd International Conference on Liquid Metal Engineering and Technology, Oxford (U.K.),
9-13 April 1984. British Nuclear Energy Society, London, 1984, Vol. 1, pp. 505-508.
ISBN: 0 7277 0209 2.
- 266 K. Ch. Stade, H. Richard, G. Hoffmann, S. Jacobi, G. Schmitz:
"Radionuclides in the Cover Gas of KNK II".
Second International Conference on Liquid Metal Technology in Energy Production. Richland,
Washington, U.S.A., April 20-24, 1980. Proceedings, Editor: J. M. Dahlke, Washington D.C.,
American Nuclear Society, CONF-800401-P2, 1980, S. 14.38-14.45.
- 267 J. Zschetke, R. Nieder:
"Gaschromatographische Messungen in Wasser-Dampfkreisläufen".
VGB Kraftwerkstechnik, Jg. 64, Heft 3, März 1984, S. 235-239.
- 268 K. Ch. Stade, J. Zschetke:
"Betriebserfahrungen mit alkalischer und kombinierter Fahrweise am Versuchs-Kernkraftwerk KNK".
VGB Kraftwerkstechnik 65, Heft 9, September 1985, S. 844-849.
- 269 K. Ch. Stade, H. H. Stamm, H. D. Hanke, H. Clauss, N. Hanebeck, R. Tusche:
"Status of Cesium Removal from Primary Sodium in the German LMFBR Program".
ANS/ENS International Topical Meeting on Fast Reactor Safety, Knoxville, Tennessee,
(U.S.A.), 21-25. April 1985. Proc. of the International Topical Meeting. Vol. I. Oak Ridge National
Lab., Tennessee (U.S.A.), July 1985, pp. 197-204.
- 270 H. Richard, K. Ch. Stade, H. D. Hanke, N. Hanebeck:
"Experience with an Operational Cesium Trap at KNK II".
FR'91 International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles.
Kyoto, Japan, October 28-November 1, 1991, Vol. I, pp. 10.4-1 to 10.4-11.

- 271 W. Haubold, K. Ch. Stade, H. H. Stamm:
"Chemie in natriumgekühlten Kernkraftwerken - Erfahrungen in der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK)".
VGB Kraftwerkstechnik 55, Heft 2, Februar 1975, S. 94-104.
- 272 H. D. Hanke, H. E. Noppel, H. Wild:
"Tritium im Tertiärkreis der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage Karlsruhe (KNK II)".
KfK-Bericht 4972, November 1991.
- 273 W. Salowsky, J. Blombach:
"Zuverlässigkeitsdaten von Natriumkomponenten, ermittelt aus dem Betrieb der KNK".
Jahrestagung Kerntechnik '88, Travemünde, 17.-19. Mai 1988. Deutsches Atomforum e.V.,
Bonn, 1988, S. 219-222.
- 274 B. Schubert:
"Untersuchungen zur Anlagendynamik von natriumgekühlten Schnellen Brutreaktoren - Verifikation eines Anlagenmodells".
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht-Tesperhude.
GKSS 88/E/18.
- 275 R. Hüper, W. Kathol, M. Kempken:
"Status of Fast Breeder Reactor Development in Germany".
Twenty-Fourth Annual Meeting. Tsuruga, Japan, 15-18 April 1991.
Proc. International Atomic Energy Agency, Vienna, IWGFR/83, 1991, pp. 13-16.
- 276 Notiz Dr. Marth vom 12.12.1988.
- 277 KNK II
Aktenvermerk, G. Schnetgöke vom 12.06.1989.
- 278 "Stellungnahme des Arbeitsausschusses F+E-Programme Schnelle Natriumgekühlte Reaktoren zur aktuellen Diskussion über KNK II"
Notiz vom 15.08.1989.
- 279 Protokoll der 40. Geschäftsführersitzung der Entwicklungsgemeinschaft Schneller Brüter am 13.06.1989 in Karlsruhe.
- 280 J. Höchel:
"Memorandum zur Situation der KNK II".
IA-Notiz, Ident-Nr. 65.08038.1,
März 1989.
- 281 J. Höchel:
Schreiben an Dr. H.-H. Hennies
12.05.1989.
- 282 "Weiterbetrieb der KNK II-Reaktoranlage".
Brief Prof. Hennies, KfK an Dr. Borst, BMFT, Bonn.
14. Juli 1989.

- 283 "Weiterbetrieb der KNK II-Reaktoranlage".
Brief Dr. Wagner, Prof. Hennies, KfK an Dr. Borst, BMFT, Bonn.
23.10.1989.
- 284 A. H. de Haas van Dorsser, A. R. Braun, H. Mausbeck:
"Fortschritt in Forschung und Entwicklung der Natriumtechnologie".
Statusbericht 1976, Projekt Schneller Brüter.
Atoomenergie en haar toepassingen 18 (1976).
- 285 K. Traube:
"Müssen wir umschalten? Von den Grenzen der Technik".
Rowohlt, April 1978.
- 286 W. Marth:
"Der Schnelle Brüter SNR 300 im Auf und Ab seiner Geschichte".
KfK-Bericht 4666, März 1992.
- 287 W. Bürkle:
"Brüter vor dem Start".
Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 3, 1986.
- 288 Die Weisung.
atomwirtschaft, Juli 1988, S. 334.
- 289 Kohl:
"Neue Situation für Wackersdorf".
Badische Neueste Nachrichten, Nr. 86, 14.04.1989.
- 290 "Endlich: Letzter Spatenstich in Wackersdorf".
Die Tageszeitung, Berlin, 01. Juni 1989.
- 291 Ansprache des Vorsitzenden des Vorstandes des Kernforschungszentrums,
Prof. Dr. Horst Böhm, beim Jahresempfang 1989.
Presseinformation, KfK No. 42/89 vom 07.12.1989.
- 292 U. F. Nobbe:
"SNR 300: Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts".
atomwirtschaft, Juli 1990, S. 339-342.
- 293 Bundesminister für Forschung und Technologie.
"Brüterprojekt SNR 300 wird nicht weitergeführt".
Pressemitteilung Nr. 14/91, 21.03.1991.
- 294 "Betrieb der KNK II".
Notiz W. Kathol an Dr. Marth.
15.06.1989.
- 295 "Arbeiten an KNK II/3".
Schreiben Dr. Marth, G. Schnetgöke, KfK an Firma Interatom.
14. Juli 1989.

- 296 "Herstellung und Lieferung von Brennelementen für die 3. Kernladung KNK II (KNK II/3)".
Schreiben Dr. Tebbert an Siemens AG, Brennelementewerk Hanau.
25.07.1989.
- 297 "Weiterbetrieb der KNK II-Reaktoranlage".
Schreiben Prof. Böhm, Prof. Hennies, KfK an Dr. Borst, BMFT, Bonn.
22. Februar 1991.
- 298 "KNK II-Reaktoranlage".
Schreiben Prof. Hennies, KfK an Geschäftsführung KBG.
22. August 1991.
- 299 B. Kunle, KBG:
Persönliche Mitteilung an Dr. Marth, KfK.
01.04.1993.
- 300 "KNK endgültig abgeschaltet".
Pressemitteilung KfK, Nr. 27/91 vom 23.08.1991.

C H R O N O L O G I E

1955

- August Erste Konferenz der Vereinten Nationen über die friedliche Nutzung der Atomenergie in Genf.
- Oktober Einrichtung des Bundesministerium für Atomfragen (BMAf);
F.J. Strauß (CSU) wird Minister.

1956

- Juli Das Reaktorzentrum in Karlsruhe wird eingerichtet;
Gründung der Kernreaktor-Bau- und Betriebs GmbH.
- Oktober S. Balke (CDU) wird Nachfolger von F.J. Strauß als Atomminister.
- Dezember Der Landtag von Nordrhein-Westfalen beschließt die Einrichtung eines Forschungszentrums, als dessen Standort später Jülich gewählt wird.

1957

- März Unterzeichnung der Verträge zur Europäischen Atomgemeinschaft.
- August Baubeginn des FR 2 im Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- Dezember Beginn der Bearbeitung von Brüterthemen in der Bundesrepublik im Rahmen eines Seminars im Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR) des Kernforschungszentrums Karlsruhe.
- Dezember, 13. Gründung der INTERATOM GmbH, Sitz Duisburg.

1958

- Januar Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft EURATOM.
- Dezember, 15. Interatom siedelt über nach Bensberg (Altes Schloß).

1959

- Juni Die Gesellschaft für Kernforschung (GfK) wird gegründet vom Bund und Land Baden-Württemberg.
- Juli Der sowjetische Versuchsreaktor BR-5 erreicht Vollast.

1960

- April, 1. Gründung des Projektes Schneller Brüter (PSB) im Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- April Die Deutsche Atomkommission verabschiedet das Programm für fortgeschrittene Reaktoren.

1961

- Mai Der Aufsichtsrat des KfK beschließt, die Aktivitäten des Schnellbrüterprojekts zu verstärken.
- Oktober Der EBR II (25 MWe) in Idaho-U.S.A. wird kritisch.

1962

- Dezember Das Ministerium für Atomkernenergie wird umbenannt in Ministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF).
- Dezember H. Lenz (FDP) wird Nachfolger von S. Balke als Forschungsminister.
- Dezember Der Reaktor FR 2 im Kernforschungszentrum beginnt den Vollastbetrieb (12 MWth).

1963

- März Baubeginn der 5 MWth-Anlage bei Interatom (Natriumfüllen Ende 1964).
- August Badenwerk AG erklärt Bereitschaft zur Finanzierung des Turbogenerators für KNK I.
- August Der Enrico Fermi Fast Breeder Reactor (60 MWe) in USA wird kritisch.
- Dezember General Electric (USA) erhält den Auftrag für das Oyster Creek Kernkraftwerk; erster kommerzieller Auftrag für ein Leichtwasserkernkraftwerk.

1964

- Januar Die Gesellschaft für Kernforschung und die Kernreaktor-Bau- und Betriebs-GmbH werden fusioniert.
- Mai Die Verträge zum Bau des SEFOR-Reaktors werden unterzeichnet.

1965

- Mai Inbetriebnahme des Experimental Breeder Reactor EBR II in Idaho (USA).
- Oktober G. Stoltenberg (CDU) folgt auf H. Lenz als Forschungsminister.

1966

- März, 7. Einrichtung der KNK I-Baustelle, Erstellung der Umzäumung.
- März, 29. Erste Turnusbesprechung (Projektbesprechung).
- Mai, 1. Baubeginn KNK I im Kernforschungszentrum.
- Mai, 23. 1. TEG erhalten.
- Mai, 31. Vertrag zur Errichtung der KNK I unterschrieben.
- Juli, 19. Absenkung des Caisson beendet.
- Oktober Störfall am Enrico Fermi Fast Breeder Reactor (Brennelementschmelzen).
- Dezember Die SNEAK-Anlage im Kernforschungszentrum wird kritisch.

1967

- Februar, 16. Stahlkuppel des KNK I-Sicherheitsbehälters wird aufgesetzt.
- Oktober Na2-Studie von KfK (mit Beiträgen der Industrie) vorgelegt.
- Oktober Memoranda of Understanding mit Belgien und den Niederlanden.

1968

- Juli Druckprobe Dampferzeuger.

- September Montage Na-Kreisläufe beendet.
- Sept., 12. Montage Turbogenerator.
- Dezember Arbeitskreis Kernreaktoren III/1 schlägt die Einstellung der Dampfbrüterarbeiten vor.

1969

- Februar, 5. Die Industriearbeiten am dampfgekühlten Schnellen Brüter werden auf Verfügung des Forschungsministers Stoltenberg eingestellt.
- März Bauendabnahmen bei KNK I; Beginn F1-Prüfungen.
- April AEA und Siemens legen ihre Kraftwerksaktivitäten in der gemeinsamen Tochtergesellschaft Kraftwerk Union (KWU) zusammen.
- Oktober 6. Dt. Bundestag, SPD/FDP-Koalition (Kanzler: W. Brandt).
- Oktober H. Leussink (parteilos) folgt auf G. Stoltenberg als Forschungsminister.
- Oktober, 28. Erste Na-Lieferung bei KNK I.
- November Beginn F2-Funktionsprüfungen mit Natrium.
- Dezember Der sowjetische Versuchsbrüter BOR 60 wird kritisch.
- Dezember, 31. Vorlage des SNR 300-Sicherheitsberichts durch das SNR-Konsortium.

1970

- März Anlieferung der Brennelemente, Vorreinigung des Primärsystems QP1/2.
- Mai Erfolgreiche Bestrahlung von 39 SNR-typischen Brennstäben im DFR abgeschlossen.
- Juli-Oktober Einbau neuer Dampffallen, Umrüsten Begleitheizung, Maßnahmen Reaktordeckel, Reinigung und Änderung Inbetriebnahme Kühlfalle.
- September Gründung des Arbeitsausschuß F+E-Programme (AA-F+E).
- Oktober Projektgesellschaft Schneller Brüter gibt neuen Standort Kalkar bekannt.
- Okt.-Nov. Füllen Sekundär-Systeme mit Natrium.
- Dezember Füllen Primär-Systeme mit Natrium.

1971

- Februar, 15. Statusbericht Schneller Brüter in Karlsruhe; öffentliche Diskussion über Entscheidungsgründe zur Aufgabe des Dampfbrüters.
- März, 20. Na-Leckage am Heizer QU1H1 (Natriumbrand).
- April Der HDR-Reaktor wird wegen Brennelementversagens stillgelegt.
- Mai Erster Brüter-Zusammenarbeitsvertrag mit Japan abgeschlossen.
- Juli Inspektion Deckelspalte wegen Schwergängigkeit.
- August, 20. Die KNK I wird erstmals kritisch mit 38 Brennelementen.
- September Beginn F3-Prüfungen. (Nulleistungsversuche mit 66 Brennelementen, 2 Festabsorbern, 14 Blindelementen, vollständiges Core).

1972

- Januar K. v. Dohnanyi (SPD) folgt auf H. Leussink als Forschungsminister.
- Januar, 2. Beendigung Versuchsbetrieb Luftkühler.
- Februar, 8. Aufschwimmen Festabsorber.
- Mai, 20. Übergabe nuklearer Anlageteil KNK I.
- Juli, 6. KNK I-Dampferzeuger erstmals mit Wasser und Natrium durchströmt.
- August, 9. KNK I-Generator bei Anlagenleistung 45 % erstmals ans Netz geschaltet.
- August, 10. Essential A3 für SNR 300 durch 55 % Nennleistung bei KNK I erfüllt.
- August Der KNK-Reaktor erzeugt den ersten Strom.
- Sept., 11. Schwingungen an Turbinenwelle festgestellt.
- Sept., 18. Zulauf beider Reaktorabsperrschieber.
- Sept., 23. Dampferzeugerschaden (QS2E1) bei KNK I.
- November 7. Dt. Bundestag, SPD/FDP-Koalition (Kanzler: H. Schmidt).
- November Positives TÜV-Gutachten für KNK II.

Dezember H. Ehmke (SPD) folgt auf K. v. Dohnanyi als Forschungsminister.

1973

Januar Positives Votum der RSK für Umbau auf KNK II.

Februar, 5. Übergabe KNK I an GfK/VA und KBG nach Abnahmebetrieb bei ca. 55 % Leistung.

April, 1. Baubeginn des SNR 300 in Kalkar.

April Die Kernreaktorabteilungen von AEG u. Siemens werden mit der Kraftwerk Union fusioniert.

Mai, 25. Fallzeitverlängerung der 2. KNK-Abschalteinrichtung (Meldung Nr. 1).

Juli, 24. Erhöhte Aufwärmspanne am Brennelement festgestellt.

August, 20. Ansprechen Berstscheibe QS1A14.

September, 4. Öffentliche Erörterung KNK II in Schule für Kerntechnik.

1974

Februar, 18. Genehmigung für 100 % Nennleistung erhalten.

April, 29. Fehlsynchronisation Turbogenerator.

Mai Erstmalige Inbetriebnahme aller 5 Turbinenanzapfungen.

Mai, 14. Nennleistung 100 % erreicht.

Mai H. Matthöfer (SPD) folgt auf H. Ehmke als Forschungsminister.

Juni Vertragsverhandlungen und -unterzeichnung KNK II.

Juli, 14. Der französische 280 MWe Brüterprototyp PHENIX nimmt kommerziellen Betrieb auf.

September Versuchsprogramm: Abschluß des Stopfenversuchsprogramms run II.

September, 2. Abschalten der KNK I; Vorbereitung Umbau auf KNK II.

Dezember Beginn Austausch der BE-Lagerkassette.

Dezember, 13. Beginn Kernentladung KNK I.

1975

- Februar Core-Entladung beendet;
42 BE nach Marcoule, 24 BE zum MZFR-Lagerbecken transportiert.
- März Alle Brennelemente nach Marcoule abtransportiert.
- Mai, 2. Erteilung 1. TEG für Umbau auf KNK II (Basisgenehmigung).
- Mai Beginn der Auswechsellaktion Schieberoberteile.
- Juni Aufstellung des zusätzlichen Notdiesels abgeschlossen.
- Juli Beginn Umbauarbeiten für KNK II.

1976

- Februar Deutsch-französisches Regierungsabkommen zur Brüterzusammenarbeit unterzeichnet.
- März TÜV-Leckratenprüfung im KNK-Sicherheitsbehälter.
- März Der sowj. Brüter BN-350 erreicht Vollast.
- Oktober, 25. Primärsystem QP2 wieder mit Na gefüllt.

1977

- Januar Siemens übernimmt AEG-Anteile an Kraftwerk Union (KWU).
- Januar, 11. Genehmigung für Prozeßrechenanlage erhalten.
- Februar Neutronenabschirmung für BE-Trockenlager montiert; Bauendabnahme.
- Februar Der britische 250 MWe Brüterprototyp PFR erreicht Volleistung.
- April Montagearbeiten am DND-System der KNK II abgeschlossen;
F3-Inbetriebnahmeprogramme fertiggestellt.
- April US-Präsident Carter verkündet neues Atomprogramm (keine Wiederauf-
arbeitung, Reduktion Brüter).
- Mai Fertigstellung der Erdbbensicherungen an den Primär-Rohrleitungen
und den Zwischenwärmetauschern.
- Juli Übernahme und Lagerung von 23 Treiberelementen, 2 Brutelementen,
6 Testzonenelementen für das Erstcore KNK II.

- August Erdbebensicherungsarbeiten im Primärsystem abgeschlossen.
- Sept., 30. Erteilung der 3. TEG für alte Spezifikationen.
- Sept., 30. Erteilung der 2. TBG für Nulleistungsprüfungen.
- Oktober, 10. KNK II wird erstmals kritisch.
- Dezember Inbetriebnahmemessungen und Einstellung der Reaktivitätsmeter.

1978

- Januar Hochtemperaturreinigungsbetrieb der KNK II-Natriumkreisläufe.
- April, 18. Erster Scram über Reaktivitätsmetergrenzwert "negative Reaktivität hoch" (Meldung Nr. 4 vom 21.04.1978).
- April, 26. Erstmalige Stromerzeugung bei KNK II.
- Juli Lager- und Wellenschwingungen an KNK-Turbine festgestellt.
- Juli Der japanische Versuchsbrüter JOYO geht auf Volleistung.
- September Minister Riemer, NRW, empfiehlt: SNR 300 als Plutoniumvernichtungsanlage betreiben.
- November, 15. Reaktorleistung 50 % bei KNK II erreicht.
- Dezember, 8. Das Bundesverfassungsgericht stellt fest, daß die Genehmigungsvorschriften des Atomgesetzes der Verfassung entsprechen ("Kalkar-Urteil").

1979

- März Der 8. Deutsche Bundestag setzt die Enquête-Kommission 1 "Zukünftige Kernenergie-Politik" ein (Vorsitz: R. Ueberhorst).
- März, 3. KNK II erreicht erstmals Vollast.
- März Versuchsprogramme begonnen: Untersuchung der Schnellabschaltungen über neg. Reaktivitätseffekt, Rauschanalysen, Neutronenfluß- und Schallmessungen.
- April, 1. 1. Brennelementschaden bei KNK II/1 festgestellt.

1980

- Februar Amerikanischer 400 MWth Versuchsbrüter FFTF wird kritisch.
- März BMI-Grundsätze zur Entsorgungsvorsorge erlassen.
- April Sowjetischer Brüter BN 600 liefert erstmals Strom.
- Mai, 20. 2. Brennelementscha den bei KNK II/1.
- Oktober, 5. 9. Dt. Bundestag, SPD/FDP-Koalition (Kanzler: H. Schmidt).
- November A. v. Bülow (SPD) folgt V. Hauff als Forschungsminister.
- November, 6. Vertragliche Übernahme der KNK II durch KfK und KBG.

1981

- April Parlament setzt Enquête-Kommission 2 "Zukünftige Energie-Politik" ein (Vorsitz: H.B. Schäfer).
- Juli-August Experimentelle Untersuchungen des Gasblasenproblems.
- August Vertragliches Abbrandziel der KNK II/1 (255 Vollasttage) erreicht.
- Dezember 310 Vollasttage erreicht.

1982

- Februar Anbau Lagerhalle: Erdaushub und Betonierarbeiten.
- Mai, 3. Experimentierstopfen "Anfahrkammer für Superphenix" in Core-Position 100 eingebaut.
- August, 30. Zielabbrand der verlängerten Standzeit (400 Vollasttage) erreicht.
- September Positives Votum der Enquête-Kommission "Zukünftige Kernenergiepolitik".
- Oktober Regierungswechsel in Bonn ("Wende"); Kanzler: H. Kohl. H. Riesenhuber (CDU) folgt auf v. Bülow als Forschungsminister.
- Dezember, 3. Aufhebung des Inbetriebnahmevorbehalts für SNR 300 durch den Bundestag.

1983

- April Einbau Blasenrohre genehmigt.
- Mai Abtransport BE NY 203-IA zu Heißen Zellen.
- Juni, 20. Beginn Corebeladung KNK II/2.
- Juni, 26. Erste Kritikalität KNK II/2.
- Juli, 10. Cäsiumfalle erstmals in Betrieb genommen.
- August, 22. Erstmals Vollast mit KNK II/2 erreicht.

1984

- Mai Austausch Laufzeug Natriumhauptpumpe.
- Juni, 6. Regierungsvereinbarung über Zusammenarbeit auf dem Gebiet natriumgekühlter Brutreaktoren zwischen Deutschland, Frankreich und Großbritannien.
- Dez., 4.-6. Öffentlicher Erörterungstermin in Wesel zur Kernänderung Mk Ia bei SNR 300.

1985

- April, 6. 1. Brennelementscha den bei KNK II/2 festgestellt.
- Mai Errichtung des Kernkraftwerks Kalkar abgeschlossen; Natrium im Hauptsystem.
- August, 20. 2. Brennelementscha den bei KNK II/2 festgestellt.
- September, 7. 1. Kritikalität des Superphénix in Creys-Malville.
- Oktober SNEAK-Anlage in Karlsruhe wird stillgelegt; Umwidmung in Tritiumlabor.

1986

- Januar Versuche zu Natriumablagerungen beim Drehdeckel.
- März 400 Vollasttage Abbrand bei KNK II/2 erreicht.
- März, 17. 3. Brennelementscha den bei KNK II/2 festgestellt.

- April, 26. Tschernobyl-Unfall.
- Juni Ernennung W. Wallmann (CDU) zum Bundesumweltminister (BMU).
- August, 10. SPD-Parteitag in Nürnberg fordert Ausstieg aus Kernenergie innerhalb von 10 Jahren (Vorschlag Hauff-Kommission).
- August, 10. 4. Brennelementscha den bei KNK II/2 festgestellt.
- Dezember Schwergängigkeit an Trimm-Abschaltstab festgestellt.

1987

- März K. Töpfer (CDU) folgt W. Wallmann als Bundesumweltminister.
- März, 31. 3. Brennelementscha den bei KNK II/1 festgestellt (bei 175.000 MWd/t).
- Mai KNK II/1-Brennelement nach 832 Vollasttagen entladen.
- Juni THTR 300 an Betreiber übergeben.
- Oktober, 10. 10-jähriger Jahrestag der 1. Kritikalität KNK II.
- Oktober, 20. 5. Brennelementscha den bei KNK II/2 festgestellt.
- November Genehmigte Standzeit von 455 VLT für KNK II/2 erreicht.

1988

- Januar Große Turbinen- und Generatorrevision.
- März Ausrüstung 1. AE mit Drehmomentenmesser.
- April Lose Schrauben in Primärpumpe entdeckt.
- Mai Requalifizierung ausgebautes Pumpenlaufzeug.
- Oktober Inbetriebnahme Cäsiumfalle.
- Dez., 19. Eilmeldung an Behörde wegen Gestängeprobleme.

1989

- Februar, 16. Verträge zwischen Deutschland, Großbritannien und Frankreich zur Brüterzusammenarbeit für European Fast Reactor EFR in Bonn unterzeichnet.
- April Materialtestelemente bei KNK II eingebaut.
- August Reinigungskampagnen für Abschaltgestänge.
- Oktober Stilllegung THTR 300.
- Oktober, 31. Beendigung des Projekts Schneller Brüter (PSB) in Karlsruhe;
Überführung der Sicherheitsprogramme für LWR und Brüter in das Projekt Nukleare Sicherheitsforschung (PSF).
- November, 1. Gründung der Management Group for Research and Development (MGRD) für den European Fast Reactor (EFR).
- Dez., 20. Genehmigung zur Standzeitverlängerung für KNK II/2 auf 720 VLT erteilt.

1990

- Januar, 29. KNK II/2 nach 2-jähriger Pause wieder angefahren.
- Mai, 22. Bundesverfassungsgericht weist alle Punkte der Klage des Landes Nordrhein-Westfalen als unbegründet zurück: "SNR 300-Urteil".
- Juni, 9. 6. Brennelementschaden bei KNK II/2 festgestellt.
- August Span in Absorbergestänge bei HZ-Untersuchungen entdeckt.
- Oktober, 3. Wiedervereinigung Deutschlands.

1991

- Januar Neuauflage Regierungskoalition CDU/CSU-FDP (Kanzler: H. Kohl); H. Riesenhuber als BMFT bestätigt.
- März, 20. Die Vertragspartner und der BMFT beschließen die Beendigung des Projekts SNR 300/Kernkraftwerk Kalkar.
- März, 21. Presseerklärung des Bundesministers für Forschung und Technologie; Schuldzuweisung an Land Nordrhein-Westfalen.
- April, 10. Kündigung der Lieferverträge für SNR 300 durch SBK.

- Mai Einzelstabsfahrten 1. AE (wg. Vorkommnis Nr. 103);
div. Reinigungsaktionen.
- Juli, 15. Wiederinbetriebnahme KNK II/2.
- August, 10. 7. Brennelementschaaden KNK II/2 festgestellt.
- August, 23. Endgültige Abschaltung der KNK II.

Personen *)

1.) Kernforschungszentrum

Dr. Rudolf Greifeld	1956-74 (Geschäftsführer K I und GfK)
Dr. Walther Schnurr	1960-70 (Geschäftsführer K I und GfK)
Dr. Josef Brandl	1961-68 (Geschäftsführer GfK/VA und K II)
Dr. Helmut Armbruster	1961-65 (Prokurist MZFR und GfK/VA)
Heinrich Schöller	1961-63 (Geschäftsführer K II)
Dr. Hubert Tebbert	1963- (Prokurist GfK/VA, EKM)
Dr. Gerhard Brudermüller	1964-68 (Projektleiter KNK)
Gregor Schnetgöke	1965-91 (Projektleiter KNK)
Dr. August-Wilhelm Eitz	1968-73 (Geschäftsführer GfK/VA)
Dr. Willy Marth	1969-89 (Projektleiter KNK und PSB)
Prof. Dr. Otto Haxel	1970-73 (Geschäftsführer K I und GfK)
Werner Kathol	1972-91 (Projektingenieur KNK)
Detlef Artz	1974-91 (Projektingenieur KNK)
Prof. Dr. Hans-Henning Hennies	1975- (Vorstand GfK/KfK)
Prof. Dr. Rudolf Harde	1976-83 (Vorstandsvorsitzender GfK/KfK)

*) In Management- bzw. Projektleitungsfunktion für KNK oder Vorprojekt;
jeweils ranghöchste Position benannt;
Reihenfolge entsprechend Eintrittsjahr.

2.) Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft

Dr. Helmut Armbruster	1966-73 (Geschäftsführer KBG)
Burkhard Reuter	1966- (stellvertr. Betriebsleiter KNK)
Erich Zimmermann	1966-91 (Betriebsleiter KNK)
Günter Finke	1966-88 (Betriebsleiter KNK)
Max Werner	1967-70 (stellvertr. Betriebsleiter KNK)
Dr. Gerhard Brudermüller	1969-85 (Geschäftsführer KBG)
Dr. Hermann Richard	1969- (stellvertr. Betriebsleiter KNK)
Heinrich Semke	1970-76 (stellvertr. Betriebsleiter KNK)
Werner-O. Steiger	1986- (Geschäftsführer KBG)
Robert Pleesz	1987-93 (Betriebsleiter KNK)
Karl Korn	1989- (Betriebsleiter KNK)

3.) INTERATOM (Bergisch Gladbach)

Dr. Rudolf Harde	1960-75	(Geschäftsführer)
Dr. Klaus Berke	1960-91	(Geschäftsführer)
Karl-Walter Stöhr	1960-72	(Projektleiter KNK)
Dr. Hans Mausbeck	1963-85	(Hauptbereichsleiter)
Joachim Gilles	1965-72	(Projektleiter)
Dr. Horst Brakelmann	1965-73	(Bereichsleiter)
Bernd Gubo	1965-73	(Projektkaufmann)
Peter Sieveking	1969-84	(Geschäftsführer)
Hubert Andrae	1970-78	(Projektleiter)
Dieter Forst	1970-78	(Projektingenieur)
Peter Romeike	1971-91	(Projektleiter)
Dr. Klaus Traube	1972-76	(Geschäftsführer)
Elmar Guthmann	1973-77	(Hauptprojektleiter)
Dr. Lutz Mentrup	1974-91	(Bereichsleiter)
Alfred Griesenbach	1974-91	(Projektkaufmann)
Dr. Jochen Höchel	1976-91	(Bereichsleiter)
Horst Schott	1976-92	(Projektleiter)
Isidor Weisbrodt	1983-85	(Bereichsleiter)

4.) INTERATOM (Oberbauleitung KNK)

Reg.Bau-Direktor Gottfried Adam	1965-68
Paul Jürgen	1969-70
Karl-Walter Stöhr	1970-71
Dr. Götz Herberg	1971-72
Gerhard Hendl	1972-77
Wilfried Albat	1977-79
Dr. Martin Schmidt-Hönow	1979-82
Dr. Bernhard Heß	1982-85
Dr. Bernhard Klemme	1985-86
Klaus Brockmann	1986-91

5.) Ministerien, Behörden, Sachverständige

Dr. Günther Schuster	Forschungsministerium Bonn
Dr. Hans-Peter Lorenzen	Forschungsministerium Bonn
Manfred Kempken	Forschungsministerium Bonn
Dr. Ulrich Däunert	Forschungsministerium Bonn
Dieter Kutschke	Forschungsministerium Bonn
Dr. Klaus Schroeter	Forschungsministerium Bonn
Dr. Herbert Diehl	Forschungsministerium Bonn
Alfred Kleinmann	Genehmigungsbehörde Stuttgart
Dieter Blickle	Genehmigungsbehörde Stuttgart
Ludwig Ostberg	Genehmigungsbehörde Stuttgart
Gerd Heitmann	Genehmigungsbehörde Stuttgart
Karl Geiger	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Joseph Günther	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Manfred Heermann	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Dr. Oskar Grözinger	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Achim Krohn	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Dr. Dieter Wörner	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Dr. Volker Zimmermann	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Anton Schwarz	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Dr. Dietmar Keil	Aufsichtsbehörde Stuttgart
Theodor Himmel	Umweltministerium Bonn
Dr. Heinz Vetter	TÜV Baden, Mannheim
Dr. Hans-Gerhard Fendler	TÜV Baden, Mannheim
Herbert Jurgutat	TÜV Baden, Mannheim
Ekkehard Morgner	TÜV Baden, Mannheim
Friedhelm Bosten	TÜV Baden, Mannheim
Dr. Dieter Eitner	TÜV Baden, Mannheim
Hans-Jürgen Hetmank	TÜV Baden, Mannheim
Friedrich Brodt	TÜV Baden, Mannheim
Ludger Dierkes	TÜV Baden, Mannheim
Franz-Albert Meyer	TÜV Baden, Mannheim
Dieter Wildberg	TÜV Baden, Mannheim