

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

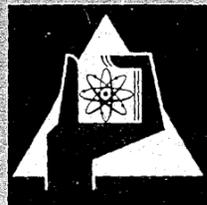
Oktober 1967

KFK 688

Abteilung Reaktorbetrieb

Betriebsbericht über den Forschungsreaktor FR2 für das Jahr 1966

W. Steiger



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Okt. 1967

KFK 688

Abteilung Reaktorbetrieb

Betriebsbericht über den Forschungsreaktor FR2

für das Jahr 1966

von

W. Steiger

Gesellschaft für Kernforschung m. b. H. Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung
2. Einleitung
3. Betrieb des Reaktors
 - 3.1 Betriebszeiten, Lastfaktor, Verfügbarkeit, Energieabgabe
 - 3.2 Beladung, Leistungsverteilung
 - 3.3 Abbrand
 - 3.4 Reaktivitätsbilanz, Abschaltsicherheit
 - 3.5 Schwerwasserkreislauf
 - 3.6 Betriebsunterbrechungen, Abschaltungen
 - 3.7 Funktionsfähigkeit der Sicherheitseinrichtungen
 - 3.8 Leistungsrücknahmen
4. Betrieb der Experimente
 - 4.1 Isotopenproduktion
 - 4.1.1 in den Bestrahlungskanälen auf Zwischengitterpositionen
 - 4.1.2 in der Thermischen Säule
 - 4.1.3 in der Rohrpostanlage
 - 4.2 Strahlrohrexperimente
 - 4.3 Kapselexperimente
 - 4.3.1 Brennstoffbestrahlungen
 - 4.3.2 Thermionische Emitter
 - 4.4 Kreislaufexperimente
 - 4.4.1 Tieftemperaturbestrahlungsanlage (He-Gaskälte-Kreislauf)
 - 4.4.2 Brennstoffbestrahlungsanlage (He-Druckgas-Kreislauf)
 - 4.5 Erprobung der Hüllenschadennachweisanlage
5. Ausblick

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb. 1 : Betriebsdiagramm für das Jahr 1966
- 2 : Beladungs- und Belegungsplan in Betriebsphase C bei Aufnahme des Leistungsbetriebes
- 3 : Beladungs- und Belegungsplan in Betriebsphase H bei Erreichen von 44 MW
- 4 : Beladungs- und Belegungsplan in Betriebsphase O am Jahresende 1966
- 5 : Kühlmittelaufheizspanne bzw. Leistungsverteilung der Brennelemente bei Erreichen von 44 MW
- 6 : Verlauf der kritischen Trimmstabstellung in Betriebsphase O/66
- 7 : Beladungsplan Nr. 3 für Isotopenkanalpositionen
- 8 : FR2-Terminleitplan 1966, Ausgabe 0-061265
- 9 : FR2-Terminleitplan 1966, Ausgabe 1-091067 (überarbeitete Ausgabe)

Tabelle 1 : Reaktorabschaltungen im Jahre 1966

Tabelle 2 : Leistungsrücknahmen im Jahre 1966

1. Zusammenfassung

Der Betriebsablauf am FR2 für das Jahr 1966 war gekennzeichnet durch eine Leistungssteigerung des Reaktors von 12 MW auf 44 MW und durch eine verstärkte Nutzung durch die Experimente.

Der im Dezember 1965 für den Betrieb aufgestellte Terminleitplan (Abb. 8) konnte weitgehend eingehalten werden. Lediglich bei der Inbetriebnahme von Experimenten gab es einige Terminverschiebungen. Abb. 9 zeigt die den tatsächlichen Gegebenheiten angepaßte Fassung.

Der Betrieb des Reaktors und der Experimente wurde das ganze Jahr über ohne nennenswerte Störungen und längere Abschaltphasen durchgeführt.

Die aufgetretenen kurzzeitigen Betriebsstörungen waren nie ernsthafter Art. Ihre Ursachen konnten vom Betriebspersonal erkannt und kurzfristig beseitigt werden.

Der Reaktor war insgesamt 274 Tage in Betrieb, was einer Gesamtverfügbarkeit von 75 % entspricht. Die Energieabgabe betrug 9665 MWd.

Die Ausnutzung des Reaktors innerhalb der vorgesehenen Betriebszeit betrug 98,4 %.

2. Einleitung

Der Forschungsreaktor FR2 wurde von Mitte 1963 bis 2.10.1965 planmäßig nach Maßgabe der Experimente mit der Nennleistung von 12 MW betrieben.

Die Lastfaktoren betragen ohne Einbeziehung der planmäßigen Abschaltphasen

für die 2. Hälfte 1963	rd. 40 %,
für das Jahr 1964	rd. 60 %,
für das Jahr 1965 (bis 2.10.)	rd. 80 %.

Der Abbrand der ersten Brennstoffbeladung war Ende 1965 soweit fortgeschritten, daß eine Neubeladung erforderlich wurde. Dies wurde zum Anlaß genommen, das Konzept für den FR2-Kern neu zu bearbeiten.

Die wesentlichen Gesichtspunkte dabei waren:

- Erhöhung des Neutronenflusses für die Experimente
- Erhöhung der Sicherheit durch Verzicht auf Uranmetall
- Vermeidung umfangreicher Änderungen an bestehenden Anlagen.

Diese Gesichtspunkte führten zu folgenden Änderungen gegenüber dem ersten FR2-Kern:

- Übergang von Uranmetall auf oxidischen Brennstoff (UO_2) und gleichzeitig leichte Anreicherung auf z.Zt. 1,5 % U-235
- Verwendung von Zirkaloy 2 statt Aluminium als Hüll- und Strukturmaterial für das Brennelement
- Übergang von einem Einzelstab auf ein 7-er Stabbündel je Brennelement zur Vergrößerung der wärmeabführenden Fläche
- Steigerung der Reaktorleistung und damit Erhöhung des Neutronenflusses.

Aus diesen Tatsachen ergeben sich für den Forschungsreaktor FR2 folgende Hauptdaten:

- Maximale Brennelementleistung: 400 kW
- Maximale Reaktorleistung: 60 MW
- Reaktornennleistung: 44 MW
- Maximale Moderator Temperatur: 80 °C
- Maximaler thermischer Neutronenfluß im Moderator bei 44 MW: $1,1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- Abschaltsicherheit: - 3 %

Der erste FR2-Kern konnte Mitte Oktober 1965 entladen werden.

Die Beladung des Reaktors mit neuen oxidischen Brennelementen begann am Morgen des 2. November 1965. Der zweite FR2-Kern wurde mit 23 auf 1,5 % angereicherten Elementen (BE-5) am

2. November 1965, 21⁵⁰ Uhr

erstmal kritisch.

Am 11. November 1965 wurde ein zweites kritisches Experiment mit 'gemischtem' Kern durchgeführt. Die kritische Beladung betrug:

im Kern: 48 oxidische Natururanelemente (BE-6)
in der Ringzone: 26 oxidische, auf 1,5 % angereicherte
Elemente (BE-5).

Daran anschließend erfolgten bis Anfang 1966 physikalische Nulleistungsmessungen bei verschiedenen Beladungszuständen.

Der Leistungsbetrieb mit dem neuen FR2-Kern wurde am

28. Januar 1966

aufgenommen.

3. Betrieb des Reaktors

3.1 Betriebszeiten, Lastfaktor, Verfügbarkeit, Energieabgabe

Die Betriebszeiten sind aus beiliegendem Betriebsdiagramm (Abb. 1) ersichtlich.

In den Betriebsphasen D bis H und K bis N wurde der vorgesehene Betriebsrhythmus von

23,5 Tage Betriebszeit und 4,5 Tage Abschaltzeit

gefahren.

Die ursprünglich vorgesehene Betriebsphase B wurde zu einer Abschaltphase und an die Abschaltphase A angehängt, da der Genehmigungsbescheid für die Leistungserhöhung erst mit Datum vom 26.1.1966 erteilt wurde. Dadurch wurde die Betriebsphase C durch Hinzunahme der Abschaltwoche auf 30,5 Tage verlängert.

Die letzte Betriebsphase O des Jahres 1966 wurde über den Jahreswechsel hinaus um eine Woche verlängert, so daß sich eine Betriebszeit von 31,5 Tagen ergab. Die Phase O diente gleichzeitig der Prüfung, ob Reaktivitätsgründe einer Verlängerung der bisher üblichen Betriebszeit von 23,5 Tagen auf ca. 30 Tage entgegen stehen. (Für das Jahr 1967 ist ein 5-Wochen-Rhythmus mit 29-30 Betriebs- und 5-6 Abschalttagen vorgesehen).

Während der planmäßigen Abschaltphase J standen die auflagegemäßen Funktionsprüfungen der Reaktoranlage im Vordergrund. Die Prüfungen wurden entsprechend dem 'Prüfplan für den Reaktor FR2 (Eigenüberwachung), Ausgabe 1-120766' erstmals unter Mitwirkung des TÜV-Baden durchgeführt. Der TÜV hat nach Abschluß der Prüfungen diesem Prüfplan hinsichtlich Prüfumfang und Prüf Fristen zugestimmt.

Die Gesamtbetriebszeit im Jahre 1966 betrug:

6 573 Stunden bzw. 274 Tage.

Im Leistungsbereich ($\geq 10^{-3}$ Nennleistung) wurde der Reaktor

6 336 Stunden bzw. 264 Tage

betrieben.

Ohne Einbeziehung der planmäßigen Abschaltphasen A/B und J (51 Tage) ergibt sich hieraus ein Lastfaktor von

87 % bzw. 84 %

für die Betriebsphasen C bis H und K bis O.

Die Gesamtverfügbarkeit im Jahre 1966 errechnet sich zu 75 %.

Die störungsbedingte Ausfallzeit ergibt sich aus Tabelle 1 zu 106,5 h oder 1,6 %. Daraus errechnet sich eine zeitliche Ausnutzung des Reaktors, bezogen auf die Gesamtbetriebszeit, von

98,4 %.

Die Gesamtenergieabgabe im Berichtszeitraum betrug

9 665 MWd.

Im Berichtszeitraum erfolgten 132 Reaktorabschaltungen, davon 50 von Hand und 82 automatisch. 77 Abschaltungen waren störungsbedingt, von den 55 planmäßigen Abschaltungen erfolgten 14 für Funktionsprüfungen.

3.2 Die Beladung des Reaktors ist aus den beigegeführten 3 Beladep länen Nr. 95, 110 und 132 ersichtlich (Abb. 2 bis 4).

Die Beladung Nr. 95 (Abb. 2), mit der der Reaktor erstmals im Leistungsbereich betrieben wurde, bestand aus 108 neuen UO_2 -Bündelelementen. Um die Überschußreaktivität und die Leistungsverteilung in sinnvollen Grenzen zu halten, wurde der Kern aus 48 Natururan- und die Ringzone aus 60 auf 1,5 % angereicherten Elementen aufgebaut.

Im Verlauf der 5 folgenden Betriebsphasen wurden jeweils 10 frische Elemente mit 1,5 % Anreicherung am Corerand zugeladen und die Reaktorleistung stufenweise erhöht. Dabei wurde besonders die Einzelleistung der Brennelemente überwacht. Sie überschritt zu keinem Zeitpunkt die Grenze von 400 kW.

Die geplante Leistungsstufe von 44 MW, bei der der Reaktor über längere Zeit auf die vorgesehene Abbrandverteilung eingefahren werden soll, wurde erstmals in der Betriebsphase H am

27. Juni 1966 um 12⁰⁰ Uhr

erreicht. Der Reaktor war dabei mit insgesamt 157 Brennelementen beladen.

Beladung Nr. 110 (Abb. 3):

Kern: 47 Natururanelemente,
1 Brennstoffkapsелеinsatz

Ringzone: 110 auf 1,5 % angereicherte Elemente,
2 Thorium-Brutelemente.

Die Leistungsverteilung bei 44 MW gibt Abb. 5 wieder. Wie daraus ersichtlich, beträgt die maximale Brennelementleistung 380 kW.

Im Verlauf der folgenden Betriebsphasen K bis N wurde die Zahl von ca. 157 Brennelementpositionen konstant gehalten. Es wurden je Phase im Mittel 7 Natururanelemente aus dem Kern (4. Zone) entladen, in den restlichen 3 Zonen $3 \cdot 7 = 21$ angereicherte Elemente planmäßig umgeladen sowie die entsprechende Anzahl frischer angereicherter Elemente am Corerand (1. Zone) zugeladen.

Zu Beginn der Betriebsphase 0 wurde die Gesamtzahl der Elemente durch Zuladung von 5 auf 162 erhöht, um genügend Reaktivitätsreserve für den geplanten 4-Wochen-Betrieb zur Verfügung zu haben.

Damit ergibt sich für die letzte Betriebsphase 1966 der Beladeplan Nr. 132 (Abb. 4) mit folgenden Daten:

149	1,5 % angereicherte Elemente	(Typ BE-5)
13	Natururanelemente	(Typ BE-6)
2	Thoriumbrutelemente	(Typ BE-2)
5	Brennstoffkapsелеinsätze	(KVE)

Der Einfahrvorgang des neuen Kerns war Ende 1966 noch nicht abgeschlossen. Er wird 1967 bei 44 MW-Reaktorleistung solange fortgesetzt, bis alle Natururanelemente entladen sind und die Leistungsverteilung der angereicherten Elemente durch entsprechende Steuerung der Umladung möglichst gleichmäßig geworden ist.

Die vorausberechnete maximale thermische Neutronenflußdichte im Moderator von $1,1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ bei 44 MW Reaktorleistung wurde durch Messungen mehrfach bestätigt.

Bedingt durch die zahlreichen Umladungen der Brennelemente war die Brennelementwechselmaschine wesentlich stärker belastet als in den Vorjahren. Es wurden insgesamt

208 bestrahlte Brennelemente

gehandhabt. Die Maschine hat stets störungsfrei gearbeitet. Es gab keinerlei Zwischenfälle.

3.3 Der Abbrand der Brennstoffbeladung erreichte bei den 49 Natururanelementen im Mittel

$$\bar{A}_{\text{BE6}} = 3 \ 164 \text{ MWd/t}_U.$$

Die Extremwerte liegen bei

$$(A_{\text{BE6}})_{\text{max}} = 4 \ 410 \text{ MWd/t}_U, \quad (A_{\text{BE6}})_{\text{min}} = 1 \ 103 \text{ MWd/t}_U.$$

Für die 151 angereicherten Elemente ergibt sich im Mittel ein Abbrand von:

$$\bar{A}_{BE5} = 3\,757 \text{ MWd/t}_U.$$

Die Extremwerte liegen bei

$$(A_{BE5})_{\max} = 6\,539 \text{ MWd/t}_U, \quad (A_{BE5})_{\min} = 361 \text{ MWd/t}_U.$$

Die Extremwerte gelten für Elemente, die seit Anfang des Jahres im Core waren bzw. die zu Beginn der letzten Betriebsphase neu zugeladen wurden.

3.4 Zur Erläuterung der Reaktivitätsbilanz dient Abb. 6. Sie gibt den Verlauf der Trimmstabstellung in Betriebsphase 0 wieder.

Für den kalten, unvergifteten Reaktor entnimmt man daraus die kritische Stabstellung

$$\begin{array}{ll} \text{für die Trimmstäbe:} & TA = 1\,380 \text{ mm,} \\ \text{für den Feinregelstab:} & FR = 450 \text{ mm.} \end{array}$$

Aus den Reaktivitätskennlinien läßt sich für den kalten, unvergifteten und frisch umgeladenen Reaktor eine Überschußreaktivität von

$$\rho_{\text{ex}} \approx 7\%$$

ermitteln.

Für den warmen, vergifteten Reaktor ohne Abbrand ergibt sich die kritische Stabstellung zu:

$$\begin{array}{ll} TA & = 925 \text{ mm} \\ FR & = 450 \text{ mm.} \end{array}$$

Aus diesen Werten folgt für die Überschußreaktivität:

$$\rho_{\text{ex}} \approx 2,9\%.$$

Am Ende der Betriebsphase 0, d.h. also nach 30,5 Tagen Betrieb mit 44 MW bzw. nach einer Energiefreisetzung von 1 342 MWd, ergibt sich für den warmen, vergifteten Reaktor mit Abbrand die kritische Stabstellung zu:

$$\begin{aligned} \text{TA} &= 660 \text{ mm} \\ \text{FR} &= 400 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Daraus läßt sich die Überschußreaktivität zu

$$\rho_{\text{ex}} \approx 1,4 \%$$

angeben.

Alle diese Werte werden sich jedoch im Verlauf des weiteren Einfahrvorganges, d.h. mit Zunahme des Abbrandes, noch ändern.

Aus den vorgenannten Zahlen läßt sich weiter ableiten, daß die Bedingung $k_{\text{eff}} \leq 0,97$ für den abgeschalteten, kalten und unvergifteten Reaktor nach einer Umladung jederzeit erfüllt war, da die TA-Stäbe einen Reaktivitätsbetrag von

$$\text{TA} \approx -19,0 \%$$

liefern. (Dieser Wert hat sich aus neueren Messungen ergeben und ist etwas kleiner, als im Sicherheitsbericht, Nachtrag II, angegeben).

3.5 Schwerwasserkreislauf

Die Isotopenreinheit des Schwerwasserkreislaufes betrug am Jahresanfang

$$99,708 \text{ Mol } \% \text{ (Schwimmermethode)}$$

und am Jahresende

$$99,704 \text{ Mol } \% \text{ (photometr. Methode).}$$

Aus diesen Werten ergibt sich nur eine Abreicherung von 0,004 % pro Jahr. Dies erklärt sich daraus, daß um Jahresmitte das Meßverfahren von einer Schwimmer-Meßmethode auf ein photometrisches Verfahren umgestellt wurde. Letzteres gestattet eine echte Messung des Deuteriumgehaltes ohne Beeinflussung durch den O-18 Gehalt.

Unter Berücksichtigung der Verfahrensumstellung, die einen 'positiven Sprung' von 0,006 Mol % zur Folge hatte, ergibt sich eine Abreicherung von

0,010 Mol % pro Jahr.

Dieser Wert entspricht dem Wert des Vorjahres.
Die Leitfähigkeit des Schwerwassers stieg von 0,65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ am Jahresanfang auf 1,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ am Jahresende. Ein Wechsel der Ionentauscherharze ist für das kommende Jahr in Vorbereitung.

Es wurden im Verlauf des Jahres insgesamt 5 915,740 kp D_2O -RQ (RQ = Reaktorqualität, standardisiert auf 99,750 Mol %) eingefüllt. Davon sind in einem neu aufgestellten Behälter für die D_2O -Notfluteinrichtung rd. 4300 kp. Weitere rd. 200 kp wurden benötigt für den am 4.11.1966 nach Reparatur wieder in Betrieb genommenen Wärmetauscher 1.4. Durch Entnahme für Analysenproben, Entwässerungen bei Montagen und Regeneration der He-Trockner wurden 285,712 kp (D_2O -RQ) entnommen. Die Restmenge diente zur Erhöhung des Standes im 5m^3 -Behälter.

Die unwiederbringlichen Verluste belaufen sich auf rd.

65 kp D_2O (RQ).

Die Tritiumkonzentration des Schwerwassers am Jahresanfang betrug

380 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$,

sie erhöhte sich im Verlauf des Jahres auf

1200 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ am Jahresende.

Die Hüllenschadennachweisanlage arbeitete sehr zufriedenstellend. Es wurden, abgesehen von der Erprobung der Anlage (vgl. 4.5), keine Stabdefekte festgestellt. Der Aktivitätspegel an langlebigen Korrosions- und Spaltprodukten (Halbwertszeit > 1 Tag) ist

$< 0,1 \mu\text{Ci}/\text{ml}$.

3.6 Betriebsunterbrechungen längerer Dauer infolge von Störungen sind nicht aufgetreten. Es ereigneten sich in den 274 Betriebstagen 77 störungsbedingte kurzzeitige Abschaltungen, die im einzelnen in Tabelle 1 aufgeführt sind und zu insgesamt 106,5 Stunden Ausfallzeit führten. Im Mittel ist demnach der Reaktor alle 3,56 Tage, d.h. rd. zweimal pro Woche, störungsbedingt abgeschaltet worden. Dieser Wert entspricht dem der Vorjahre. Der Lastfaktor wurde dadurch um 1,6 % auf 98,4 % vermindert.

Bei den störungsbedingten Abschaltungen wird unterschieden zwischen 9 Handabschaltungen des Reaktors durch Einfahren der Trimmabschaltstäbe und 68 Schnellabschaltungen (Schnellschluß) des Reaktors durch Abwurf der Trimmabschaltstäbe über Automatikbefehle bzw. Notabschaltung. Hinzu kommen noch 14 Schnellabschlüsse zu Prüfzwecken.

Die Aufteilung in Schnellabschaltungen aus den Leistungsbe-
reichen < 1 MW (27) und > 1 MW (55) erfolgte wegen der Beurteilung der Brennelemente und der Anlageteile hinsichtlich therm. Beanspruchung.

Die einen Reaktorschnellschluß auslösenden Störungsursachen werden in die folgenden 4 Gruppen (Tab. 1, Spalten 9-12) zusammengefaßt:

- Reaktor (Sicherheitssystem des Reaktors einschl. Hilfseinrichtungen, Signale in 2 v 3 und 1 v 1): 42
- BE-Durchfluß (Durchflußüberwachung für jedes BE in 1 v 1 Schaltung. Zum Reaktor gehörig, aber gesondert angeführt, da ab 31.3.66 dieses Signal nicht mehr zur SS-Auslösung verwendet wurde): 18
- Experimente (Sicherheitssystem der verschiedenen Experimente, Signale 2 v 3 als auch 1 v 1): 20
- Not (Notabschaltung, d.h. Reaktorschnellschluß durch eine der Handabschalttasten): 2

Die beiden letztgenannten Notabschaltungen waren aus folgenden Gründen erforderlich geworden:

- Ausfall der Stromversorgung für die Antriebsmotore der Trimmabschaltstäbe und des Feinregelstabes. (Sicherungsfall)
- Ausfall der D_2O -Austrittstemperaturmessung (Thermoelementbruch) an einem Brennelement, dessen D_2O -Durchflußmeßeinrichtung (Woltmanflügel) gestört war.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das Sicherheitssystem des FR2 jederzeit ordnungsgemäß gearbeitet hat. Es traten keine Ereignisse ein, bei denen eine erforderliche automatische Abschaltung unterblieben ist.

In den Spalten 13 bis 16 der Tabelle 1 erfolgt eine Analyse der verschiedenen Störungen nach ihrer Art:

- echte Grenzwerte: 11
- Gerätefehler : 34
- Fehlbedienungen : 23
- Prüfungen : 14

Die Zahl der 'Gerätefehler' und der 'Fehlbedienungen' ist auch im Jahre 1966 noch sehr hoch.

In den 34 Schnellschlüssen infolge Gerätefehler sind jedoch noch 18 aus der mittlerweile außer Betrieb gesetzten Brennelementdurchflußüberwachung enthalten, sowie eine ganze Reihe von Fehlern, die z.B. nur eine automatische Funktion im Primärkreislauf verursachen, dadurch aber indirekt einen Sicherheitskanal zur Schnellschlußauslösung anregen.

Unser Bestreben im Jahre 1967 wird es sein, die Gerätefehler durch geeignete Schaltungen (z.B. 2 v 3) und verbesserte Gerätetechnik und die Fehlbedienungen durch gezieltere Ausbildung zu vermindern.

3.7 Aufschluß über die Funktionsfähigkeit der 16 Trimmabschaltstäbe bei Reaktorschnellschluß gibt Tab. 1, Spalte 18. Insgesamt wurden 9 mal Störungen in den automatischen Funktionen registriert. 4 davon wurden bewußt zur Funktionsprüfung des Schnellablasses eingeleitet. Am 1.6., 22⁴⁹ Uhr erfolgte der einzige störungsbedingte automatische Schnellablaß wegen Fehlens der Ankunftsmeldung von TA-Stab Pos. 4. Die restlichen 4 Störungen der Ankunftsmeldung sind auf Fehlfunktionen in der Meßtechnik zurückzuführen. Es erfolgte kein Schnellablaß, da die Schnellschlußsignale nicht aus den Neutronenfluß-Sicherheitskanälen (K1 - K3) kamen.

Im Berichtszeitraum wurden 10 von 16 Trimmabschaltstäben für Wartung, Inspektion und Reparatur gewechselt. Veränderungen an den Absorberteilen wurden bis auf eine Ausnahme nicht festgestellt.

Bei 7 der gewechselten Stäbe war der magnetische Schutzgaskontakt der Ankunftsmeldung defekt, in 2 Fällen war die Ankerplatte des Magneten durch Abrieb an der Kunststoffführung verschmutzt. Ein Stab wurde mit einem neuen Elektromagneten versehen, da ein Isolationsdefekt festgestellt worden war.

Bei dem bereits vorerwähnten einen Stab mit Veränderungen am Absorber hatte sich nahe dem Ende des Absorberteils eine ungesicherte Madenschraube M 4 x 7, die von früheren Versuchen herrührte, gelockert und zu einer Verklemmung im gegenüber dem Führungsrohr verengten Stoßdämpfer geführt. Der Schaden wurde durch die vorhandene Überwachungseinrichtung erkannt und konnte rechtzeitig behoben werden.

3.8 Die Leistungsrücknahmen im Berichtszeitraum sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es erfolgten 8 Rücknahmen auf Leistungen zwischen rd. 0,5 und 8 MW und 21 Rücknahmen auf $<10^{-3}$ Nennleistung. (Im Bereich $<10^{-3}$ Nennleistung wird ein Teil der auf das Sicherheitssystem aufgeschalteten Meßwerte automatisch überbrückt).

Von den insgesamt 29 Vorkommnissen waren 23 störungsbedingt, die restlichen 6 waren planmäßige Maßnahmen bei der Erprobung von Experimenten.

Der Ausfall an Experimentierzeit betrug für die 23 störungsbedingten Rücknahmen zusammen 22,7 Stunden. Da der größte Teil davon, nämlich 18,5 Stunden, auf Betriebszeiten $< 10^{-3}$ Nennleistung fällt, ist dieser bereits in den Angaben über die Verfügbarkeit des Reaktors enthalten (vergl. Abschnitt 3.1).

4. Betrieb der Experimente

Der Betrieb der Experimente konnte ohne nennenswerte Störungen abgewickelt werden. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, gehen von den 77 störungsbedingten Reaktorabschaltungen 25, also rd. $1/3$, zu Lasten der Experimente. Es handelt sich hierbei um 20 Schnellschlüsse und 5 Abschaltungen von Hand.

Die im Terminleitplan für 1966 (siehe Abb. 8 u. 9) vorgesehenen Termine und Bestrahlungsprogramme konnten nicht immer eingehalten werden, besonders, wenn bei der Fertigstellung und Erprobung der Experimente Schwierigkeiten auftraten. Nähere Angaben dazu werden, soweit es sich um betriebsbeeinträchtigende Störungen handelt, bei der Berichterstattung über die Einzelexperimente gemacht.

4.1 Die Herstellung radioaktiver Isotope erfolgte im Rahmen der Projekte FR2-1 (Kapselbestrahlungen in Isotopenkanälen), FR2-38 (Kleinprobenbestrahlungen, vornehmlich in der Thermischen Säule) und FR2-44 (Kapselbestrahlungen in der Rohrpostanlage).

4.1.1 Für das Projekt FR2-1 standen im Jahre 1966 insgesamt 13 Bestrahlungsmöglichkeiten auf Zwischengitterpositionen mit je 29 Kapselpositionen zur Verfügung (vgl. Abb. 7). Es wurden 489 Beladungen durchgeführt und 951 Kapseln mit Bestrahlungsmaterial ausgeliefert. Eine Reihe dieser Bestrahlungen erforderte eine therm. Neutronenflußdichte von $10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Die mittlere Beladung der vorhandenen Bestrahlungspositionen errechnet sich zu 7,3 Kapseln je Beladung und Kanal.

Zur Ermittlung der Flußverhältnisse im neuen Core wurde zusätzlich eine große Zahl von Neutronenflußmessungen mit Aktivierungssonden durchgeführt. Dabei wurden 1498 Kapseln bestrahlt und gehandhabt.

Die Kühlungsüberwachung der Isotopenkanäle ist in 1 v 1 Schaltung auf das Sicherheitssystem des Reaktors aufgeschaltet und führte in 2 Fällen durch Fehlbedienung der Lüftungsanlage zu Reaktorschnellschluß.

Die Wechseleinrichtung hat zufriedenstellend gearbeitet, sie erfordert jedoch wegen ihrer Kompliziertheit gut ausgebildetes Bedienungspersonal.

- 4.1.2 Im Rahmen von Projekt FR2-38 wurden 124 Bestrahlungen in verschiedenen Kanälen der Thermischen Säule durchgeführt. Die Bestrahlungszeiten lagen zwischen wenigen Minuten und mehreren 100 Stunden. Störungen des Betriebes sind nicht aufgetreten.
- 4.1.3 Mit der Rohrpostanlage (Projekt FR2-44) wurden 515 Fahrten zur Durchführung von Kapselbestrahlungen ausgeführt. Da es sich dabei um Kurzzeitbestrahlungen handelte, betrug die Gesamtbestrahlungsdauer nur 68,6 Stunden und die mittlere Bestrahlungsdauer 8 Minuten. Durch die Leistungserhöhung des Reaktors waren längere Bestrahlungszeiten infolge Fehlens geeigneter Bestrahlungskapseln noch nicht möglich. Eine entsprechende Entwicklung wurde eingeleitet. Die seit der Leistungserhöhung des Reaktors auf das Sicherheitssystem aufgeschaltete Kühlungsüberwachung der Rohrpostanlage verursachte durch einen Gerätefehler einen Reaktorschnellschluß (1 v 1 Schaltung).
- 4.2 Von den 14 verfügbaren horizontalen Strahlrohrausgängen waren 10 durch Experimente besetzt. Es handelte sich hierbei um die Projekte FR2-47 an Kanal R 1, FR2-24 an Kanal C 2, FR2-49 an Kanal R 2, FR2-16 an Kanal R 3, FR2-8 an Kanal C 3, FR2-7 an Kanal R 7, FR2-23 an Kanal C 1, FR2-3/14 an Kanal R 5,

FR2-22 an Kanal T_{ost} und FR2-52 an Kanal T_{west} (Abb. 3). Insgesamt handelte es sich um 18 Einzelexperimente, da einige Strahlrohrausgänge mehrfach genutzt wurden. Sie gehören vor allem folgenden Forschungsrichtungen an:

- Atomstrukturaufklärung in Festkörpern und Flüssigkeiten
- Kerndatenbestimmung

Von den im Berichtszeitraum nicht belegten 4 Strahlrohrausgängen wird im kommenden Jahr der Kanal R 6 durch eine 'Heiße Neutronenquelle' belegt werden. Die verbleibenden 3 restlichen Kanäle waren wegen der gegenseitigen Behinderung durch die Aufbauten an den Nachbarkanälen praktisch nicht nutzbar.

Betriebsstörungen des Reaktors traten nicht ein. Grenzwertsignale waren auf das Sicherheitssystem des Reaktors nicht aufgeschaltet.

4.3 Kapselexperimente

Im Berichtszeitraum waren 2 verschiedene Arten von instrumentierten Kapseln im Reaktor eingesetzt. Die eine Art diente der Bestrahlung von Kernbrennstoffen im Rahmen der Schnell-Brüter-Entwicklung. Sie läuft im FR2 unter der Bezeichnung Projekt FR2-36. Die andere Kapselart diente der Bestrahlung von thermionischen Emittern, die unmittelbar mit Kernbrennstoff beheizt werden (Projekt FR2-56).

4.3.1 Für das Projekt FR2-36 wurden insgesamt 25 Brennstoffprüflinge, verteilt auf 8 Kapselversuchseinsätze (KVE), auf verschiedenen Brennelementpositionen im Reaktor bestrahlt (vgl. Abb. 3 und 4).

Alle 8 Kapselversuchseinsätze mit der lfd. Nr. 9 bis 16 gehörten der Versuchsgruppe 2a des PSB-Bestrahlungsprogramms an. Die KVE lfd. Nr. 9 bis 11 mit je 4 Prüflingen wurden nach 3,2, 36,3 bzw. 56,5 Tagen Bestrahlungszeit noch 1966 aus dem Reaktor genommen, da verschiedene Thermoelemente zur Messung der Kapselwandtemperatur infolge Lunkerbildung im Blei-Wismut-Spalt zu hohe Temperaturen anzeigten.

Die KVE lfd. Nr. 12 bis 16 befanden sich am 31.12. noch im Reaktor. Sie hatten bis zu diesem Zeitpunkt folgende Bestrahlungszeiten:

KVE 12	(3 Prüflinge)	1818 h	=	75,7 d
KVE 13	(3 Prüflinge)	1625 h	=	67,7 d
KVE 14	(3 Prüflinge)	1590 h	=	62,2 d
KVE 15	(2 Prüflinge)	1262 h	=	52,6 d
KVE 16	(2 Prüflinge)	1262 h	=	52,6 d.

Jeder KVE war mit 3 Thermoelementen in 2 v 3 Schaltung zur Füllstandsüberwachung im Pb-Bi-Spalt und mit 1 Thermoelement in 1 v 1 Schaltung zur Prüflingswandtemperaturüberwachung auf das Sicherheitssystem des Reaktors geschaltet. Durch das Experiment wurden 10 Reaktorabschaltungen verursacht (7 Schnellschlüsse und 3 Abschaltungen von Hand). 5 der 7 Schnellschlüsse entfielen auf Fehlbedienungen und Gerätefehler, nur 2 ereigneten sich durch echte Grenzwertüberschreitungen (KVE 10 und 11).

Die 3 Abschaltungen von Hand waren erforderlich geworden, um Versuchseinsätze nach dem Reaktorstart nochmals umzusetzen, da sie zu hohe Hüllwandtemperaturen zeigten. Gegen Jahresende war eine deutliche Verbesserung der Betriebssicherheit der Kapselversuchseinsätze festzustellen. Bei den Einsätzen ab lfd. Nr. 12 ließ man den obersten Prüfling weg, der die größten Schwierigkeiten verursacht hatte.

- 4.3.2 Für das Projekt FR2-56 wurden 2 zylindrische, aus Molybdän gefertigte 'Thermionische Emitter' bestrahlt, von denen jeder rd. 1 g auf 35 % angereichertes UO_2 in Form von 'Mo-coated particles' enthielt. Beide Emitter waren gemeinsam in einem, mittels einer Ionengetterpumpe evakuierten, Tauchrohr untergebracht. Der Einsatz befand sich im Reaktor auf der Zwischengitterposition 49/07. Er wurde am 7.6. eingebaut und am 7.9. nach Erreichen der vorgesehenen Betriebsstunden planmäßig ausgebaut. Die Bestrahlungszeit lag bei 57 1/2 Tagen, die Emittertemperaturen erreichten rd. $2000^{\circ}K$.

Der Betrieb des Experiments führte 4 mal zu Reaktorschnellschluß, davon 3 mal wegen kurzzeitigem Zusammenbruch des Vakuums an der Ionengetterpumpe und 1 mal infolge Fehlbedienung. Auf das Sicherheitssystem des Reaktors aufgeschaltet waren die Getterstromüberwachung als Maß für das Vakuum und die Strahlungsüberwachung der Getterpumpe zur Anzeige eines Spaltgasausbruches (beide in 1 v 1 Schaltung).

4.4 Kreislaufexperimente

Im Berichtszeitraum waren 2 Kreislaufexperimente im Reaktor in Betrieb. Es handelte sich hierbei um eine Tieftemperatur-Bestrahlungsanlage zur Untersuchung von Strahlenschädigungen an Festkörpern (Projekt FR2-2) und um einen Helium-Druckgas-Kreislauf für Abbranduntersuchungen an Brennstoffproben im Rahmen des Projektes Schneller Brüter (Projekt FR2-26).

4.4.1 Die Tieftemperatur-Bestrahlungsanlage (Projekt FR2-2) war bereits im ersten FR2-Core bei 12 MW Reaktorleistung in Betrieb. Der Versuchseinsatz wurde im neuen Core am 28.2.1966 auf der Brennelementposition 54/26 eingebaut, der He-Kreis ist seit 10.3.1966 wieder in Betrieb.

Im Berichtszeitraum konnten 45 Al-Proben und 1 Zr-Probe bestrahlt und anschließend durch die Experimentatoren untersucht werden.

Der He-Gaskältekreislauf erreichte im Jahre 1966 eine Betriebszeit von 2934 Stunden. Den Versuchsbetrieb beeinträchtigende Störungen traten auf durch ein Leck vom He-Kreis in den Vakuumraum (Betriebsphase F/G, 22.4.-10.6.) und durch feuchtes Gas im Kreislauf sowie zu niederen Druck der Schmierölversorgung des Hauptkompressors (Betriebsphase M, 11.10. - 8.11.).

Den Reaktorbetrieb beeinträchtigende Störungen traten wegen der Aufschaltung der Drehzahlüberwachung der Expansionsmaschine und der Temperaturüberwachung im Versuchseinsatz auf das Reaktorsicherheitssystem in 7 Fällen auf:

5 Reaktorschnellschlüsse (3 Gerätefehler (1 v 1 Schaltung), 1 Fehlbedienung, 1 echter Grenzwert, hervorgerufen durch einen Gerätefehler)

2 Reaktorabschaltungen zur Außerbetriebnahme des Experiments.

4.4.2 Der Helium-Druckgaskreislauf für die Bestrahlung von Brennstoffprüflingen (Projekt FR2-26) wurde am 22.4. in Betrieb genommen und hatte bis 31.12. 4990 Betriebsstunden erreicht. In dieser Zeit trat nur eine Betriebsunterbrechung vom 10.7. - 12.8. auf. Sie war bedingt durch einen Lagerschaden am Frequenzumformer (Fehlkonstruktion) für die Energieversorgung der gasgelagerten Helium-Umwälzgebläse.

Das Druckrohr zur Aufnahme der Bestrahlungsprüflinge wurde am 27.4. im zentralen Bestrahlungskanal des Reaktors von unten eingebaut. Nach der Probe-Bestrahlung von 4 Stahlattrappen in der Betriebsphase F, wurden die ersten 4 Brennstoffprüflinge vom 27.5. bis 20.6. (G) mit einer Stableistung von 570 W/cm 23,5 Tage lang bestrahlt. In den folgenden 2 Betriebsphasen konnten 7 Prüflinge mit rd. 700 W/cm bestrahlt werden. Bei 3 Prüflingen wurde die Bestrahlungszeit durch den bereits oben erwähnten Lagerschaden auf 4,5 Tage verkürzt, die restlichen 4 Prüflinge wurden am Ende der Bestrahlungszeit von 20,5 Tagen durch Erhöhung der Reaktorleistung von 40 auf 44 MW für 24 Stunden bis rund 780 W/cm belastet.

Mit der Bestrahlung von insgesamt 11 Prüflingen wurde das Langzeitbestrahlungsprogramm vorerst abgeschlossen.

In den Betriebsphasen L und M erfolgte der Umbau der Prüflings-Wechselmaschine für die Bestrahlung von Einzelprüflingen, die während des Reaktorbetriebes ein- und ausgebaut werden können. Diese Einrichtung gestattet die Bestrahlung von sogenannten Kurzzeitprüflingen ohne Beeinträchtigung des Reaktorbetriebes. Vor der ersten Kurzzeitbestrahlung am 18.10. wurde die Anlage durch Ein- und Ausfahren einer Stahlattrappe bei Reaktorbetrieb erprobt.

Die Bestrahlung der ersten, mit Thermoelementen instrumentierten Brennstoffprüflinge verlief nicht ohne Schwierigkeiten. Durch einen Maßfehler in der Prüflingshalterung kam der Thermoelementverbindungsstecker bei Erwärmung außer Eingriff, so daß Thermoelementbruch signalisiert wurde. Dies führte dann zu Reaktorschnellschluß. Nach Behebung dieser Störung konnten alle Bestrahlungen ordnungsgemäß durchgeführt werden.

In den letzten 3 Betriebsphasen M, N und O des Jahres 1966 wurden insgesamt 7 Kurzzeitprüflinge mit Stableistungen von 500 bis 750 W/cm bestrahlt.

Die Bestrahlungseinrichtung ist mit mehreren Grenzwertsignalen auf das Sicherheitssystem des Reaktors aufgeschaltet (Differenzdruck He-Gebälse, Kreislaufaktivität, Prüflingstemperatur). Es ereignete sich ein Reaktorschnellschluß durch die schon erwähnte Unterbrechung der Thermoelementleitungen (Schaltung 2 v 3, fail - to - safe). Ferner wurde der Reaktor 2 mal von Hand abgeschaltet, und zwar am:

- 28.5. zur Erprobung der Notkühlung des Experiments
- 10.7. wegen Lagerschaden am Frequenzumformer und zum dadurch bedingten Ausbau der Prüflinge.

Die zum Experiment gehörige Flüssigstickstoff-Erzeugungsanlage begann Anfang 1966 ihren Probetrieb im Reaktorgebäude, der allerdings nicht zufriedenstellend verlief. Es gab wiederholt Ausfälle und größere Abschaltzeiten für Umbauten durch die Lieferfirma. Da der Flüssigstickstoff zum Betrieb des Experiments für die Kühlung der Tieftemperaturadsorber notwendig war, wurde ein Vorratstank aufgestellt, aus dem mit käuflich erworbenem Flüssigstickstoff die Anlage versorgt wurde.

- 4.5 Das Experiment zur Erprobung der Hüllschadennachweisanlage und zur Ermittlung der zulässigen Trockenstehzeit eines neuen UO_2 -Brennelements nach Bestrahlung lief unter der Bezeichnung Projekt FR2-54.

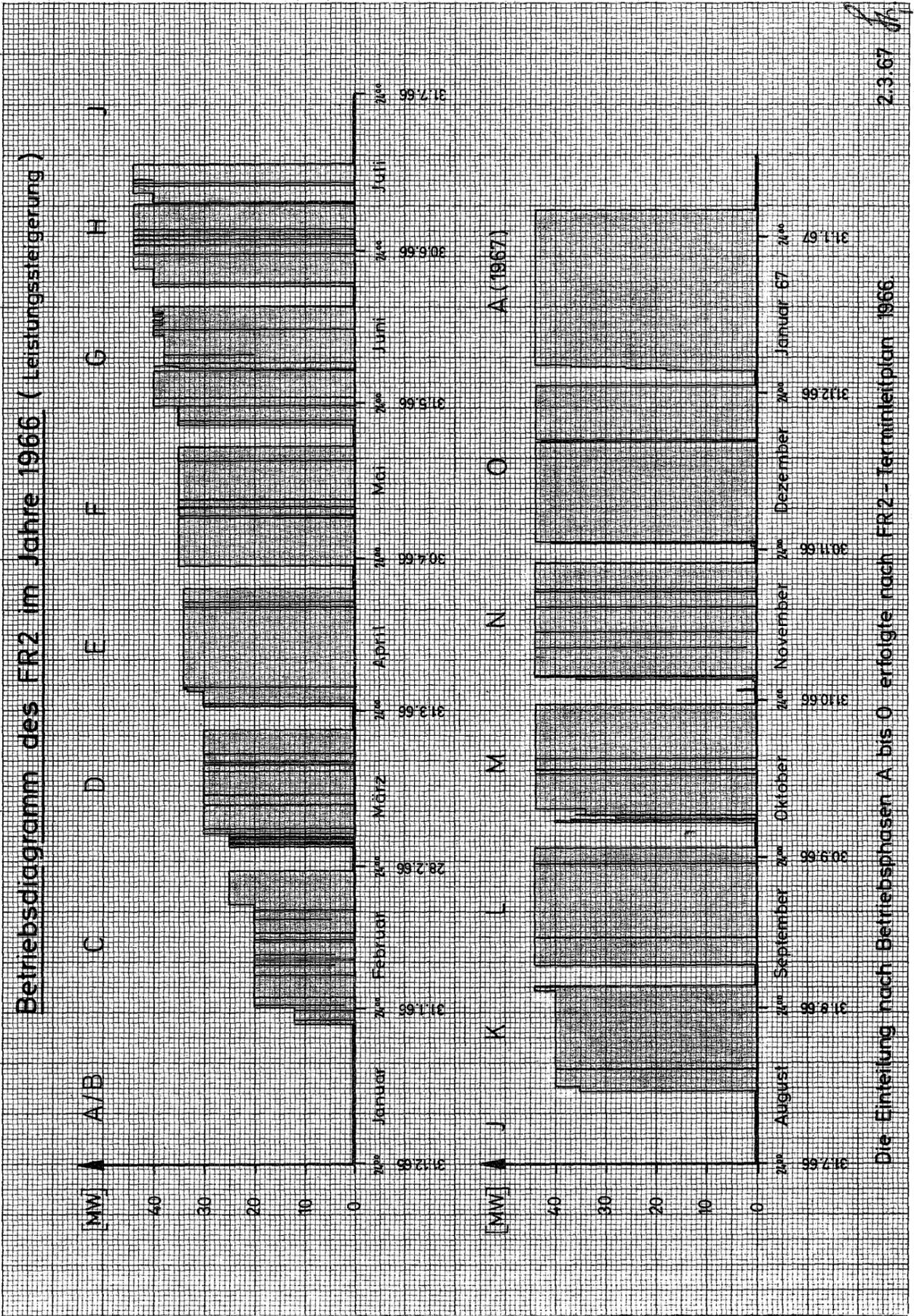
Dazu wurde ein Brennelement Typ 5 (7er-Bündel, 5-fach unterteilt, 42 Einzelstäbe, 1,5 % angereichertes UO_2) mit Thermoelementen bestückt und die Hülle eines der Stäbchen mit einem Loch von 1,1 mm \varnothing versehen. Die Bestrahlungszeit im Reaktor betrug 1405 h (Einsatzzeit 11.5. - 10.8.), der Abbrand 1084 MWd/t_U .

Es konnte nachgewiesen werden, daß ein Hüllenschaden der angegebenen Größe gut auszumachen ist. Ferner haben die Temperaturmessungen am ausgebauten Brennelement die vorhandenen Daten vorteilhaft ergänzt.

Es ist geplant, in einer 2. Stufe des Experiments, die Untersuchungen auf Spaltgasausbrüche bei einem Element mit größerem Abbrand auszudehnen. Dabei wird dann erst nach einer gewissen Bestrahlungszeit der Hüllenschaden im Reaktor 'eingeleitet'.

5. Ausblick

Für das Jahr 1967 sind 10 Betriebsphasen zu je 4 Wochen Betriebszeit mit einer Reaktorleistung von 44 MW vorgesehen. Zu den bereits vorhandenen Experimenten, die in vollem Umfang weitergeführt werden, wird die Aufnahme des Betriebes der Kalten Neutronenquelle (Projekt FR2-16) hinzukommen. Ferner ist beabsichtigt, im Strahlrohrkanal R 6 eine Heiße Neutronenquelle (Projekt FR2-65) einzubauen.



Die Einteilung nach Betriebsphasen A bis O erfolgte nach FR2-Terminplan 1966.

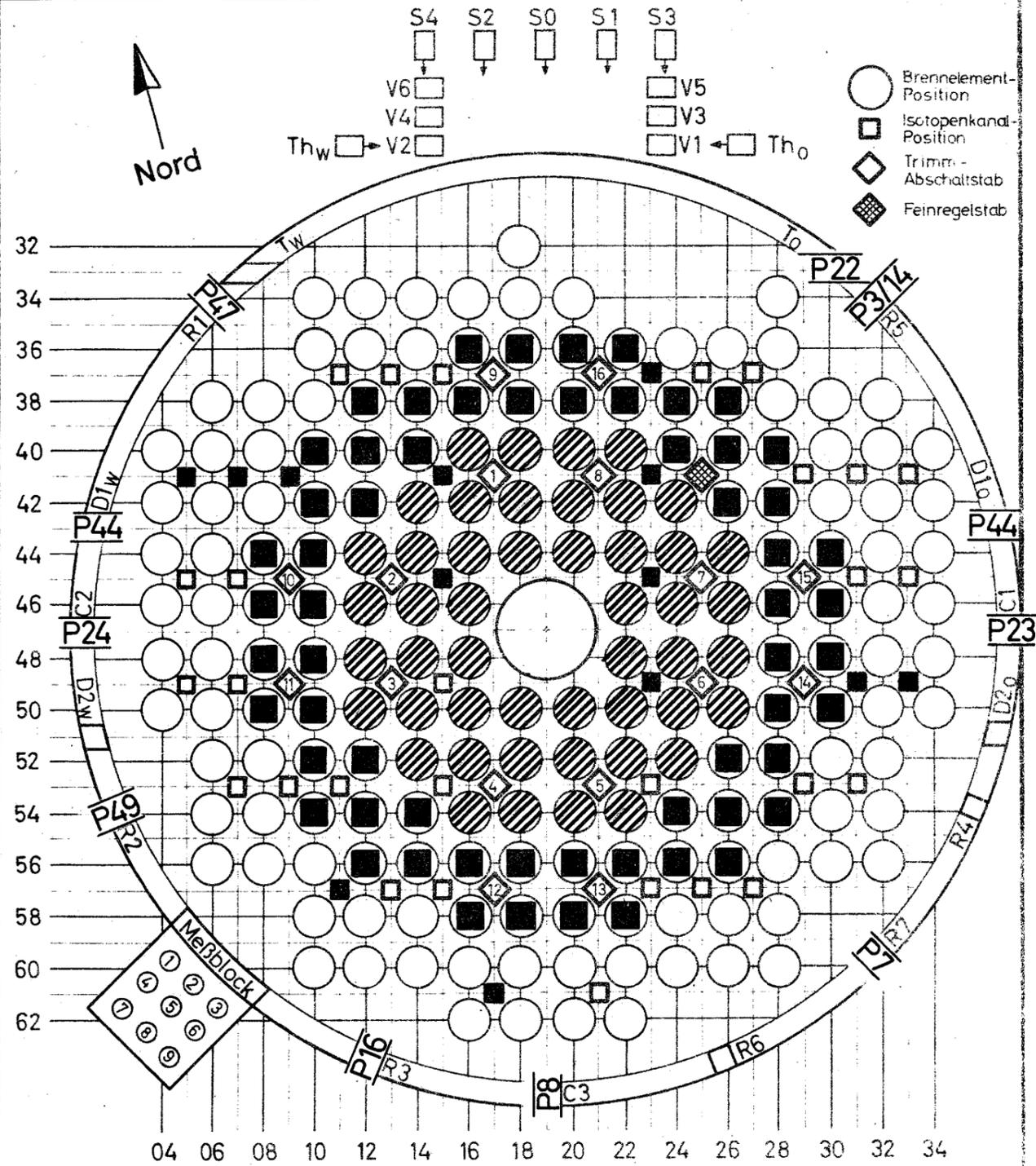
2.3.67

Abb. 1

Beladungs- und Belegungsplan Betriebsphase C

- 60 BE 5 (UO₂-Element, 15%anger.) ■ Isotopenk.-Pos. mit Belademöglichk. (Proj.1)
- ▨ 48 BE 6 (UO₂-nat. Element)

Beladung Nr.: 95 Datum: 27.1.66 ÷ 28.2.66



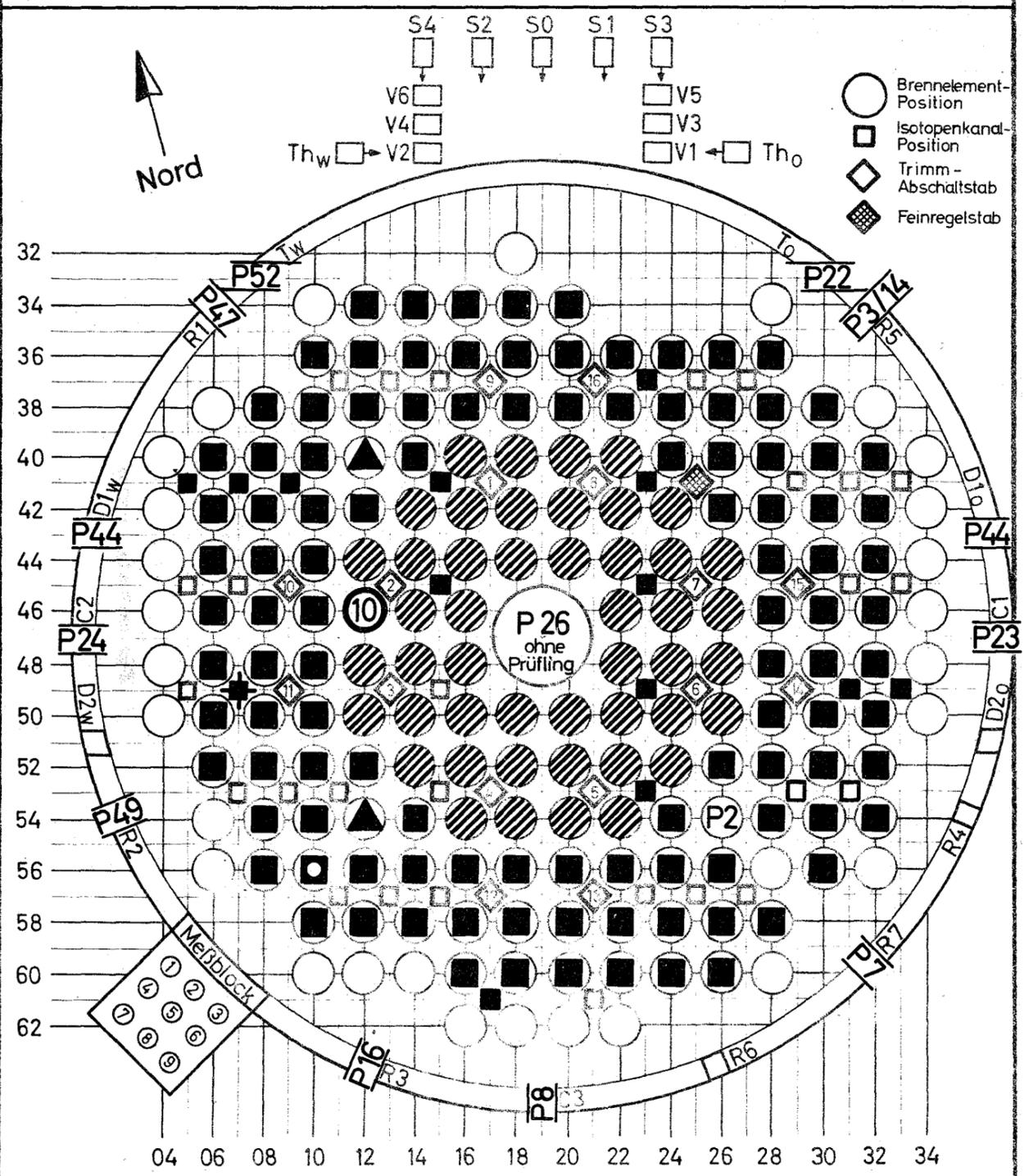
GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H., KARLSRUHE
Abteilung Reaktorbetrieb

Formblatt: 9/2 (Positionskarte FR 2 - Core)

Abb. 2

Beladungs- und Belegungsplan Betriebsphase H

- ▲ BE 2 (Thorium-Brutelement)
 - BE 5 (UO₂-Element, 1,5% anger.)
 - ▨ BE 6 (UO₂-nat. Element)
 - KVE mit lfd. Nr. (Proj. 36)
 - ⊕ Thermionic-Emitter (Proj. 56)
 - ⊙ BE 5 mit Loch (Canschadennachweis P54/1)
 - Isotopen-Pos. mit Belademöglichkeit (Proj.1)
- Beladung Nr.: 110 Datum: 23.6.+1.7.66
Uhrzeit: 12⁰⁰/19⁰⁰Uhr



Prüflinge P26 am 20.6. ausgebaut.

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H., KARLSRUHE
Abteilung Reaktorbetrieb.

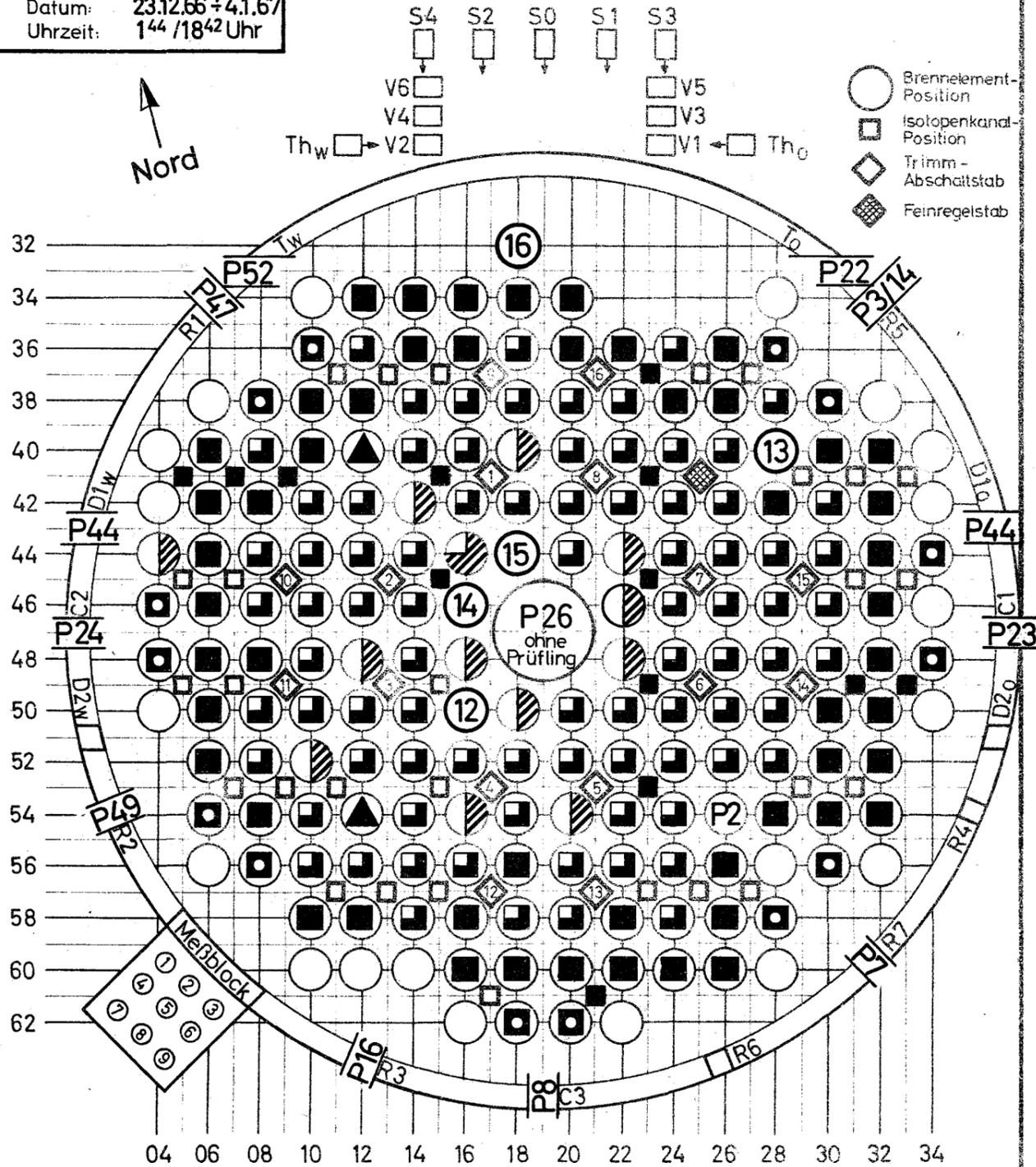
Formblatt: 9/2 (Positionskarte FR 2 - Core)

Abb. 3

Beladungs- und Belegungsplan Betriebsphase 0

- 2 BE2 (Thorium-Brutelement)
 - 84 65 -149 BE5 (UO₂-Element, 1,5% anger.)
 - 12 1 - = 13 BE6 (UO₂-nat. Element)
 - 5 KVE mit lfd. Nr. (Proj. 36)
 - Isotopenk.-Pos. mit Belademöglichkeit (Proj. 1)
 - zu Beginn dieser Betriebsphase neu eingesetzt (14 Stück)
- Abbrd. Abbrd. Abbrd.
 >50-75% >25-50% <25%

Beladung: 132
 Datum: 23.12.66 ± 4.1.67
 Uhrzeit: 1⁴⁴ / 18⁴² Uhr



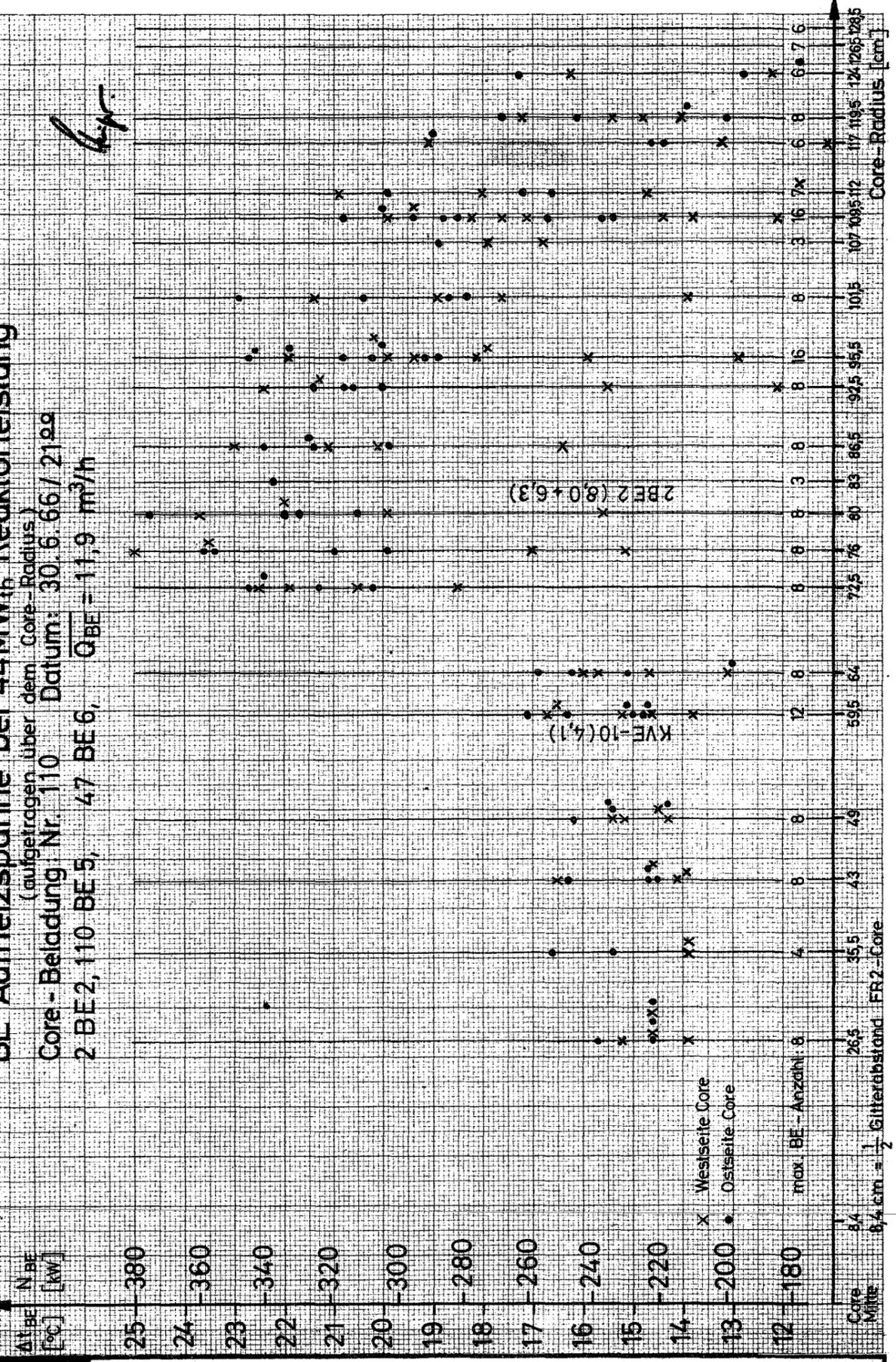
GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H., KARLSRUHE
 Abteilung Reaktorbetrieb

Abb. 4

BE-Aufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

(aufgetragen über dem Core-Radius)
Core - Beladung: Nr. 110 Datum: 30.6.66 / 21.9.67
2 BE2, 110 BE5, 47 BE6, $G_{BE} = 11,9 \text{ m}^3/\text{h}$

67



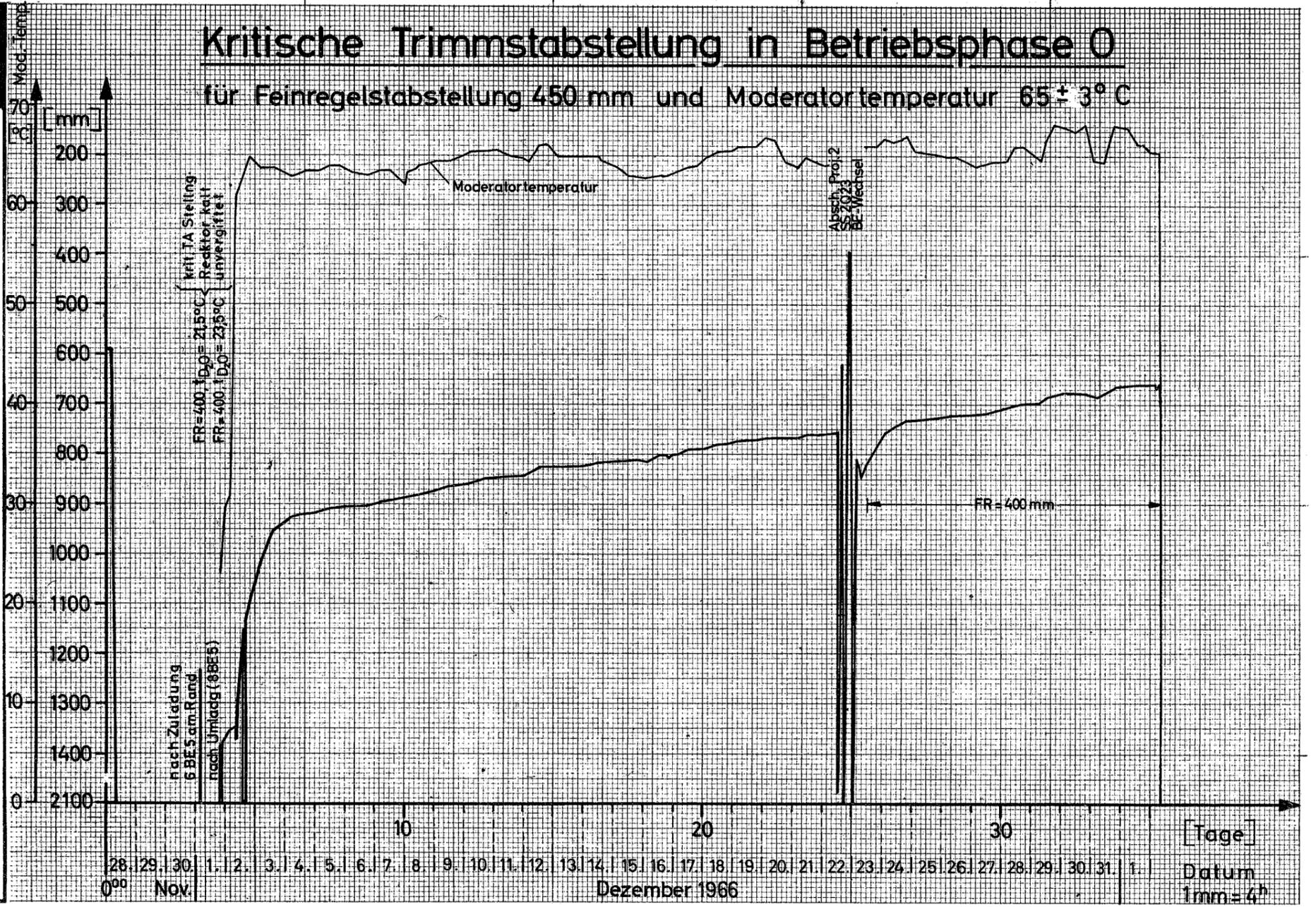
Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase 0

für Feinregelstabstellung 450 mm und Moderator temperatur $65 \pm 3^\circ\text{C}$

Abteilung Reaktorbetrieb

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H., KARLSRUHE

Abb. 6



Positionskarte FR2 - Core

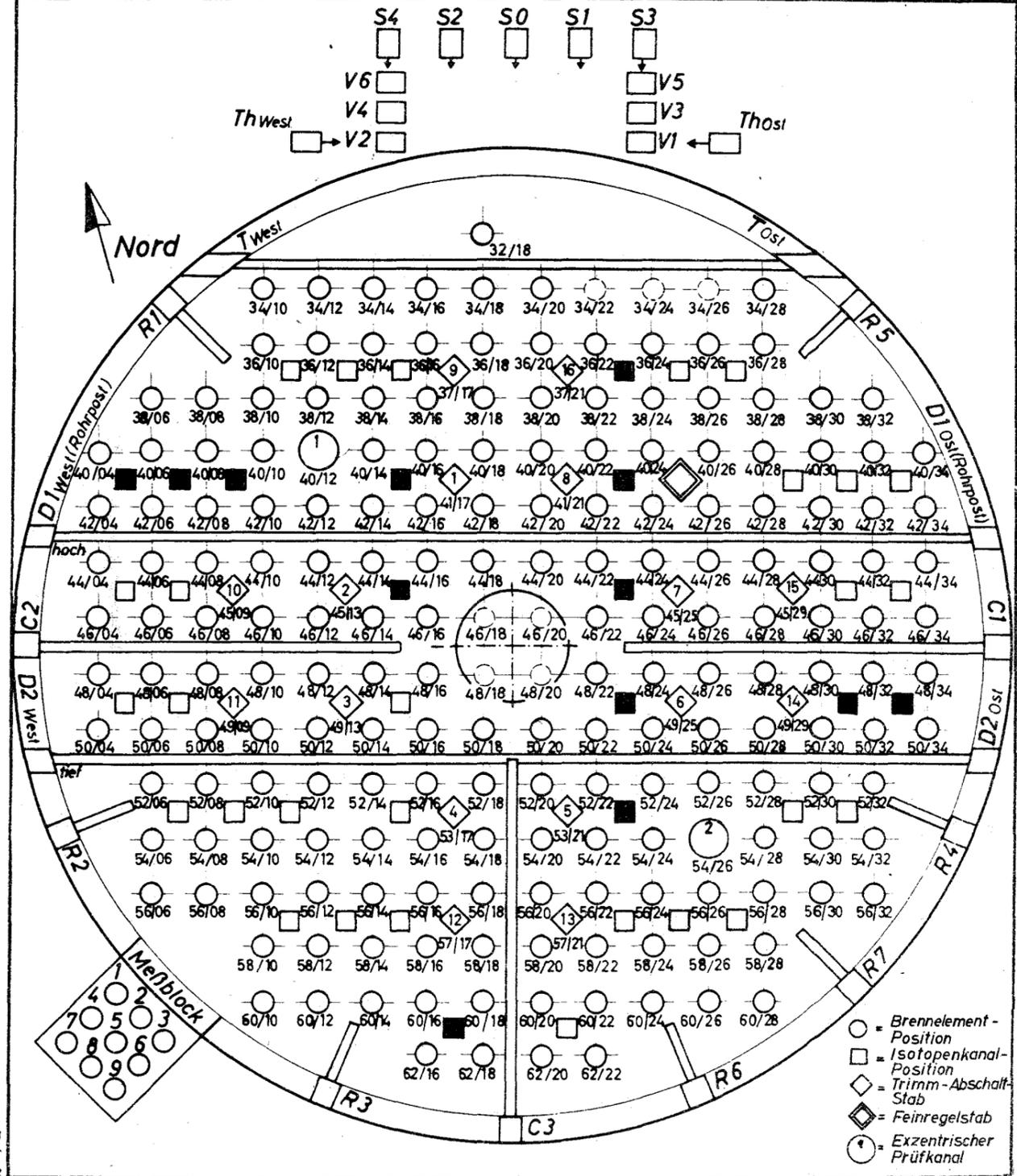
Beladungsplan für Isotopenkanal-Positionen

Beladung Nr.: Iso / 3

Datum: 29.3.66 ÷ 31.10.66

Standardbeladung Nr. 3 mit 13 Isotopenrauchrohren einschließlich leeren Kapselträgerrohren.

Neues Core: UO₂-Elemente



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H., KARLSRUHE

Abteilung Reaktorbetrieb

Formblatt: 9a

Abb. 7

1	2	3	4		6	7		9				13				17	18	19	20
			Abschaltart	Abschaltgrund		Schnellschluß - Ursachen				Störungsart									
						Handabschaltg.	autom. durch Schnellschluß im Betriebsbereich < 1 MW > 1 MW	Plan	Störung	Reaktor	Brennelement-durchfluß BE-Q	Exp.	Not	echter Grenzwert	Geräte-Fehler				
1	16.01.	15.51		x			x	K 2b					x				2 v 3	x	Eichung Cd-Absorber
2	20.01.	07.10	x			x							x						
3	20.01.	15.10		x			x	K 3a					x				1 v 2	x	Eichung Cd-Absorber
4	21.01.	01.36	x			x													
5	22.01.	14.10		x		x		K 3a						x			1 v 2	x	Prüfung Sicherheitssystem
6	22.01.	16.13		x		x		K 3a						x			1 v 2	x	" "
7	22.01.	18.20		x		x		K 2b						x			2 v 3	x	" "
8	25.01.	03.56	x			x													
9	26.01.	05.30	x			x													
10	28.01.	15.50		x			x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
11	31.01.	15.11			x		x	K 10							x		2 v 3	x	Kühlluft Therm. Säule auf, kurzz. Aktiv.-Anstieg Schornstein durch Ar 41
12	02.02.	20.06			x		x			P 44				x			1 v 1	x	Kühlungsüberw. Rohrpost
13	07.02.	13.49			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
14	13.02.	23.34			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
15	14.02.	12.01	x			x													Einbau Temp.-Meßst. Maßsäule
16	15.02.	23.48			x		x	2Q23							x		1 v 1	x	Therm. Schild-Kreisl. entlüftet
17	20.02.	09.01			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
18	28.02.	11.05	x			x													
19	03.03.	08.26	x			x													
20	03.03.	20.28		x		x		K 3a						x			1 v 1	TA10/SA	Funktionsprüfung Schnellablaß ausgelöst
21	04.03.	19.36			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel durch TA 10
22	04.03.	21.05			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
23	04.03.	21.49			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
24	04.03.	23.06			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
25	05.03.	03.19			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
26	05.03.	11.18			x		x	K 3b					x				2 v 3	x	lin-Verst. def., Regelabweichg., Flußanstieg
27	06.03.	12.58			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
28	06.03.	23.56			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
29	07.03.	16.38			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
30	08.03.	13.49			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
31	13.03.	08.01			x		x			P 2				x			1 v 1	TA1 ?	Drehzahlmessung Exp.Masch. gestört; TA1 fehlt zeitw. Ankunftsmeldung
32	15.03.	04.30	x				x												EvD-Einsatz des Schichtleiters
33	20.03.	02.17			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
34	21.03.	05.38			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
35	21.03.	08.49			x		x	2Q23							x		1 v 1	x	Pumpenumschaltg. Therm. Schildkreisl.
36	21.03.	15.57			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
37	21.03.	17.11			x		x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel
38	23.03.	13.32		x			x				x			x			2 v 3	TA9 ?	Stromvers. TA-Stäbe gestört; TA9 Ankunftsmeldung verspätet
39	28.03.	00.38		x			x		x					x			1 v 1	x	Woltmann-Flügel

1	2	3	4		6	7		9				13				17	18	19	20		
			Handab-	abschaltg.		Abschaltgrund	Schnellschluß-Ursachen	echter	Geräte-	Fehler-	Prüfung	Auslöse-	TA-	Ausfall-	Bemerkungen						
Lfd.Nr.	Datum	Zeit	schaftg.	Handab-	abschaltg.	Plan	Störung	Reaktor	Brenn-	element-	Durchfluß	Exp.	Not	Grenzwert	fehler	Fehlbed.	Prüfung	schaftg.	Funkt.	zeit	
									BE-Q									i.O.	h		
40	28.03.	06.40	x			x															
41	30.03.	20.03	x			x															
42	31.03.	23.38	x			x															
43	01.04.	10.00	x			x															
44	02.04.	13.38	x				x													1,0	Wasservers. KFZ ausgefallen
45	05.04.	16.45			x		x	K 5							x			1 v 1	x	1,2	Unterbrechung TE-Meßleitung
46	21.04.	09.30			x		x	K 7								x		2 v 3	x	2,2	Ausfall Hauptpp. bei Abgl. 2A1; FR-Stab klemmt, Stab gewechselt
47	22.04.	17.06	x				x													1,2	Außerbetriebnahme Proj. 2
48	25.04.	08.05		x		x		K 4									x	2 v 3	TA4 ?		TA4 Ankunftsmeldung verspätet
49	27.04.	06.00	x			x															
50	28.04.	04.00	x			x															
51	28.04.	19.47		x		x		K 3a									x	1 v 2	TA10/SA		Funktionsprüfg. Schnellablaß ausgelöst d. TA10
52	29.04.	10.36	x			x															
53	09.05.	05.20			x		x	K3b+K2b							x			2 v 3	x		Prüfg. K2b u. gleichz. Gerätef. K3b
54	09.05.	08.31		x			x	K 2b							x			2 v 3	x	12,1	Kabeldef. in Meßkolonne; TA5 gewechselt, keine Haftmeldung
55	09.05.	11.11	x				x														Core-Umbau wegen Xe-Vergiftung
56	11.05.	08.15	x			x															
57	11.05.	10.56		x			x	K 7								x			x	0,9	Funktionsprüfung K 7
58	11.05.	16.50			x		x				P 31							2 v 3	x	1,1	Leistungsreduzierung uGW P 36 nicht überdeckt
59	12.05.	17.38			x		x	K 7							x			2 v 3	x	1,0	Ausfall Hauptpp. Gerätefehler 2A1
60	12.05.	22.37			x		x	K 7										2 v 3	x	1,0	Fehlersuche 2A1 → Ausfall Hauptpp.
61	20.05.	07.31	x			x															Einbau P36-KVE9; Erprobng. P54
62	20.05.	09.09		x			x	K 2b							x			2 v 3	x	0,7	
63	23.05.	08.00	x			x															
64	26.05.	07.02	x			x															
65	27.05.	10.21	x			x															
66	28.05.	09.09	x			x															planm. Erprobung Proj. 26
67	01.06.	22.49			x		x	K 3b						x				2 v 3	TA4/SA	1,5	lin-Regler def.; TA4 k. Ank.Meldg., Schnellabl.
68	07.06.	09.14			x	x		K5u.K6									x	2 v 3	x		Erprobng. TA4 Flußverschiebung; Einbau P36-KVE10 und P56
69	08.06.	21.28			x		x				P 1							1 v 1	x	1,2	Umluft → Ausfall Isotop. Kanalkühlung
70	15.06.	16.41			x		x				P 2							1 v 1	x	1,0	Kreislauf Proj. 2 abgeschaltet
71	20.06.	06.54	x			x															
72	24.06.	08.19			x		x				P 1							1 v 1	x	0,8	Umluft → Ausfall Isotop. Kanalkühlung
73	01.07.	15.53			x	x		K 5									x		x		Einbau P26 geplant
74	01.07.	17.46			x		x				P 56			x				1 v 1	x	0,7	Vakuum Ionengetterpumpe kurzschlecht
75	03.07.	07.46			x		x				P 2				x			1 v 1	x	1,1	Proj. 2, Spiegel F1 unsicher
76	04.07.	03.48			x		x				P 2				x			1 v 1	x	1,2	Proj. 2, uGW Expansionsmaschine
77	05.07.	09.35			x		x				P 56			x				1 v 1	x	3,1	Proj. 56, Vakuum schlecht; TA4 gewechselt

1	2	3	4		5	6	7		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lfd.Nr.	Datum	Zeit	Abschaltart		Abschaltgrund		Schnellschluß-Ursachen				Störungsart				Auslöse-schaltg.	TA-Funktion	Ausfall-zeit	Bemerkungen			
			Handab-schaltg.	autom. durch Schnellschluß im Betriebsbereich	Plan	Störung	Reaktor	BE-Q	Exp.	Not	echter Grenzwert	Geräte-fehler	Fehlbed.	Prüfung					i.O.	h	
			< 1 MW	> 1 MW																	
118	04.11.	03.03		x	x			K 7								x	2 v 3	x			
119	05.11.	16.31			x		x			P 36					x		2 v 3	x	0,5	Verdrahtgsf. in 2v3-Einheit P36	
120	05.11.	17.04		x			x	x								x	1v1,2v3	x	0,5	Prüfschalter $\leq 10^{-3}$ umgelegt	
121	05.11.	17.44		x			x			P 36						x	1v1,2v3	x	0,5	Lötarbeiten P36, Sicherheitsfall	
122	05.11.	19.45		x			x	2Q23								x	1 v 1	x	0,6	10^{-3} ϕ_N Überfahren oh. Stahltankkühlg.	
123	14.11.	16.27			x		x	K 6									1 v 1	x	1,1	TE- oder Verstärker defekt, ungeklärt	
124	22.11.	19.54			x		x	Netzausf.						x			1 v 2	TA7 ?	1,2	Ankunftsmeldg. TA7 verspätet	
125	23.11.	01.59			x		x			P 2				x			1 v 1	x	0,9	Proj. 2, Saugdruck zu tief, ausgefallen	
126	28.11.	06.14	x			x															
127	28.11.	16.12		x		x		K 3b								x	1 v 2	TA16/SA		Funktionsprfg. Schnellablaß ausgelöst durch TA16	
128	01.12.	05.32		x		x		2Q23									x	1 v 1	x	10^{-3} ϕ_N Überfahren oh. Stahltankkühlung	
129	01.12.	19.53		x			x	1H11								x	1 v 1	x	0,7	Tankstand sinkt in 23m ³ -Behälter	
130	02.12.	15.16			x		x	K 7								x	2 v 3	x	1,7	nach Core-Umladg. K7 nicht neu eingest.	
131	22.12.	18.27			x		x	2Q23									1 v 1	x	3,2	Verstärker defekt, Wechsel TA5	
132	23.12.	00.03		x			x					x					2 v 3	x	2,6	TE defekt, Brennelementwechsel	
132 Abschaltungen			50	27	55	55	77	42	18	20	2	11	34	23	14			9*)	106,5	*) TA-Funktion 9 nicht i.O., davon 4 Prüfg.	

- Anmerkungen:
- Die Schnellschlußursachen sind unterteilt in die Gebiete Reaktor, Experimente und Notabschaltung durch Eingriff von Hand. Die 4. Kategorie "Brennelement-Durchflußüberwachung", die sachlich zum Gebiet "Reaktor" gehört, ist getrennt aufgeführt, da es sich hierbei durchweg um Störungen der Meßeinrichtung handelt. Durch Beschluß des Sicherheitsbeirates vom 28.3.1966 wurde auf die Aufschaltung dieser Meßeinrichtung auf das Sicherheitssystem verzichtet.
 - Die "Störungsarten" sind in folgende Gruppen eingeteilt:
 - Ein "echter Grenzwert" liegt vor, wenn vorgegebene Grenzwerte tatsächlich erreicht wurden und eine Abschaltung des Reaktors aus Sicherheitsgründen erforderlich wurde.
 - Ein "Gerätefehler" liegt vor, wenn bei Störungen an Meßgeräten der Sicherheitseinrichtungen wegen des Prinzips "fail-to-safe" Reaktorabschaltung erfolgte.
 - Bei "Fehlbedienungen" handelt es sich um Reaktorabschaltungen, die infolge von Bedienungsfehlern sowohl bei der Durchführung von Betriebsoperationen als auch bei Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten eintraten.
 - Bei "Prüfung" handelt es sich um Schnellabschaltungen zu Prüfzwecken sowohl im Rahmen der periodischen Funktionsprüfungen (Eigenüberwachung) als auch zur Überprüfung einzelner Signale und ihrer Folgefunktionen.

Tabelle 2: Leistungsrücknahmen im Jahr 1966

Lfd. Nr.	Datum	Zeit	Reaktorleistung		Dauer (h)	Ursache	Bemerkungen
			$<10^{-3}$ Nennleistung	in (MW)			
1	29.01.	12.48	x		3,8	Leckstelle BE 36/18	
2	01.02.	14.21		0,8	0,2	Ausfall H ₂ O-Kreislauf	
3	09.02.	09.28		2,9	0,5	Luftkühlung Kanal C1 gestört	
4	10.02.	12.44	x		(9,9)	planm. Einbau Temp. Messung Kanal R 3	
5	11.02.	14.00		2,9	2,5	Ausfall Rohrpostgebläse	
6	16.02.	12.45		3,1	0,4	Luftkühlung Kanal D 2 ost gestört	
7	23.03.	13.20	x		0,2	Feuchtefühlermeldung R 107	Anschl. Reaktorabschaltung wegen Störung Stromversorgung TA-Stäbe
8	02.04.	14.33	x		0,5	Ausfall Wasserversorgung KFZ	Druckluft Kompr. Kühlung fehlt
9	11.05.	16.45		1,1	(0,1)	planm. Erprobung P 54	
10	11.05.	19.59	x		1,3	Proj. 36, KVE 9 Temp. zu hoch	Ausbau KVE 9
11	12.05.	21.51	x		0,5	Überprüfung Meßstelle 2A5	Gerätefehler
12	20.05.	14.32	x		(0,6)	planm. Erprobung P 54 + P 36	
13	31.05.	09.00		0,5	(0,6)	" " P 54	
14	31.05.	10.00		0,5-7,7	(1,1)	" " P 54	
15	01.07.	18.27	x		1,2	Sehnellschluß P 56	Coreuchau wegen Xe-Vergiftung bei $\beta \cdot 10^{-3} \beta_N$
16	10.07.	18.27	x		1,5	Frequenzumf. P 26 defekt	" "
17	18.07.	08.17	x		0,1	Luftkreislauf ausgefallen	anschließend SS
18	18.07.	09.30	x		0,8	Temp. zu hoch P 36, KVE 10	
19	18.07.	12.16	x		0,2	" " " " " "	KVE 10 ausgebaut
20	18.10.	13.57	x		1,8	Naßfühler Proj. 36, KVE 13 angesprochen	
21	20.10.	17.00	x		1,3	Ausbau Proj. 36, KVE 11	
22	05.11.	21.03	x		0,5	Feuchtefühler R 107 angesprochen	
23	11.11.	14.16	x		0,5	" " " "	
24	19.11.	04.05		4,0	0,6	Proj. 26, Kreislauf entspannt	Fehlbedienung
25	19.11.	04.46	x		1,3	Naßfühler Proj. 36, KVE 12 angesprochen	
26	19.11.	10.43	x		1,1	Naßfühler Wt 1.4 angesprochen	
27	02.12.	08.36	x		1,0	Naßfühler Wt 1.3 angesprochen	
28	02.12.	17.00	x		0,9	Proj. 36, KVE 16 umgesetzt	Temperatur zu hoch
29	22.12.	16.45	x		(1,0)	planm. Außerbetriebnahme P 2	
29			21	8	36 h		

davon 22,7 h störungsbedingte Leistungsrücknahmen