

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

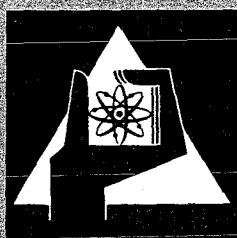
April 1973

KFK 1415

Abteilung Reaktorbetrieb und Technik

Betriebsbericht für den Forschungsreaktor FR 2 für das Jahr 1970

W. Steiger, D. Wildberg



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

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KFK 1415

Abteilung Reaktorbetrieb und Technik

Betriebsbericht für den Forschungsreaktor FR2
für das Jahr 1970

von

W. Steiger, D. Wildberg

unter Mitwirkung von

J. Baecker, J. Blümle, H. Christoph, E. Geiser, W. Holub,
H. Kapulla, R. Kettner, A. Ketzscher, G. Kimmig, H. Leitheiser,
H. Malauschek, D. Philipp, W. Rust, B. Strehlau, W. Zimmermann,

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H. Karlsruhe

Fräulein H. Baumgärtner, Frau M. Filke und Herrn Felleisen
sind wir für die Mithilfe bei der Erstellung des Berichtes
zu Dank verpflichtet.

Zusammenfassung

Die für den schwerwassermoderierten Forschungs- und Materialprüfreaktor FR2 im Jahre 1970 gemäß Terminleitplan vorgesehenen 10 Betriebsphasen (zu je 5 Wochen) konnten mit Nennleistung von 44 MW weitgehend eingehalten werden.

Eine nennenswerte störungsbedingte Unterbrechung von rd. 62 Stunden gab es nur in Betriebsphase D. Sie wurde durch Schwierigkeiten an den Experimenten FR2-26 (He-Druckgaskreislauf), FR2-58 (Druckschwerwasserkreislauf) und FR2-64 (Thermionik-Emitter-Kapseln) verursacht.

Die letzte Betriebsphase K begann auf Wunsch der Experimentatoren von Proj. FR2-2 mit auf 10 MW reduzierter Leistung für einen Zeitraum von rd. 15 Tagen.

Die Nutzung des FR2 durch Experimente hat 1970 im Vergleich zum Vorjahr weiter zugenommen: Neben den 3 von den Vorjahren bekannten Kreislaufexperimenten (Tieftemperaturbestrahlungsanlage, He-Druckgaskreislauf und He-Gaskältekreislauf für die 'Kalte Quelle'), die das ganze Jahr in Betrieb waren, wurden in den Phasen A bis D der Heißdampfhochdruckkreislauf betrieben und ab Phase E der Druckschwerwasserkreislauf in Betrieb genommen.

Bei den Kapelversuchseinsätzen und den sonstigen Einbauten mit Brennstoffen wurde die Zahl 30 im Jahre 1970 nicht überschritten. Die Strahlrohrausgänge waren im Verlaufe des Jahres befriedigend genutzt. Lediglich die IAK-Experimente an den Kanälen C2 (Proj. FR2-24), R6 (Proj. FR2-69) und T_w (Proj. FR2-52) waren praktisch nicht in Betrieb.

Die Isotopenproduktion ist mit insgesamt 1621 bestrahlten Kapseln gegenüber dem Vorjahr um ≈ 300 Kapseln gestiegen. Es entfallen auf die Isotopenkanäle im Reaktor 765, auf die Rohrpostanlage 775 und auf die Therm. Säule 81. Als weiteres wurden für Flußmessungen 46 Co-, 1 Ag-, 1 Li-Detektor, 4 γ -Ionisationskammern und 510 Kapseln bestrahlt.

Abstract

The 10 operations phases (of 5 weeks each) scheduled in the 1970 timetable of the heavy water moderated research and materials test reactor FR 2 have by and large been completed at the design power of 44 MW.

Only Phase D experienced a major outage of approximately 62 hours duration due to a disturbance. It had been caused by trouble with experiments FR2-26 (pressurized helium gas loop), FR2-58 (pressurized heavy water loop), and FR2-64 (thermionic emitter capsules).

By request of the scientists performing experiment FR2-2, the last phase of operation, Phase K, was started at a power level reduced to 10 MW for a period of approximately 15 days.

In 1970, utilization of the FR2 reactor by experiments again increased relative to the previous year. Besides the three loop experiments known from the previous year (low temperature in-pile experiment, pressurized helium gas loop, and cryogenic helium gas loop for the 'cold source'), which were operated throughout the year, the superheated steam high pressure loop was operated in phases A through D and the pressurized heavy water loop was started up in phase E.

The capsule test rigs and other in-pile rigs did not exceed the number of 30 in 1970. The beamhole exits were used satisfactorily in 1970. Only the experiments run by IAK at beamholes C2 (Project FR2-24), R6 (Project FR2-69), and T_w (Project FR2-52) were practically not operated at all.

Isotope production increased by about 300 capsules as against the previous year, now reaching a total of 1621 irradiated capsules. 765 capsules were irradiated in the isotope channels of the reactor, 775 in the rabbit system, 81 in the thermal column. In addition, 64 Co-detectors, 1 Ag-detector, 1 Li-detector, 4 gamma ionization chambers, and 510 capsules were irradiated for flux measurements.

Inhaltsverzeichnis -----	Seite -----
1. Einleitung	1
2. Betrieb des Reaktors einschließlich Hilfsanlagen	3
2.1 Betriebszeiten	8
2.2 Reaktorleistung und Energieabgabe	8
2.3 Ausnutzung und Verfügbarkeit	10
2.4 Beladung des Reaktors, Leistungsverteilung	12
2.5 Regel- und Abschaltetelemente und ihre Reaktivitätsauswirkung	18
2.6 Abbrand	21
2.7 Reaktivitätsverhalten, Neutronenfluß	27
2.8 Schwerwasserkreislauf	28
2.9 Brennelementüberwachung	31
2.10 Funktionsfähigkeit der Abschaltetelemente	34
2.11 Betriebsunterbrechungen, Fehleranalyse	36
2.12 Leistungsrücknahmen	39
2.13 Besondere Vorkommnisse	39
2.14 Verbrauchszahlen an elektrischer Energie und Wasser	44
3. Betrieb der Experimente	46
3.1 Isotopenproduktion	46
3.2 Strahlrohrexperimente und Thermische Säule	61
3.3 Kapselexperimente	65
3.4 Kreislaufexperimente	72
3.5 Sonstige Experimentiereinbauten im Reaktor	92
3.6 γ -Bestrahlungseinrichtung	99
4. Eigenüberwachung des FR2	101
5. Personal	107
5.1 Zusammensetzung	107
5.2 Strahlenbelastung der Mitarbeiter	111
5.3 Schulung	111
5.4 Fachbesucher	112
6. Ausblick	113
7. Beratertätigkeit, Bibliographie	114
8. Tabellen und Diagramme	117

1. Einleitung

Im Jahre 1970 waren für den Betrieb des Forschungsreaktors FR2 wie in den Vorjahren wieder 10 Betriebsphasen vorgesehen, in denen der Reaktor mit einer Nennleistung von 44 MW betrieben werden sollte.

In der Abschaltwoche zu Beginn einer Betriebsphase werden Brennelementumladungen zur Aufrechterhaltung der Reaktivität des FR2 durchgeführt. Außerdem müssen von der Aufsichtsbehörde vorgeschriebene Prüfungen der Sicherheitseinrichtungen vorgenommen werden. Reparaturen und Wartungsarbeiten sowie Aus- und Einbau von Experimenten beanspruchen einen weiteren Teil der Abschaltzeit. Während 2 längeren Abschaltungen werden umfangreichere Reparaturen mit längeren Reparaturzeiten ausgeführt.

Die Nutzung des FR2 durch Experimente sollte weiter erhöht werden durch

Inbetriebnahme des Druckschwerwasserkreislaufs
(Proj. FR2/58) und

Umbau des Heißdampfhochdruckkreislaufs
(Proj. FR2/55)

nach Durchführung der vorgesehenen Versuche für den HDR, Großwetzheim. Der Umbau hatte eine Erweiterung der Experimentiermöglichkeiten für Kontaminations- und Ablagerungsproben sowie für Dampf- und Gasprobenentnahmen zum Ziel.

Unser Bestreben, den FR2 optimal den Experimenten zur Verfügung zu stellen, wird dokumentiert durch möglichst lange Betriebszeiten bei gleichbleibend hoher Leistung. Die folgende Tabelle gibt hierüber einen Überblick.

Tab. 1.1: Nutzung des FR2 in den letzten 4 Jahren

Jahr	Verfügbarkeit innerhalb der planmäßigen Betriebszeit	Nutzung der vorgesehenen Leistungsbetriebszeit
1967	99,3 %	86 % ohne Berücksichtigung der unplanmäßigen Abschaltung durch das Coretankleck
1968	96,4 %	96 %
1969	98,1 %	93 %
1970	96,4 %	90,3 %

$$\text{Nutzung} = \frac{\text{Energieabgabe in MWd}}{\text{Nennleistung} \times \text{vorgesehene Leistungsbetriebszeit}}$$

Nennleistung: 44 MW
 vorgesehene Leistungsbetriebszeit: 300 Tage (10 Betriebsphasen zu 30 Tagen)

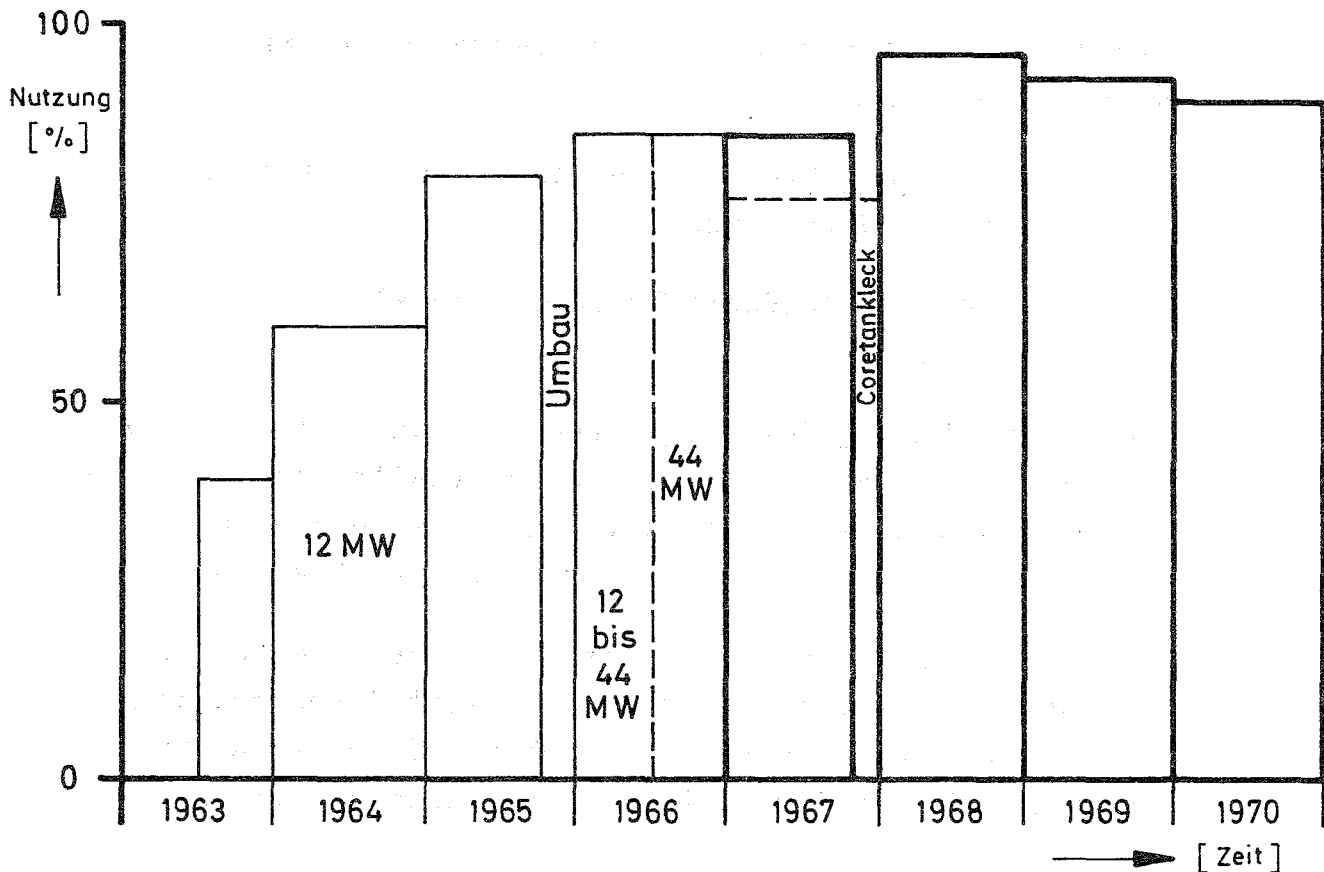


Abb. 1.1: Die relative Nutzung des FR2 seit Aufnahme des Leistungsbetriebes

Anm.: Kleinere Abweichungen der Zahlenwerte im Vergleich zu denen des folgenden Textes ergeben sich dadurch, daß die 10 Betriebsphasen nicht genau mit dem Jahresende übereinstimmen. Die Zahlenwerte des späteren Textes beziehen sich auf den Zeitraum vom 1.1.1970 bis 31.10.1970.

2. Betrieb des Reaktors einschließlich Hilfsanlagen

Der Betrieb des FR2 erfolgte im Jahre 1970 entsprechend dem FR2-Terminleitplan, Ausgabe 1-090270 (Abb.2.1). Wie der nach den tatsächlichen Gegebenheiten überarbeitete Terminleitplan, Ausgabe 2-270471 (Abb.2.2), zeigt, konnten die vorgesehenen 10 Betriebsphasen weitgehend eingehalten werden.

In der ersten Hälfte der Betriebsphase K wurde der Reaktor auf Wunsch eines Experimentators und mit Zustimmung aller anderen Experimentatoren nur mit 10 MW betrieben. In den Betriebsphasen A bis I und in der 2. Hälfte der Phase K betrug die Reaktorleistung 44 MW (Nennleistung).

In den 5 planmäßigen Abschalttagen jeder Betriebsphase erfolgten die Aus- und Einladungen sowie die Umladungen von Brennelementen, die rund 2 Arbeitstage beanspruchten (vgl. Abb.2.2, lfd.Nr.4 und Kap.2.4). Der Wechsel und die Umladungen der Kapselversuchseinsätze erforderten meistens einen weiteren Arbeitstag (vgl. Abb.2.2, lfd.Nr.8 und Kap.3.3). Ferner mußten durch die Technischen Gruppen die laufenden Reparatur- und Wartungsarbeiten sowie Neumontagen ausgeführt werden, die nur bei abgeschaltetem Reaktor möglich sind. Die Abb.2.2 gibt unter lfd.Nr.3 eine schematische Darstellung der wichtigsten Arbeiten. Einen erheblichen Zeitaufwand benötigten auch die Funktionsprüfungen gemäß FR2-Prüfplan (vgl. Abb.2.2, Nr.2 und Kap.4).

Der Reaktorstart und der anschließende Betrieb mit rd. dem 10^{-3} fachen der Nennleistung (N_N) sowie das weitere Hochfahren des Reaktors in Stufen wird durch Reaktivitätskontrollen, die Überprüfung der Kühlmittelaufheizspannen aller Brennelemente, die anfangs noch instationäre Xe-Vergiftung und das Einfahren von Versuchseinsätzen bestimmt. Die allmähliche Leistungserhöhung ist schon deshalb erforderlich, weil die Temperaturdifferenzen im Thermischen Schild zwischen Innen- und Außenmantel nicht zu groß werden dürfen.

Lfd. Nr.	Monat Woche	Jan.				Feb.				März				April				Mai				Juni				Juli				Aug.				Sept.				Okt.				Nov.				Dez.				Jan. 71								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	
	Betriebsphase		A	A		B	B	C		C	D			D	E	E	F	F	G	G	H	H	I	I	K	K																																
1	Reaktorbetrieb 44 [MW]																																																									
2	Funktionsprüfungen		/						/			/				/				/			/																																			
3	Montagen						/																																																			
4	BE- Wechsel																																																									
6	Probenbestrahlungen (FR2/1, 38, 44, 59)																																																									
7	14 Strahlrohrexperimente ¹⁾																																																									
8	3 Kreislaufexperimente ²⁾																																																									
9	6 Kapselexperimente ³⁾																																																									
10	Bestrahlungen, Sonderelemente (FR2/53, 58a)																																																									
12	P55: Betrieb																																																									
13	P55a: Umbau, Inbetriebnahme, Betrieb ⁵⁾																																																									
14	P58: Inbetriebnahme u. Betrieb																																																									
15	P72: Betrieb																																																									
16	P74: Aufbau u. Betrieb																																																									
17	P76: Betrieb																																																									

¹⁾ FR2/7, 8, 14, 22, 24, 32, 47, 49, 52, 65, 69, 70, 71, 78

²⁾ FR2/2, 16, 26

³⁾ FR2/36, 66, 68, 73, 77, 80

⁴⁾ Bei Bedarf wird eine Woche einer anderen Phase zugeschlagen.

■ vorrangig gegenüber
bei Punkten 2, 3 u. 4

⁵⁾ siehe Terminleitplan P55a

Freigabe:

W. P. Schmidt *Seiger*

In der 23. und 24. sowie in der 44. bis 46. Woche war der Reaktor planmäßig für Experimenteinbauten, größere Montagen bzw. Reparaturen außer Betrieb. Am Ende dieser längeren Abschaltphasen wurden diejenigen Funktionsprüfungen im Schwerwasserkreislauf durchgeführt, bei denen eine kurze Trockenstehzeit der Brennelemente unvermeidlich ist.

Eine Übersicht über den Betriebsverlauf gibt das Betriebsdiagramm des FR2 im Jahre 1970 (Abb.2.3). Nähere Einzelheiten können aus den im Anhang (Kap.8) befindlichen Tabellen 8.1 'Betriebsverlauf des FR2 im Jahre 1970', 8.2 'Betriebsunterbrechungen und Leistungsrücknahmen innerhalb der planmäßigen Reaktorbetriebszeit' und den 11 Formblättern Nr. 148/46 bis 148/55 'Reaktorleistung in den Betriebsphasen A bis L' für das Jahr 1970 entnommen werden.

Der Betrieb der Reaktorhilfsanlagen, wie Wasseraufbereitungsanlage, Klimaanlage, rad.akt. Abwasseranlagen, Lagerbeckensysteme, elektr. Energieversorgung einschl. Notstromanlage, konnte ohne den Reaktorbetrieb beeinträchtigende Störungen durchgeführt werden.

Im Juli wurde in die Abluftleitung der Isotopenkanäle (R106) möglichst nahe am Austritt aus dem Reaktorblock ein Schwebstoff-Filter eingebaut, um die Strahlenbelastung durch die nachgeschalteten, zum Absolutfilter führenden Rohrleitungen herabzusetzen.

Ab Mitte Februar war das Sofortbereitschaftsaggregat 4 wegen defektem Pendelrollenlager zwischen Induktionskupplung und Schwungrad nur bedingt betriebsbereit. Ein Austausch gegen Ende April brachte kein zufriedenstellendes Ergebnis. Erst ein erneuter Wechsel zusammen mit dem Umbau des dieselseitigen Lagers auf Gleitlager Ende Mai brachte die erforderliche Laufruhe.

Die seit März 69 in Betrieb befindliche Ausfriereinrichtung zur Überwachung der Schornsteinabluft hat sich gut bewährt. Die gemessene Aktivitätsabgabe kann aus folgender Tabelle entnommen werden.

Tab. 2.1 Aktivitätsabgabe über FR2-Abluftschornstein im Jahre 1970

Betriebsphase	Tritium [Ci]	Argon [Ci]
L/69 (Teil)	78	5 890
A	124	15 110
B	125	10 430
C	64	15 660
D	72	17 230
E	49	15 310
F	69	15 410
G	76	15 570
H	69	15 500
I	93	14 550
K (Teil)	20	1 470
Gesamt:	839	142 130

+) D₂O-Verlust am 6.2.70 durch defekte Spaltrohr-Motorpumpe Proj. FR2/58 und

D₂O-Verlust am 20.3.70 durch Umschaltung der D₂O-Programmsteuerung bei gezogener Hüllschadenüberwachungsanschlußkupplung eines Kapselversuchseinsatzes (Abschaltphase).

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe in die Luft lagen somit unterhalb der im Abluftplan für 1970 vorgesehenen Mengen.

Lfd. Nr.	Monat	Woche																																																			
		Jan. 1-5	Febr. 6-10	März 11-15	April 16-20	Mai 21-25	Juni 26-30	Juli 31-35	Aug. 36-40	Sept. 41-45	Okt. 46-50	Nov. 51-55	Dez. 56-60	Jan. 61-64																																							
1	Reaktorbetrieb 44 MW (Betriebsphase)	[Gantt chart bars for 44 MW reactor operation]																																																			
	Reaktorbetrieb 10 MW (Betriebsphase)	[Gantt chart bars for 10 MW reactor operation]																																																			
2	Funktionsprüfungen einschl. Sicherh. - System (abgesch. Reaktor erf.)	[Gantt chart bars for system tests]																																																			
3	Montagen Luftkreislauf	[Gantt chart bars for air loop assembly]																																																			
	D ₂ O - He Kreislauf Hüllschadenüberwachungsanlage	[Gantt chart bars for D2O-He loop monitoring]																																																			
	H ₂ O - Kreislauf	[Gantt chart bars for H2O loop]																																																			
	Experimente Core	[Gantt chart bars for core experiments]																																																			
	E - Versorgung u. Instrumentierung	[Gantt chart bars for E supply and instrumentation]																																																			
4	Brennelement - Ausbau = A / Stückzahl Einbau = E / " Umsetzung = U / "	[Gantt chart bars for fuel element operations]																																																			
5	FR 2 - Proj. 2 Bestrahlungen Experimentier - Betrieb He - Anlage in Betrieb Funktionsprüfungen Reparaturen	[Gantt chart bars for FR 2 - Proj. 2 activities]																																																			
6	FR 2 - Proj. 16 Kalte Neutronenquelle i. B. Kalte -Verflüssigungs-u.Reinigungs-betr.	[Gantt chart bars for cold neutron source]																																																			
7	FR 2 - Proj. 26 Bestrahlungen He - Anlage i. B. N ₂ -flüssig Produktion Reparaturen	[Gantt chart bars for FR 2 - Proj. 26 activities]																																																			
8	FR 2 - Projekte (Kapselversuchseinsätze) KVE - Einbau = E / lfd. Nr. KVE - Ausbau = A / " KVE - Umsetzung = U / " Anzahl KVE (Zahl d. Prüfl.) im Reaktor	[Gantt chart bars for KVE activities]																																																			
9	FR 2 - Proj. 53 (1 - 4) (Pu-Bündel - Bestr.) Umsetzung = U / lfd. Nr. Betrieb	[Gantt chart bars for Pu bundle irradiation]																																																			
10	FR 2 - Proj. 55 (Hüllschaden - Dampfkreislauf) Prüfl. - Wechsel Betrieb m. HDR-Prüfl. Reparaturen Umbau auf Proj. FR2/55a	[Gantt chart bars for shell damage steam loop]																																																			
11	FR 2 - Proj. 58 (Brennstoffplattenbestr. Druckwasserkreislauf) Umbau Betrieb	[Gantt chart bars for fuel plate irradiation]																																																			
12	FR 2 - Proj. 58a (Brennstoffplatten - bestrahlung) Einbau = E / lfd. Nr. Ausbau = A / " Betrieb	[Gantt chart bars for fuel plate irradiation]																																																			
13	FR 2 - Proj. 73a (Kriechkapsel - bestrahlung) Einbau = E / lfd. Nr. Ausbau = A / " Betrieb	[Gantt chart bars for creep capsule irradiation]																																																			
14	FR 2 - Proj. 66-5 (Verträglichkeits - bestrahl. UO ₂ , UN, UC	[Gantt chart bars for compatibility irradiation]																																																			
15	FR 2 - Proj. 76 (Thermionischer Wandler)	[Gantt chart bars for thermionic converter]																																																			

Abb. 2.2

Der mit einer Doppeldichtung versehene Dichtstopfen des ehemaligen Coretanglecks wurde mit der seit Januar 1969 installierten Drucküberwachungseinrichtung sicher überwacht. Veränderungen wurden nicht festgestellt.

Das Rohrkorbleck in der Thermischen Abschirmung konnte durch betriebliche Maßnahmen weiterhin beherrscht werden. Die Leckrate lag bei konstantem Reaktorbetrieb unter 1 l/d. Die jährliche Prüfung ergab keine veränderte Situation im Vergleich zu den Vorjahren.

Die Abgabe an radioaktiven Abwässern ist in [6] erfaßt. Siehe auch Kap.2.14.

2.1 Betriebszeiten

Die Berichtszeit umfaßt den Zeitraum vom 1.1.1970 0.00 Uhr bis 31.12.1970 24.00 Uhr. Nach dem Terminleitplan 1970, Abb.2.1, waren hierfür 294 Betriebstage bzw. 289 Vollastbetriebstage mit 44 MW vorgesehen.

Aufgrund der Betriebsaufzeichnungen nach Tabelle 8.1 wurden folgende Betriebszeiten erreicht:

- 293,3 Betriebstage (gesamt, einschl. Reaktorstart)
- 283,7 Leistungsbetriebstage ($N > 10^{-3} N_N$)
- 262,1 Vollastbetriebstage (44 MW)

Die Erfassung der Gesamtbetriebszeit beginnt mit dem Ziehen der Abschaltstäbe und endet, wenn diese wieder in ihrer Endlage sind. Die Zeiten für den Reaktorstart sind also auch in der Gesamtbetriebszeit enthalten.

2.2 Reaktorleistung und Energieabgabe

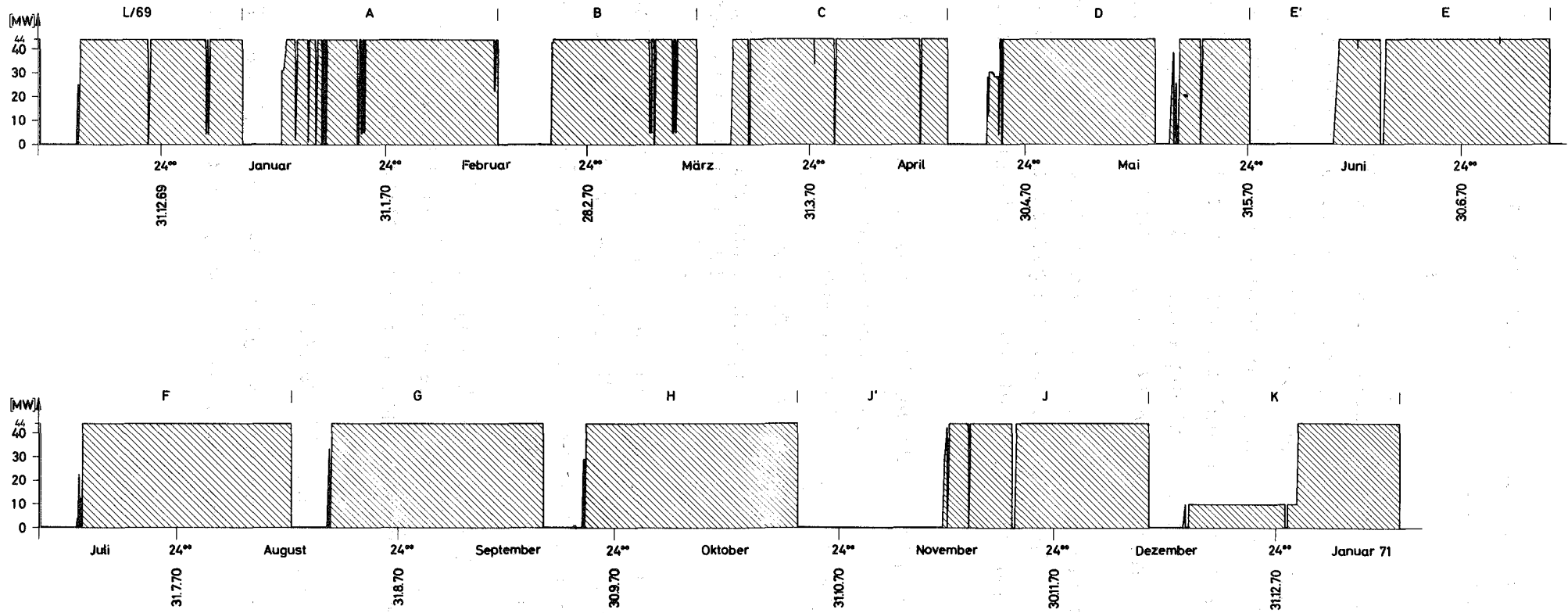
Als planmäßige Reaktorleistung waren für alle Betriebsphasen des Jahres 1970

44 MW

vorgesehen. Diese Leistung sollte an 289,0 Tagen gefahren werden. Es ergibt sich daraus eine mögliche Energieabgabe von 12 716 MWd.

Betriebsdiagramm des FR2 im Jahre 1970 (Übersicht)

Reaktornennleistung 44 MW



Die Einteilung nach Betriebsphasen A-K entspricht dem FR2-Terminleitplan 1970
Ausgabe: 1-0902 70

Die tatsächliche Gesamtenergieabgabe im Berichtszeitraum betrug

11 921 MWd.

Der Rückgang der Energieabgabe um 390 MWd bzw. 3 % im Vergleich zum Vorjahr ist bedingt durch den Betrieb bei 10 MW an den letzten 13 Tagen des Jahres. (Auf Wunsch der Experimentatoren an der Tieftemperaturbestrahlungsanlage wurde vom 19.12.1970 bis 3.1.1971 zur Erzielung einer tieferen Temperatur die Reaktorleistung von 44 MW auf 10 MW zurückgenommen.)

Die in Kap.2.11 und 2.12 näher beschriebenen Betriebsunterbrechungen und Leistungsrücknahmen sind ohne nennenswerten Einfluß auf die Nutzung des Reaktors geblieben.

Aus den 283,65 Tagen Betriebszeit im Leistungsbereich ($> 10^{-3} N_N$) und der Gesamtenergieabgabe läßt sich eine mittlere Reaktorleistung von

42,0 MW bzw.

43,5 MW ohne Berücksichtigung des
10 MW-Betriebes zum Jahresende

errechnen. Auch dieser Wert zeigt die für einen Forschungsreaktor gute Nutzung der zur Verfügung stehenden Betriebszeit (siehe auch Abb.2.3 'Betriebsdiagramm des FR2 im Jahre 1970').

Die Tabelle 8.1 im Anhang 'Betriebsverlauf des FR2 im Jahre 1970' gibt eine genaue Aufschlüsselung des Reaktorbetriebs nach Wochen und Betriebsphasen.

2.3 Ausnutzung und Verfügbarkeit

Wie schon erwähnt, erfolgte der Betrieb des FR2 im Jahre 1970 meistens in einem 5-Wochen-Zyklus.

In Abb. 2.4 werden die wesentlichen Abschnitte einer Betriebsphase dargestellt. Die geplanten Vollastbetriebsstage, die im vorhergehenden Kap. 2.1 genannt wurden, entsprechen einer maximal möglichen Nutzung von fast 80 % für das Jahr 1970. Erreicht wurden 71,8 %, bzw. die planmäßige Vollastbetriebszeit konnte zu 90,7 % genutzt werden.

Tabelle 2.2 Verfügbarkeitszahlen (zeitliche Nutzung)

	max.möglich	erreicht
Vollastverfügbarkeit ($N = 44 \text{ MW}$)	79,2 %	71,8 %
Leistungsverfügbarkeit ($N > 10^{-3} N_N$)	80,6 %	77,7 %
Leistungsverfügbarkeit innerhalb der planmäßigen Betriebszeit ($N > 10^{-3} N_N$)	100,0 %	96,5 %

Die gegenüber dem Plan fehlende Betriebs- bzw. Experimentierzeit ist im wesentlichen bedingt durch (siehe auch Tabelle 8.2):

- a) Verzögerungen bei allgemeinen Reparatur- und Wartungsarbeiten zum Ende der Abschaltphase
- b) Inbetriebnahme und Beseitigung von Undichtheiten am Heißdampfhochdruckkreislauf (Proj. FR2-55)
- c) Inbetriebnahme D_2O -Druckwasserkreislauf und Hülschaden am Prüfling Le 7 (Proj. FR2-58)
- d) Aus- und Einbau des Kurzzeitbestrahlungseinsatzes des He-Druckgaskreislaufs wegen Störung am Frequenzumformer
- e) Ausbau der Thermionischen Diode (Proj. FR2-76)
- f) Störungen an den Antrieben der Trimm-Abschaltstäbe

Die vorgenannten 6 Störungsursachen machen etwa 75 % der fehlenden Experimentierzeit aus, wobei allein 25 % zu Lasten des Heißdampfhochdruck-Kreislaufes gehen.

Bezogen auf das ganze Jahr wurde eine Leistungsverfügbarkeit von 77,7 % erreicht, bei Berücksichtigung von Betriebszeiten mit $N < 10^{-3} N_N$ eine Gesamtverfügbarkeit von 80,4 %.

Weitere Einzelheiten können aus der Tabelle 8.1 im Anhang 'Betriebsverlauf des FR2 im Jahre 1969' entnommen werden. Eine Zusammenfassung der unplanmäßigen Betriebsunterbrechungen, Leistungsrücknahmen und Verschiebungen des planmäßigen Reaktorstarts mit den Ausfallzeiten gibt die Tabelle 8.2 in zeitlicher Reihenfolge wieder.

2.4 Beladung des Reaktors, Leistungsverteilung

Die Beladung des Reaktors kann aus den im Anhang befindlichen Beladungs- und Belegungsplänen (Nr. 207 bis 232) für die 10 Betriebsphasen des Jahres entnommen werden.

Für die Betriebsphase A galt folgende Beladung Nr. 209:

1	UO ₂ -Brennelement	1,5 % angereichert	(Typ BE5)
71	UO ₂ -Brennelemente	1,75 % angereichert	(Typ BE7)
71	UO ₂ -Brennelemente	2,0 % angereichert	(Typ BE8)
9	UO ₂ -Brennelemente	1,86 % angereichert	(Typ BE9)
18	Brennstoffkapselinsätze		
11	sonstige Einsätze mit Spaltstoffen		

164	Reaktorbrennelementpositionen (Gitterplätze)	} mit Kühlung vom Reaktor- kreislauf
12	Zwischengitterpositionen	
5	Zwischengitterpositionen mit Konvektionskühlung im Moderator	

Für die letzte Betriebsphase K des Jahres galt folgende Beladung Nr. 232:

17	UO ₂ -Brennelemente	1,75 % angereichert	(Typ BE7)
127	UO ₂ -Brennelemente	2,0 % angereichert	(Typ BE8)
9	UO ₂ -Brennelemente	1,86 % angereichert	(Typ BE9)

Schematisches Betriebsdiagramm einer regulären Betriebsphase

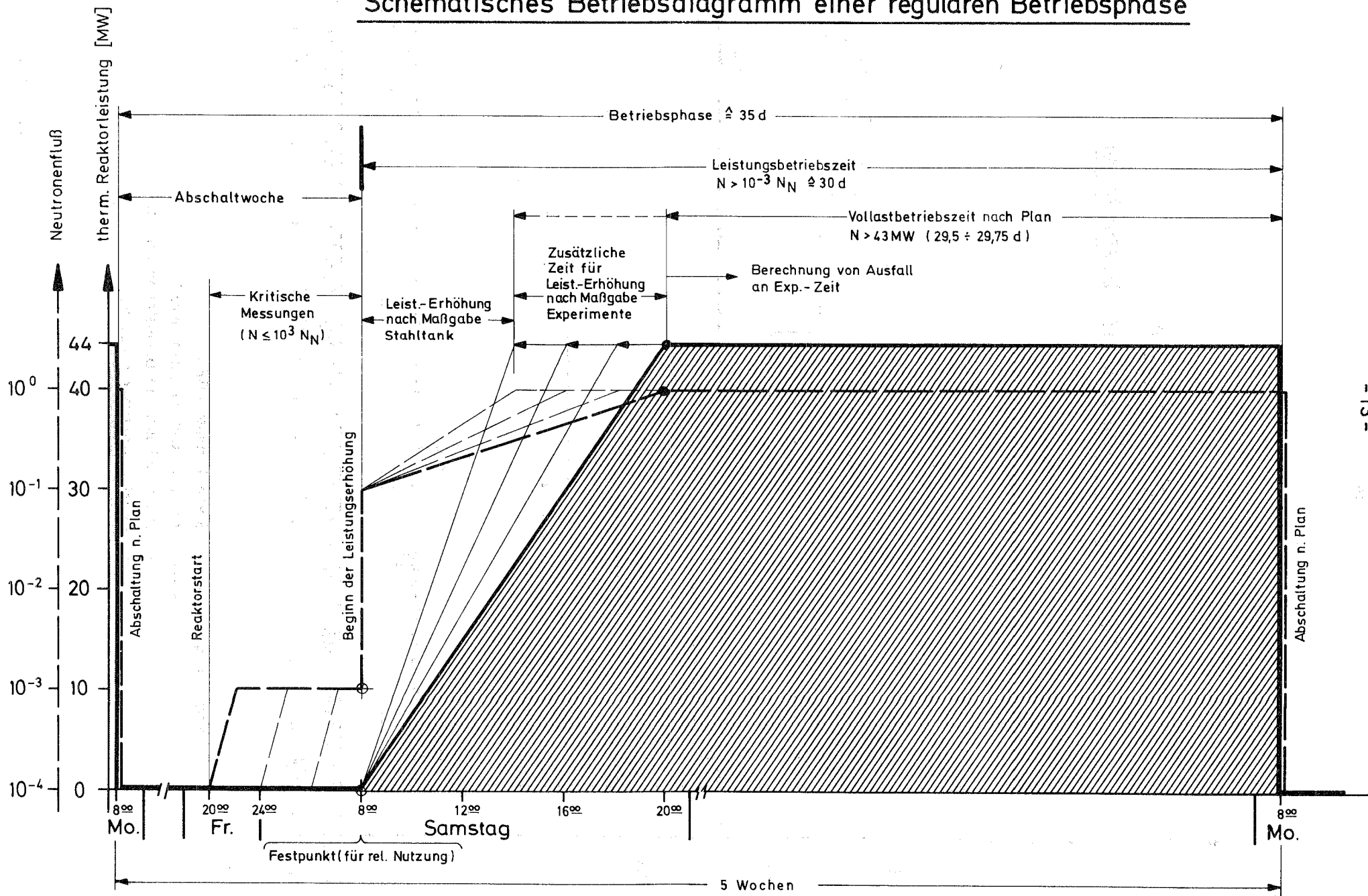
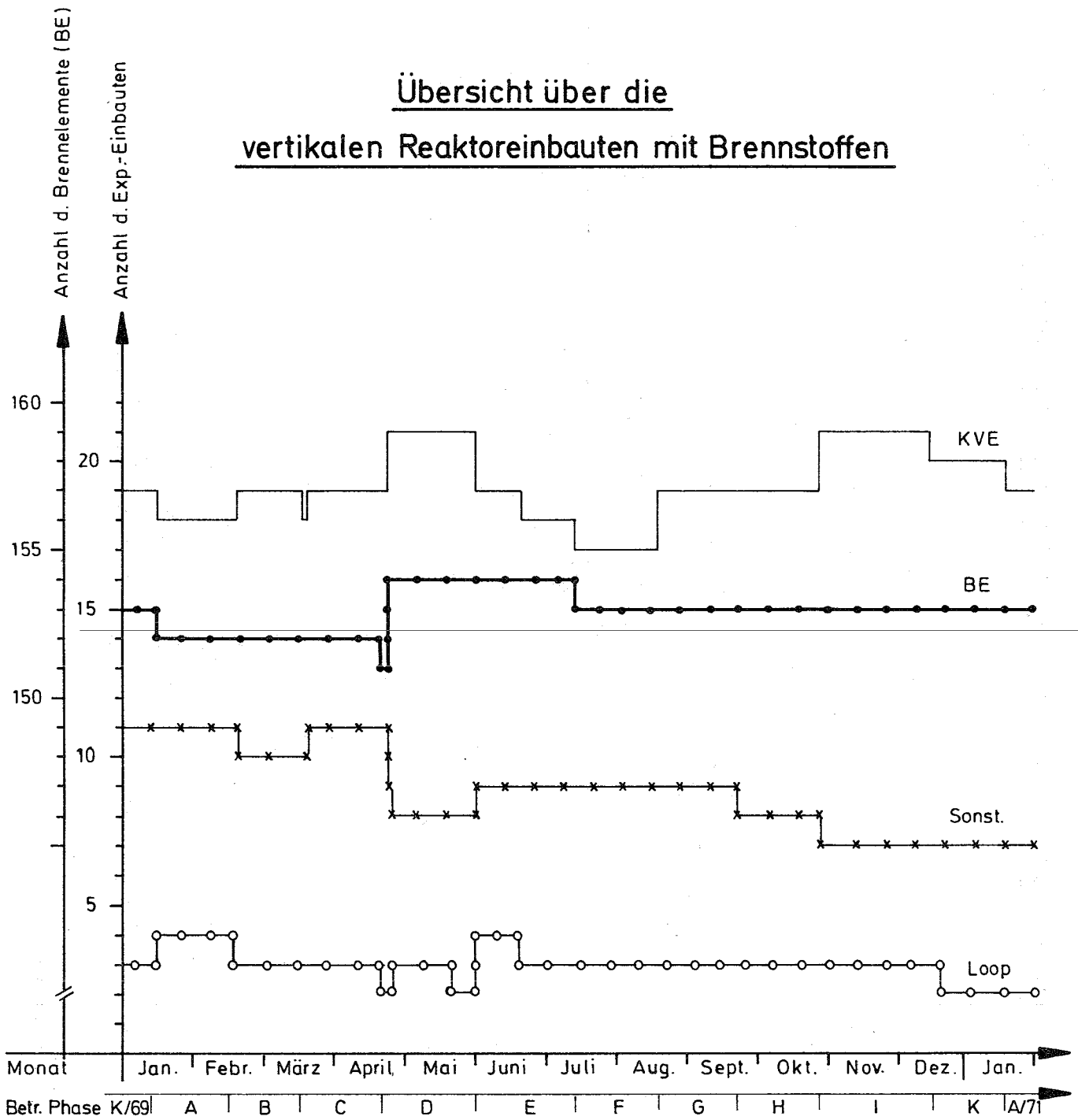


Abb. 2.4

Übersicht über die vertikalen Reaktoreinbauten mit Brennstoffen



- Anmerkung :
- Brennelemente (BE)
 - Kapselversuchseinsätze (KVE)
 - *—* sonst. Einbauten m. Brennstoffen (Sonst.)
 - Kreislaufexperimente (Loop)

Abb. 2.5

- 20 Brennstoffkapselinsätze
- 7 sonstige Einsätze mit Spaltstoffen

165	Reaktorbrennelementpositionen (Gitterplätze)	} mit Kühlung vom Reaktor- kreislauf
13	Zwischengitterpositionen	
2	Zwischengitterpositionen mit Konvektionskühlung im Moderator	

Die verschiedenen Beladungszustände des Jahres können aus der Abb. 2.5 bzw. Tabelle 2.3 entnommen werden.

Alle zur Verfügung stehenden Reaktorpositionen mit experimentell interessanten Neutronenflußdichten waren besetzt. Die Veränderung gegenüber dem Vorjahr war nur unwesentlich.

Zum Jahresende waren folgende Reaktorpositionen belegt:

Gitterpositionen:	153 = 81,0 % mit Brennelementen
	12 = 6,3 % mit Versuchseinsätzen
	24 = 12,7 % nicht besetzt (Randpositionen)
	<hr/>
	189 = 100,0 %
Zwischengitterpositionen:	17 = 29,4 % mit Steuer- und Abschaltstäben
	13 = 22,4 % mit Isotopenbestrahlungseinsätzen
	15 = 25,8 % mit Versuchseinsätzen
	13 = 22,4 % nicht besetzt (größtenteils Randpositionen)
	<hr/>
	58 = 100,0 %
Zentralkanal: unten	1
Zentralkanal: oben	1 (bis 23.9.1970)

Tabelle 2.3:

Beladungszustände des FR2 im Jahre 1970

Betr. Phase	Bel. Plan Nr.	Veränderungen zu Beginn des Beladepfanes											Bestand im Reaktor								Summe gesamt im Reaktor	Summe der besetzten Positionen mit Kühlung v. Reaktorkreislauf					
		Zuladungen				Ausladungen				Umsetzungen			Brennelem.-Typ				KVE	Sonst. Proj.	Kreisl. Exp.	auf Gitterposition		auf Zwischen-Gitterposition					
		BE-Typ	KVE	Sonst. Proj.	Kreisl. Exp.	BE - Typ	KVE	Sonst. Proj.	Kreisl. Exp.	BE - Typ	KVE	Sonst. Proj.	5	7	8	9							5	7	8	9	
L/69	207	6	2	1		7			1				19	17	1	1		1	77	66	9	19	11	3	186	164	14
A/70	208				1				1									1	77	66	9	18	11	4	186	164	13
	209	5				6							19	13		1	1	1	71	71	9	18	11	4	185	164	12
B/70	210			1						2								1	71	71	9	18	10	3	183	164	12
	211	5	1			5							20	13	1			1	66	76	9	19	10	3	184	164	13
C/70	212			1					1	1								1	66	76	9	18	10	3	183	164	12
	213	6	2	1		6	1	1					10	20	1	1		1	60	82	8	19	11	3	184	164	12
D/70	214			2						2								1	60	82	8	19	11	2	183	164	13
	215	7	1	3		4	1	1	2				10	23	5			1	56	89	8	21	9	2	186	165	15
	216				1													1	56	89	8	21	9	3	187	165	15
	217								1									1	56	89	8	21	8	3	186	165	14
	218			1	1				1									1	56	89	8	21	8	3	186	165	14
	219																	1	56	89	8	21	8	2	185	165	14
E/70	220	6	1	3	1	5	2	5					11	22	4	3		1	51	93	9	19	9	3	185	165	13
	221							1										1	51	93	9	18	9	3	184	165	12
F/70	222		3	1		1		4	1									0	51	93	9	17	9	3	182	164	11
	223	7				7							11	15	3			0	44	100	9	17	9	3	182	164	11
	224												1	1				0	44	100	9	17	9	3	182	164	11
G/70	225	7	5			6	1	3					8	33		4		0	38	106	9	19	9	3	184	165	13
	226	1					1							1				0	39	105	9	19	9	3	184	165	13
H/70	227		1	2				1	3									0	39	105	9	19	8	3	183	165	13
	228	9	1			9		1					12	32	1	3	1	0	30	114	9	19	8	3	183	164	13
I/70	229	6	4			6		2	1				6	26	3	6	3	0	24	120	9	21	7	3	184	165	14
K/70	230			1				1	1									0	24	120	9	20	7	3	183	165	13
	231	5				5							6	19				0	19	125	9	20	7	3	183	165	13
	232	2				2							1	12	1			0	17	127	9	20	7	2	182	165	13
	233																	0	17	127	9	20	7	2	182	165	13
A/71	234	4			1	3	1	1					1	19				0	14	130	9	19	7	3	182	165	12

Die jeweiligen Beladungszustände bzw. -änderungen zeigt die Tabelle 2.3 (siehe auch Kap.2.6).

Daraus ist ersichtlich, daß die Zahl der Brennelemente Typ BE7 ständig abnimmt und die Zahl der Elemente Typ BE8 entsprechend zunimmt. Die Erhöhung der Anfangsanreicherung von 1,75 % auf 2 % (BE7 → BE8) führt zu einem wirtschaftlicheren Betrieb, weil die Umladegeschwindigkeit herabgesetzt und der Abbrand erhöht werden kann, ohne daß wesentliche Kostensteigerungen damit verbunden sind.

Die seit Anfang 1969 im Reaktor befindlichen 9 Versuchs-brennelemente Typ BE9 mit durchgehenden Stäben und einer Anfangsanreicherung von 1,86 % haben sich weiter bewährt. Der höchste mittlere Abbrand lag Ende des Jahres bei 11 077 MWd/t_U (BE9-9).

Abb.2.6 zeigt die Eintauchtiefe aller 16 Trimmabschaltstäbe (TA-Stäbe) für 2 Reaktorzustände für das Jahr 1970:

kalt, unvergiftet, ohne Abbrand (frisch umgeladen)

warm, vergiftet, mit Abbrand (am Ende einer Betriebsphase)

Siehe hierzu auch Kap.2.7.

Da die Moderatorortemperatur die Reaktivität beeinflusst, wurde sie ebenfalls mit eingetragen.

Die Leistungsverteilung auf die einzelnen Brennelemente ist aus den im Anhang befindlichen Formblättern Nr. 203 'BE-Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW-Reaktorleistung' ersichtlich. Die mittlere BE-Einzelleistung liegt bei rund 270 kW, die maximale bei 350 kW. Die gemäß Sicherheitsbericht Nachtrag II aus einem Brennelement abzuführende Leistung von maximal 400 kW wurde nicht überschritten.

2.5 Regel- und Abschaltelemente und ihre Reaktivitätsauswirkung

Durch Neutroneneinfang wird das Cadmium-Inventar der Regel- und Abschaltelemente während des Reaktorbetriebs stetig verringert. Auf Grund der Überprüfung des Abbrandzustandes einiger Regel- und Abschaltelemente [4] wurden während des Leistungsbetriebs im Jahre 1970 die TA-Stäbe in den Positionen 1,2,5,6 ganz ausgefahren, um den Abbrand dieser Referenzabsorber möglichst klein zu halten. In den Abschaltphasen wurden der FR-Stab und die restlichen 12 TA-Stäbe auf diese 4 TA-Stäbe abgebildet, um den Abbrand der zur Trimmung benötigten Regelstäbe zu überwachen.

Da die Untersuchung in [4] gezeigt hatte, daß der Abbrand des FR-Stabs Nr. 2 ziemlich weit fortgeschritten war, wurde dafür der FR-Stab Nr. 1 eingebaut. Die Betriebszeiten des ausgebauten FR-Stabs Nr. 2 betragen:

Gesamtzeit bei $N > 10^{-3} N_N$:	37.517,75 h $\hat{=}$ 1.563,23 d
gesamte Reaktorenergieabgabe in dieser Zeit:	1.207.437,31 MWh $\hat{=}$ 50.309,88 MWd

Abb.2.7 zeigt die Abbildung der zur Trimmung verwendeten 12 TA-Stäbe und des neuen Feinregelstabes auf die 4 Referenz-TA-Stäbe über das Jahr 1970.

Eintauchtiefe aller 16 Trimmstäbe für verschiedene Reaktorzustände

(Feinregelstabstellung 400 (700) mm)

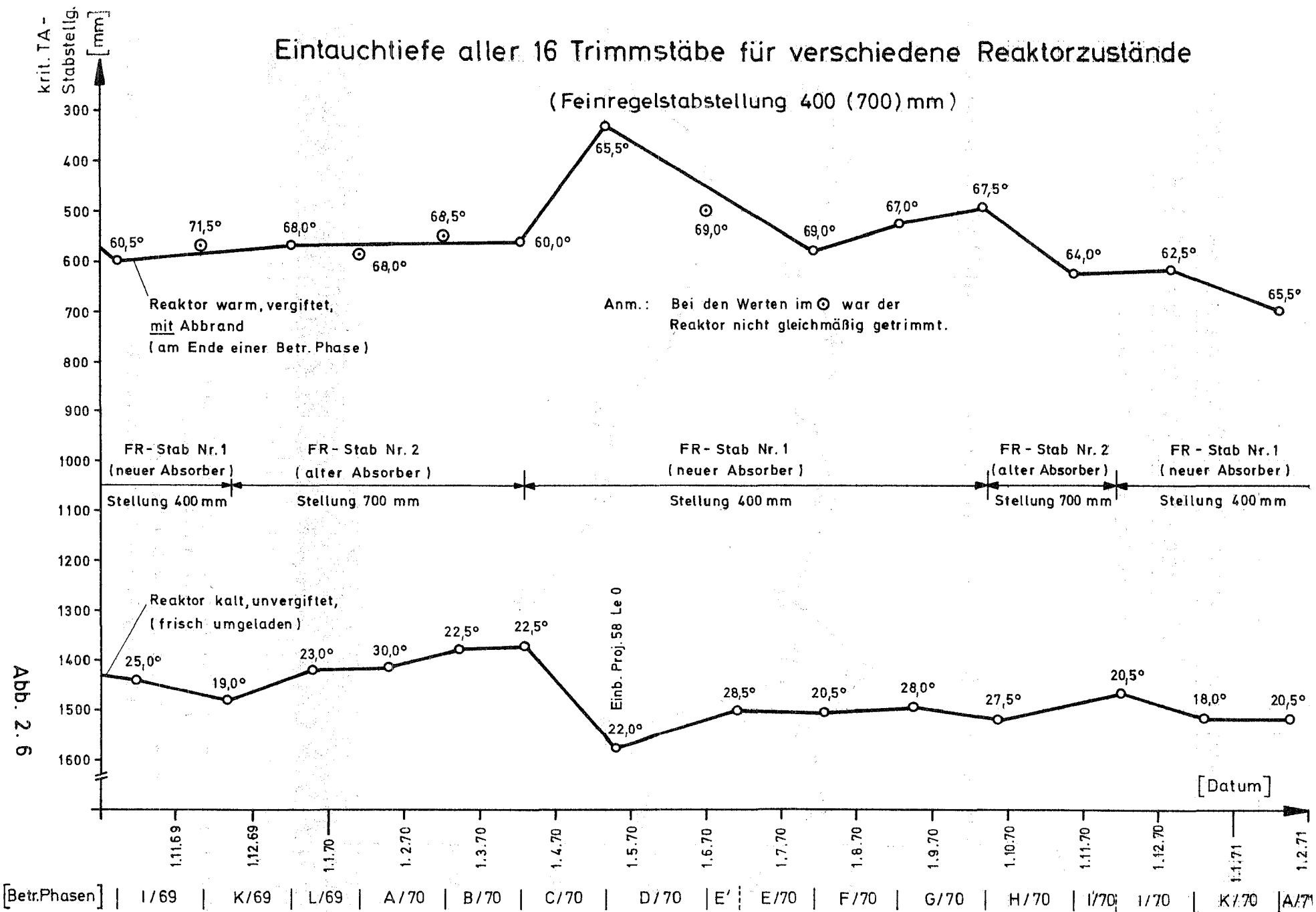
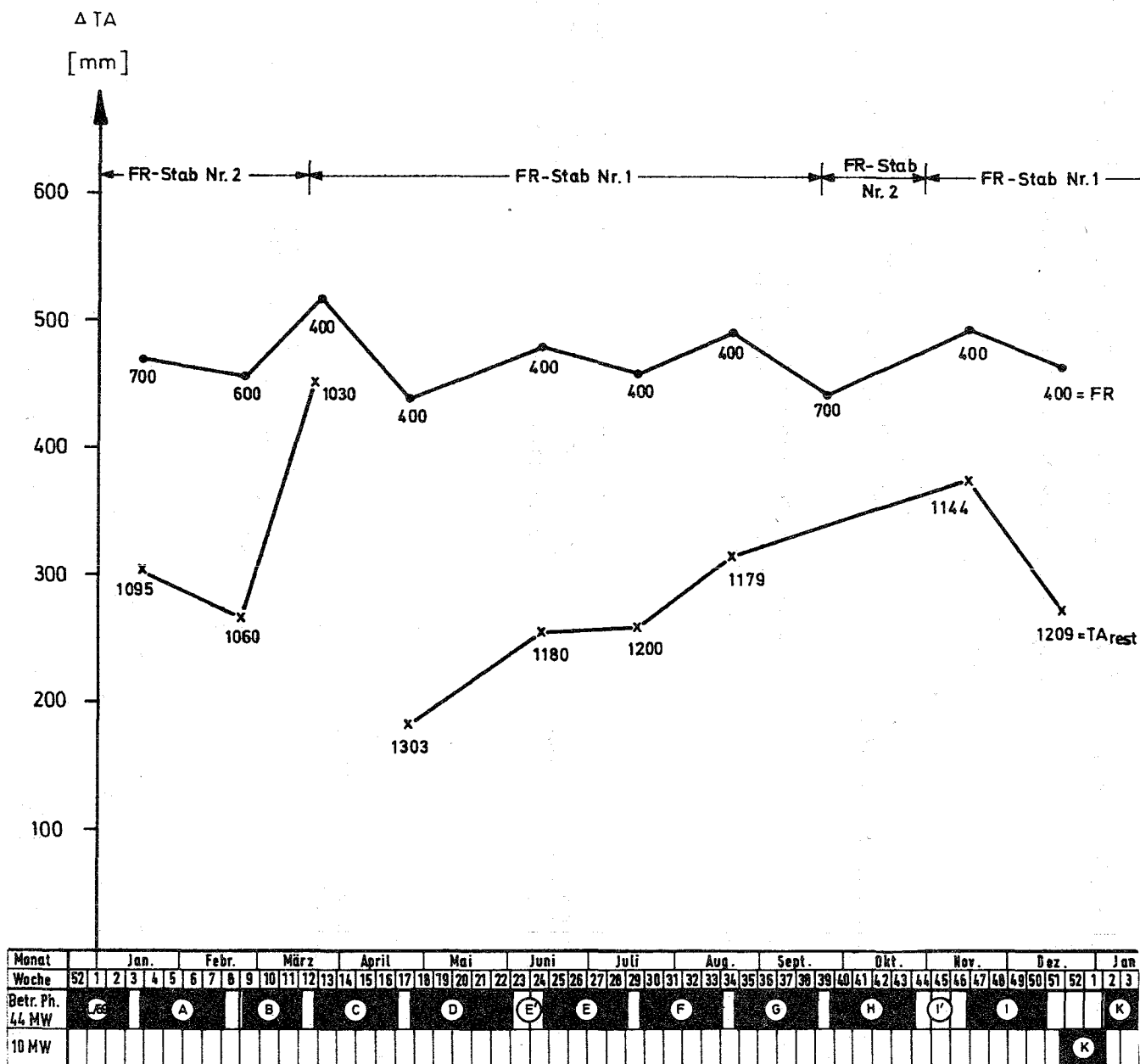


Abbildung TA-Stab Pos. 1,2,5,6 gegen restl. TA-Stäbe u. FR-Stab gegen TA-Stab Pos. 1,2,5,6

(nach Umladung, Reaktor kalt u. unvergiftet)



Anmerkung : ●—● TA-Stab Pos. 1,2,5,6 gegen restl. TA-Stäbe
Die Zahl zeigt dabei die FR-Stabstellung

×—× FR-Stab gegen TA-Stab Pos. 1,2,5,6
Die Zahl zeigt dabei die Stellung d. restl. TA-Stäbe

Abb. 2.7

2.6 Abbrand

Der Abbrand der Brennstoffbeladung des FR2 über das Jahr 1970 kann aus Tabelle 2.4 und Abb. 2.8 entnommen werden. Man beachte die Abbranderhöhung der Brennelemente im Core, die durch den allmählichen Austausch der BE7 durch BE8 mit 2,0 % Anfangsanreicherung ermöglicht wurde (Spalte 'max.' in Tab.2.4).

Gegen Mitte des nächsten Jahres wird kein Brennelement des Typs BE7 mehr im Reaktor sein, sie werden vollständig durch BE8 ersetzt sein. Im Core befinden sich dann außer den BE8 nur noch die Testelemente BE9.

Durch den Einsatz der höher angereicherten Brennelemente BE8 ergeben sich geringere Betriebskosten auf Grund der längeren Standzeiten und der geringeren Anzahl von Brennelementen, die je Betriebsphase zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Überschubreaktivität benötigt werden. Die Verhältnisse werden noch weiter zu Gunsten der BE8 verschoben, wenn die Kosten der Lagerhaltung, des Arbeits-einsatzes bei den Umladeprozeduren, des Transportes und der Lagerung der abgebrannten Brennelemente mit berücksichtigt werden.

Ein weiterer, wesentlich kostensenkender Faktor ist die Mehrfachverwendung der Wasserführungsrohre, auf die in früheren Berichten bereits hingewiesen wurde.

Wie Abb.2.9 zeigt, ist der Abbrand der ausgeladenen BE7 gegen Jahresende wieder fallend. Diese Tendenz wird sich noch solange fortsetzen, bis die letzten BE7 ausgeladen sein werden. Am Ende des Berichtszeitraumes befanden sich noch 17 BE7 im Reaktor.

Die ersten planmäßigen Ausladungen von BE8 werden zu Anfang nächsten Jahres erwartet.

Der maximale Abbrand der BE9-Testelemente lag Ende 1970 bei 11.000 MWd/t_U. Am 19.3.1970 wurde das BE9-5 und am 13.5.1970 das BE9-9 in der heißen Zelle des FR2 inspiziert. Dazu wurden auch die Wasserführungsrohre abgezogen. Es konnte sowohl an den Endzapfen der einzelnen Stäbe als auch an den Abstandshaltern keinerlei Verschleiß festgestellt werden. Ebenso zeigten die Wasserführungsrohre keinerlei Beschädigungen.

Zu Beginn des Jahres 1970 wurden weitere 2 Transporte abgebrannter oxidischer Brennelemente zur Wiederaufarbeitung an die Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (GWK) übergeben. Einzelheiten können der folgenden Aufstellung entnommen werden.

Transport Nr.	Transport Tag	Anzahl der Brennelemente	Brennelement Typ	Gesamtgewicht (U-235+236+238) [kg]
1	5.12.69	45	5	597,537
2	9.12.69	38	6	507,288
		6	5	79,626
3	15.12.69	45	5	597,802
4	26.1.70	45	5	597,395
5	30.1.70	45	5	597,442
G e s a m t		224	5 + 6	2.977,090

Anzahl d. BE x 10
 Abbrand in
 MWd/kg_U

Gemittelter mittl. Abbrand aller Brennelemente im Reaktor (getrennt nach BE - Typen)

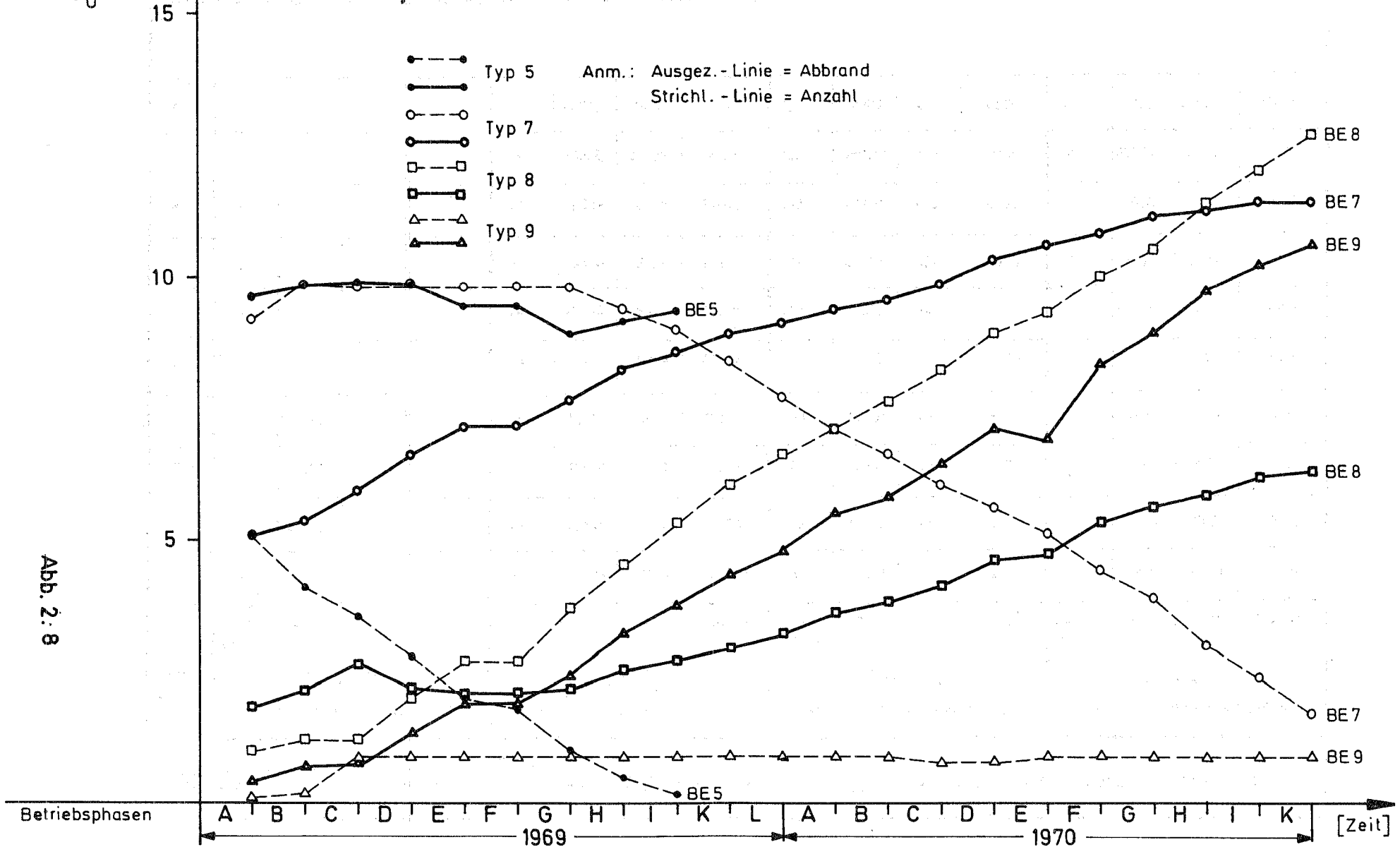


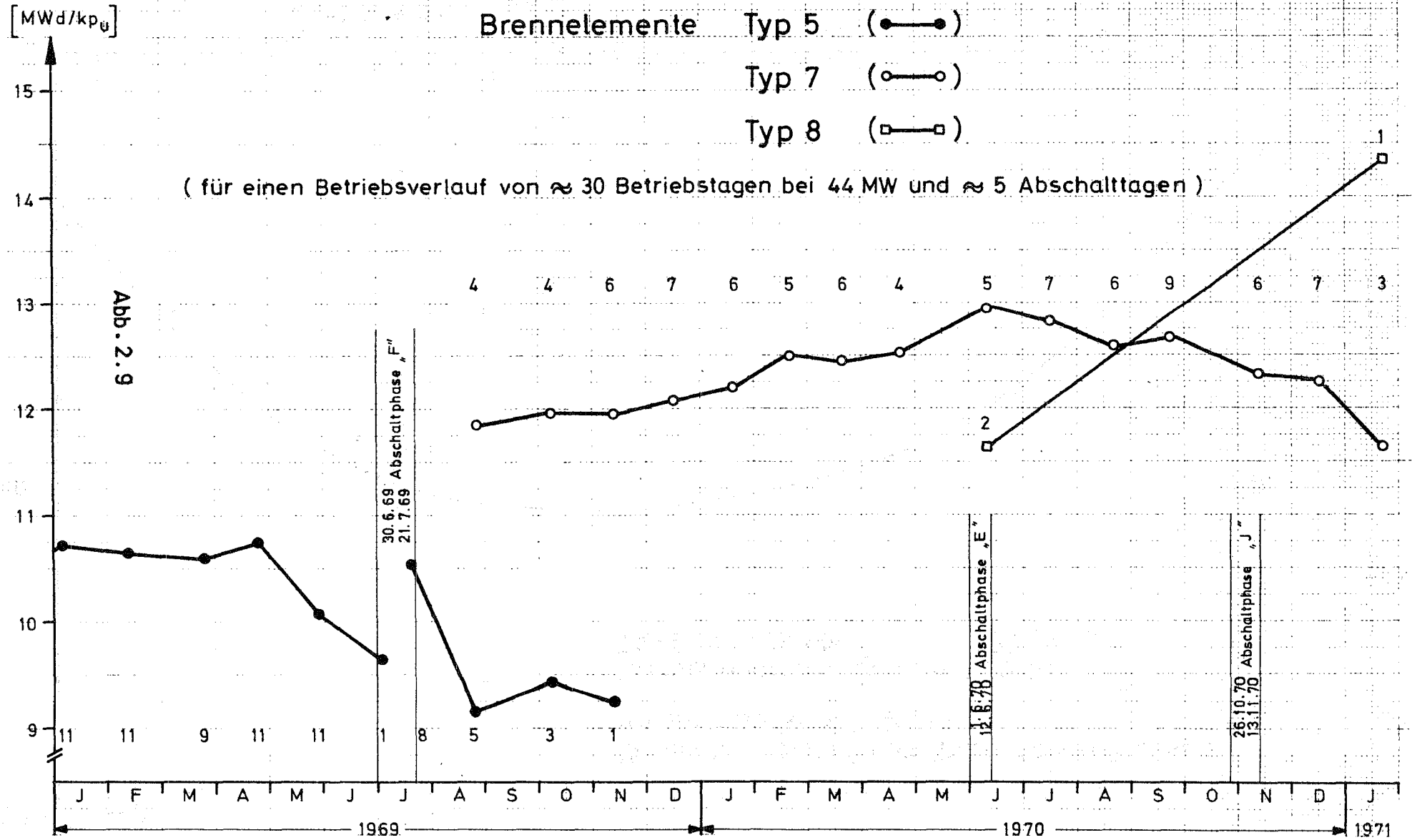
Abb. 2: 8

Tabelle 2.4: Abbrand der Brennstoffbeladung des FR2 am Ende der Betriebsphasen im Jahre 1970

Betr. Phase	Abbrand Brennelement Typ 5 [Mwd/t _U]				Abbrand Brennelement Typ 7 [Mwd/t _U]				Abbrand Brennelement Typ 8 [Mwd/t _U]				Abbrand Brennelement Typ 9 [Mwd/t _U]			
	BE im Core	max.			BE im Core	max.	min.	i.Mittel	BE im Core	max.	min.	i.Mittel	BE im Core	max.	min.	i.Mittel
A	1	19162*			71	12687	5763	9395	71	9794	512	3618	9	5820	4999	5505
B	1	19456*			66	12707	6160	9553	76	10277	373	3814	9	6159	5353	5872
C	1	19908*			60	12648	6837	9862	82	10927	503	4189	8	6731	6053	6487
D	1	20382*			56	13201	7539	10312	89	11629	494	4601	8	7459	7328	7126
E	1	20783*			51	13137	8141	10608	93	11245	412	4797	9	7246	8084	6920
F	0	-			44	12867	8775	10820	100	12262	515	5324	9	8664	7968	8366
G	0	-			39	12965	9330	11147	105	12901	336	5628	9	9386	8597	8983
H	0	-			30	13163	9850	11203	114	13480	517	5883	9	10087	9325	9705
I	0	-			24	12905	10356	11434	120	14020	434	6188	9	10747	9923	10287
K	0	-			17	12256	10671	11411	127	14350	326	6228	9	11077	10285	10647

Anmerkung: Das mit * gekennzeichnete BE war zur Standzeiterprobung im Reaktor

Abbrand Gemittelter mittl. Abbrand und Anzahl der planmäßig ausgeladenen



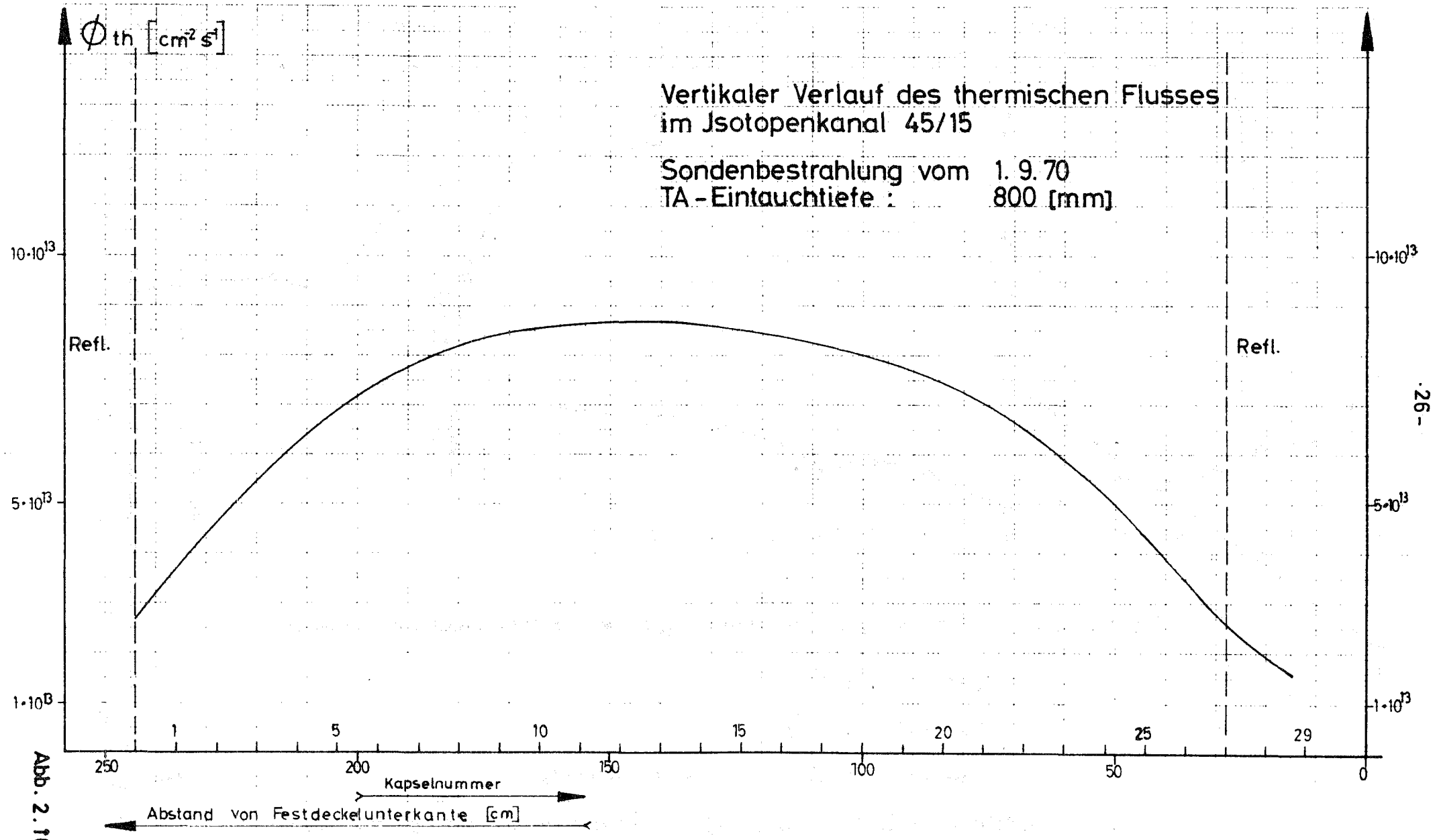


Abb. 2.10

2.7 Reaktivitätsverhalten, Neutronenfluß

Zur Erläuterung der Reaktivitätsbilanz dient Abb.2.6. Sie enthält den Verlauf der kritischen Trimmstabstellung im Jahre 1970 für 2 charakteristische Reaktorzustände:

Kritische Trimmstabstellung bei Nulleistungsbetrieb ($\approx 0,5 \cdot 10^{-3} N_N$) zu Beginn einer Betriebsphase, d.h. ohne Xe-Vergiftung und Abbrand bzw. nach dem Umladen der Brennelemente.

Kritische Trimmstabstellung bei Betrieb mit 44 MW am Ende einer Betriebsphase, d.h. mit Abbrand und Vergiftung.

Das Reaktivitätsverhalten im Verlauf einer Betriebsphase ist aus den im Anhang beigegefügt Formblättern 183/27 bis 183/37 'Kritische Trimmstabstellung in den Betriebsphasen A bis L' zu ersehen.

Für den kalten, unvergifteten und frisch umgeladenen Reaktor betrug die Überschußreaktivität im Jahresmittel

$$\begin{aligned} (\beta_{ex})_{max} &\approx 7,3 \% & (TA = 1475 \text{ mm}) \\ & & (FR = 400 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Als Regelreserve stand im Jahresmittel am Ende einer Betriebsphase eine Überschußreaktivität von

$$\begin{aligned} (\beta_{ex})_{min} &\approx 0,9 \% & (TA = 550 \text{ mm}) \\ & & (FR = 400 \text{ mm}) \end{aligned}$$

zur Verfügung.

Daraus ergibt sich ein Beitrag für Spaltproduktvergiftung, Temperaturvergiftung und Abbrand von:

$$(\beta_{ex})_{max} - (\beta_{ex})_{min} \approx 7,3 \% - 0,9 \% = 6,4 \%$$

Die Abschaltsicherheit bei 16 Trimmabschaltstäben, davon 1 Stab (Reaktivitätsäquivalent 1,5 %) ausgefallen, beträgt somit:

$$s_{Ab} \approx 7,3 \% - 15,5 \% = -8,2 \%$$

(gefordert sind mindestens -3 %).

Die maximale thermische Neutronenflußdichte im Moderator lag bei $0,95 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ für eine Reaktorleistung von 44 MW.

Einen typischen Flußverlauf im Isotopenkanal Position 45/15 gibt Abb.2.10 wieder.

2.8 Schwerwasserkreislauf

Die Isotopenreinheit des Schwerwassers betrug am Jahresanfang

99,651 Mol %

und am Jahresende

99,635 Mol %.

Die kontinuierliche Abreicherung im Verlauf des Jahres 1970 betrug also wie schon im Vorjahr

0,016 Mol %.

Diese Abreicherung ist im wesentlichen auf die große Zahl der im Verlauf der einzelnen Betriebsphasen umgesetzten sowie aus- und eingebauten Brennelemente zurückzuführen. Durch eine gezielte Deuterierung des Kreislaufs von Proj. FR2/58 (Druckschwerwasser-Kreislauf) am Anfang des Jahres war die Abreicherung im gesamten D_2O -Kreislauf bei der Inbetriebnahme von Proj. FR2/58 kaum merkbar. Siehe auch Kap.3.4.

Die Tritiumkonzentration des Schwerwassers betrug am Jahresanfang

3900 $\mu\text{Ci/ml}$

zur Jahresmitte

3800 $\mu\text{Ci/ml}$ und

am Jahresende

4200 $\mu\text{Ci/ml}$.

Der kleinere Wert in Jahresmitte ist auf die Einfüllung von insgesamt 1821 kg nahezu tritiumfreiem D_2O im Laufe des ersten halben Jahres mit einer mittleren Schwerwasserkonzentration von 99,825 Mol % zurückzuführen.

Die Leitfähigkeit des Kreislaufwassers (D_2O) lag zum Jahresanfang bei rd. 0,11 $\mu\text{S/cm}$ und stieg bis zum Mischbettfilterwechsel im August auf 0,38 $\mu\text{S/cm}$ an. Nach Umschaltung auf das Reserve-Mischbettfilter mit neuer Harzfällung fiel die Leitfähigkeit auf 0,10 $\mu\text{S/cm}$ bis Jahresende ab.

Die spezifische Aktivität des Schwerwassers an langlebigen Korrosions- und Spaltprodukten (Halbwertszeit > 1 Tag) war weiterhin gering und lag etwas über 1×10^{-2} $\mu\text{Ci/ml}$ mit Ausnahme zweier kurzzeitiger Spitzen Ende Januar (Proj. FR2/58 - siehe Kap.3.4) und im November (BE-Hüllschaden - siehe Kap.3.4.5).

Die spezifische α -Aktivität lag um 1×10^{-2} pCi/ml (Nachweisgrenze $< 2 \times 10^{-3}$ pCi/ml).

Die Impulsrate des Spaltproduktmonitors der Gesamt- D_2O -Überwachung hat sich im Berichtszeitraum praktisch nicht verändert.

Die unwiderbringlichen Schwerwasserverluste im Jahre 1970 betragen insgesamt 205 kg und setzten sich wie folgt zusammen:

Verluste bei Brennelementen und KVE-Umladungen sowie bei Montagearbeiten	145 kg
Verlust durch Proj. FR2/58 (Schaden an Pumpe P102)	60 kg

Um eine Gegenüberstellung der Schwerwasser-Zugaben und der -Entnahmen des D₂O-Kreislaufs durchzuführen, benötigt man die Differenz der Behälterstände Jahresanfang - Jahresende:

Behälterinhalt [17	1.1.1970	31.12.1970
5 m ³ + 300 l-Behälter	2 740	2 413
7 m ³ -Behälter	≈ 0	≈ 0
23 m ³ -Behälter	≈ 0	≈ 0
30 m ³ -Behälter	≈ 0	≈ 0
2 x 150 l-Behälter	28	12
	23	43
Summe	2 791	2 468 l
Differenz		- 323 l
Notflutbehälter (Differenz Füllung-Entleerung bei Funktionsprüfung)		+ 20 l
		<hr/> 303 l

Das entspricht einer D₂O-Menge von 335 kg.

Die oben aufgeführten Behälterstände zeigen, daß insgesamt gesehen aus den Behältern Schwerwasser in den Kreislauf gegeben wurde. Entsprechend wird die nachfolgende 'Bilanz' aufgestellt:

	Zugaben [kg]	Entnahmen [kg]
D ₂ O-Gesamteinfüllmenge	1.840	
Differenz Tankstände	≈ 335	
unwiderbringliche Verluste		205
Erweiterung des Kreislaufsystems für P58		≈ 460
Entnahmen einschl. Spülwasser P58		1.477
Zeitweiliger Ausbau von Kreislaufteilen:		
1) Wt 1.6	71	
2) Ve 16.03	27	
	2.273	2.142
Differenz	+ 131 kg	

Diese Differenz ist mit allergrößter Wahrscheinlichkeit auf die relativ großen Anzeigefehler bei den nahezu leeren Großbehältern zurückzuführen.

2.9 Brennelementüberwachung

Von allen rd. 450 um- bzw. ausgeladenen Brennelementen wurden in der Brennelementwechsellaschine γ -scans angefertigt, die Rückschlüsse auf mögliche Bündeldefekte zulassen. Siehe auch [3] und [4]. Es konnten keine Beschädigungen festgestellt werden.

2.9.1 Bei einer Routineuntersuchung an ausgeladenen Brennelementen in der heißen Zelle des FR2 wurde am 8.4.70 an dem BE7-15 folgender Schaden beobachtet: Im Wasserführungsrohr war ein etwa 4 mm \varnothing großes Loch in der Höhe des untersten Führungsstückes. Nach dem Abziehen des Wasserführungsrohres wurde festgestellt, daß die

oberen Federscheiben am untersten Führungsstück ganz zerstört und an anderen Führungsstücken stark abgetragen waren. Das unterste Brennstabbündel hatte am Wasserführungsrohr angelegen.

Die durch die Kühlwasserströmung verursachten, immer größer werdenden Schwingungsamplituden hätten mit Sicherheit in kurzer Zeit zu einer Perforation der Hülle einzelner Brennelementstäbchen geführt.

Spätestens dann wäre der Defekt durch die Hüllschadennachweisanlage signalisiert worden.

2.9.2 Am 15.7.70 wurde das letzte, zur Standzeiterprobung bestrahlte Brennelement BE5-149 mit dem bisher höchsten Abbrand von 20,8 MWd/kg_U ausgebaut.

Betriebsdaten BE5-149:

Betriebsstunden gesamt 29 298,70 h

Betriebsstunden bei
 $N > 10^{-3} N_N$ 28 255,31 h

BE-Arbeit 279,9 MWd

mitgemachte Schnell-
abschaltungen 130 Stück

Das erste Brennelement zur Standzeiterprobung (BE5-115) war bei RB/Z im Jahre 1969 genau untersucht worden (siehe [47]), deshalb wurde auf eine weitere Untersuchung verzichtet.

2.9.3 Hüllschaden an einem neuen Brennelement:

Das BE8-43 war am 20.9.1968 vom Hersteller angeliefert, am 15.4.1970 montiert und am 20.8.1970 auf der Reaktor-Pos. 40/32 eingebaut worden. Beim Reaktorstart am 22.8.1970 wurde auf dieser Position durch die Hüllschadenüberwachungsanlage ein Hüllschaden festgestellt. Das BE wurde ausgebaut und in der heißen Zelle des FR2 einer Sichtkontrolle unterzogen. Dabei konnte kein Schaden festgestellt werden.

Da der Nachweis durch die Hüllschadenanlage eindeutig war, blieb das BE wegen der Garantieverpflichtung der Herstellerfirma ausgebaut.

2.9.4 Brennelementbeschädigung beim BE-Wechsel:

Während des planmäßigen BE-Wechsels am 13.11.1970 kam es zu folgender außergewöhnlicher Störung, die jedoch durch das Betriebspersonal sicher beherrscht werden konnte:

Nach dem Einfahren des BE7-82 in die Brennelementwechselmaschine brachte das Schließen des Schiebers keine Unterdruckanzeige. Das BE wurde sofort wieder im Reaktor abgesetzt. Dabei erfolgte die Abschaltung durch Schlaffseilmeldung des BE-Flaschengreifers wesentlich früher als üblich. Als das BE wieder in die BE-Flasche zurückgezogen wurde, blieb die Unterdruckanzeige erneut aus.

Eine nähere Untersuchung (Endoskop der BE-Flasche bzw. Strahlendosis im Deckelungsgang) erbrachte, daß sich das Wasserführungsrohr vom Brennelement gelöst hatte und etwas heruntergerutscht war. Beides konnte sicher geborgen werden. Die Ursache wurde nicht restlos geklärt, es ist anzunehmen, daß die Federvorspannung der Haltefedern am Wasserführungsrohr in diesem Fall nicht ausreichend war.

Für den Wiedereinbau in den Reaktor kam das Brennelement aus folgenden Gründen nicht mehr in Frage:

hoher Abbrand ($10.048 \text{ MWd}/t_U$)

es wurden Beschädigungen festgestellt, die ein Anfangsstadium der Beschädigungen darstellen, wie sie in einem Fall im Kap.2.9.1 geschildert wurden.

2.9.5 Untersuchung von Wasserführungsrohren:

Im Jahre 1970 wurden insgesamt 75 Wasserführungsrohre der BE7 untersucht, davon waren 5 im Bereich des unteren Führungssterns perforiert. Durch das kleine Loch wird die Funktion des Wasserführungsrohres nicht beeinträchtigt - trotzdem werden Wasserführungsrohre mit solchen Beschädigungen nicht mehr wiederverwendet. In Kap.3.8 von [3] wurde auf die Ursache dieser allmählichen Perforation näher eingegangen. Die Gesamtzahl der bis dahin untersuchten Wasserführungsrohre von den BE7 erhöht sich damit auf 79 (Beschädigungen also etwa 6 %).

2.10 Funktionsfähigkeit der Abschaltetelemente

Über die Funktionsfähigkeit der Trimmabschaltstäbe gibt Spalte 16 in Tabelle 8.3 Aufschluß. Bei 64 registrierten Funktionsabläufen wurden 6 mal Störungen in den automatischen Funktionen dokumentiert. Hierbei wurden die TA-Stäbe zwar ordnungsgemäß abgeworfen, die Ankunfts meldung jedoch kam verzögert bzw. war in 4 Fällen defekt.

Weitere 4 Störungen wurden gezielt zur Funktionsprüfung des Moderatorablasses im Rahmen der vierteljährlichen Prüfung der D₂O-Kreislaufsteuerung eingeleitet. (Der Moderatorablaß wird bei Versagen eines von 16 Abschaltstäben bei Grenzwertsignalen aus den nuklearen Kanälen des Reaktorschutzsystems ausgelöst.)

Im Berichtszeitraum wurden insgesamt 10 Trimmabschaltstäbe für Reparatur, Inspektion und Wartung gewechselt. Die nachfolgende Tabelle 2.5 gibt einen Überblick über die Ursachen von Störungen. Die Gesamtbetriebszeit im Leistungsbetriebsbereich liegt bei einigen Abschaltstäben über 1.000 d. Inspektionen ergaben keine Veränderungen an den Absorberteilen.

Wie aus Tabelle 2.5 weiter ersichtlich erfolgte auch ein 2-maliger Wechsel des Feinregelstabes. Stab Nr. 2 wurde wegen des am unteren Ende deutlich meßbaren Fehlens des Absorbiermaterials (Cadmium) ausgebaut und gegen Stab Nr. 1 ersetzt. Vom 22.9. bis 13.11. wurde Stab Nr. 2 nochmals eingesetzt, da an Stab Nr. 1 eine Lagerreparatur erforderlich wurde.

Tabelle 2.5: Trimm-Abschalt- und Feinregelstabwechsel im Jahre 1970

TA-Stab Nr.	Reaktor-Pos.	Einbau-Datum	Ausbau-Datum	Zeit im Reaktor (d)	Gesamt-betriebszeit bei > 20 MW (d)	Ausbaugrund	ersetzt durch TA-Stab Nr.	wesentliche Reparaturen an den Ersatzstäben
10	45/25	11.3.69	18.2.70	344	1105,54	Ankunftsmeldung defekt	4	neuer Ankunftsmeldungskontakt
4	45/25	18.2.70	10.11.70	265	1013,29	Ankunftsmeldung defekt	14	E-Magnet und Weicheisenteil gereinigt
16	41/21	22.4.67	18.2.70	1033	953,58	Inspektion, Ankunftsmeldung defekt	19	neuer Ankunftsmeldungskontakt
17	45/29	22.12.67	19.6.70	910	1197,54	Inspektion	22	Kabeldurchführung abgedichtet
7	49/29	22.12.67	17.8.70	969	931,50	Inspektion, Ankunftsmeldung defekt	16	neuer Ankunftsmeldungskontakt
6	57/21	8.1.69	17.8.70	586	1067,88	Ankunftsmeldung defekt	10	neuer Ankunftsmeldungskontakt
14	41/17	20.9.67	17.8.70	1062	1045,50	Inspektion, Ankunftsmeldung defekt	24	keine
24	41/17	17.8.70	10.11.70	54	532,71	Ankunftsmeldung defekt	7	neuer Ankunftsmeldungskontakt und neues Absorberteil (Gewinde am alten Absorberteil defekt)
7	41/17	10.11.70	19.12.70	39	959,00	Ankunftsmeldung defekt	17	keine
9	49/25	29.1.68	10.11.70	1016	875,00	Inspektion, Ankunftsmeldung defekt	6	neuer Ankunftsmeldungskontakt
FR-Stab Nr. 1	41/25	17.3.70	22.9.70	190	252,29	schwergängig	FR-Stab Nr. 2	neue Kugellager und Simmerringe eingebaut
		13.11.70	24.8.71	285	206,35	Antriebswechsel		
FR-Stab Nr. 2	41/25	25.11.69	17.3.70	113	994,92	hoher Abbrand	FR-Stab Nr. 1	
		22.9.70	13.11.70	53	29,59	hoher Abbrand		

2.11 Betriebsunterbrechungen, Fehleranalyse

Die planmäßige Reaktorbetriebszeit wurde durch 25 störungsbedingte Abschaltungen (19 Schnellschlüsse und 6 Handabschaltungen) unterbrochen, die insgesamt eine Ausfallzeit von etwas mehr als 2 Tagen verursachten. 12 Abschaltungen (48 %) wurden durch Experimente, 13 Abschaltungen (52 %) durch den Reaktor verursacht. Im einzelnen können die Abschaltungen aus der Tabelle 8.3 'Reaktorabschaltungen im Jahre 1970' entnommen werden.

Eine Analyse der 25 Ereignisse zeigt folgendes Bild der Ursachen:

1	P2 (Tief-temp. Bestr.- Einrichtung)	1 x Fehlbedienung: (Kurzschluß beim Entfernen einer provisorischen SS-Überbrückung)	1vl
4	P26 (He-Druckgaskreislauf für Brennstoffstäbe)	3 x Störung Energieversorgung (externe Einspeisung)	1vl
		1 x Umformer defekt	1vl
1	P44 (Rohrpostbestr.- einrichtung)	1 x Gerätefehler Instrumentierung	1vl
4	P58 (Druckw.-Kreisl. Brennstoffplatten)	2 x Hüllschadenverdacht am Prüfling	Hand
		2 x Sicherheitsfall, Kurzschluß im Geräteraum bei Montagearbeiten	-
1	P76 (Thermion.Wandler)	1 x unterer Grenzwert Diodenspannung	2v3
1	P77 (Kapselversuchseinsatz)	1 x Fehlbedienung (Überschreiten Temp.-Grenzwert bei Leistungserhöhung)	2v3
1	Reaktor Si-Kanal 7 (Reaktoreintrittsdruck)	Ausfall D ₂ O-Hauptpumpe 1.5 durch Schalterfall E-Zentrale (Erdbeben)	2v3
1	Reaktor Si-Kanal 7 (Reaktoreintrittsdruck)	Leistungsabfall D ₂ O-Hauptpumpe 1.1 infolge Gasansaugung beim Fluten Pul03 von Proj. FR2/58 (undichtes Sicherheitsventil)	2v3

7	Reaktor	Fehlbedienung (lin-Regler nicht auf Hand bei Bereichsum- schaltung linearer Neutronenflußmeßkanal)	2v3
		(Grenzwert linearer Neutronenflußmeßkanal durch Anheben TA15 bei Antriebswechsel)	2v3
		(Grenzwert Aktivität Reaktorhalle, aktives Iso-Kapselträgerrohr aus BE-Flasche abge- senkt)	2v3
		(keine Bereichsum- schaltung linearer Neu- tronenflußmeßkanal)	2v3
		(Grenzwert Aktivität Reaktorhalle durch Über- fahren Abschirmung bei Einbau Prüfling in KVE-Flasche)	2v3
		(Grenzwert Neutronen- flußänderung durch zu schnelles Anheben Trichterverschluß mit Wechselvorrichtung)	2v3
		(Grenzwert Aktivität Reaktorhalle, beim Ausbau Co-Beladung keinen Abschirmstopfen eingesetzt)	2v3
1	Reaktor	ungünstige Neutronen- flußverteilung im Core, dadurch zu heißer NW- Quadrant, Einbau Co-Absorber	Hand
1	Reaktor	Hüllschaden BE8-43	Hand
1	Reaktor	TA-Stab, Antriebs- wechsel	Hand
1	Reaktor	TA-Stab-Wechsel	Hand

Die Anzahl der störungsbedingten Abschaltungen war die gleiche wie im Vorjahr. Bei den insgesamt 25 störungsbedingten Abschaltungen wird unterschieden zwischen 6 Handabschaltungen des Reaktors durch Einfahren der Trimmabschaltstäbe (Hand) und 19 Schnellabschaltungen des Reaktors durch Abwurf der Trimmabschaltstäbe über Automatikbefehle.

Die automatischen Abschaltungen waren größtenteils durch Gerätefehler bzw. Fehlbedienung bedingt. Die Abschaltzeit lag im Mittel bei 2 Stunden je Fehler. Weitere 33 Schnellabschaltungen wurden zu Prüfzwecken ausgelöst.

Die Unterscheidung der 49 Schnellabschaltungen in Abschaltungen aus dem Bereich < 1 MW (33) und dem eigentlichen Leistungsbereich > 1 MW (16) erfolgte wegen der Beurteilung der Brennelemente und der Anlagenteile hinsichtlich ihrer thermischen Beanspruchung bei Schnellabschaltungen.

Aufgrund der großen Zahl von Experimenten, deren Instrumentierung in das Reaktorschutzsystem eingreift, ist die Zahl der durch Experimente verursachten Schnellabschaltungen aus dem Leistungsbereich von 10 vergleichsweise höher als die Zahl der Abschaltungen mit der Ursache 'Reaktor' (4).

Für Prüfzwecke wurden 2 weitere Schnellabschaltungen aus dem Leistungsbereich ausgelöst.

Bei allen Ereignissen hat das Reaktorschutzsystem des FR2 stets ordnungsgemäß gearbeitet.

In den Spalten 11 bis 14 der Tabelle 8.3 wurde eine Analyse der verschiedenen Störungen nach ihrer Art durchgeführt:

	1970	1969	1968
echte Grenzwerte	10 = 17,2 %	(12,2 %)	(12,9 %)
Gerätefehler	6 = 10,3 %	(29,3 %)	(25,8 %)
Fehlbedienungen	9 = 15,5 %	(12,2 %)	(16,1 %)
Prüfungen	33 = 57,0 %	(46,3 %)	(45,2 %)
	<hr/>		
	58 = 100 %		

Zum Vergleich die Werte aus den Vorjahren in Klammern.

Die relativen Fehlerursachen zeigen nur bei den 'Gerätefehlern' eine fallende Tendenz. Dies dürfte sich daraus erklären, daß wir ständig bemüht sind, die Betriebssicherheit der Instrumentierung z.B. durch 2v3-Auswahlschaltungen zu verbessern. Die primäre Ursache dieser Zunahme ist die

in den vergangenen Jahren steigende Nutzung des FR2 durch Experimente, die aufgrund sicherheitstechnischer Anforderungen auf das Reaktorschutzsystem aufgeschaltet werden mußten.

Leider hat der Anteil der Fehlbedienungen gegenüber 1969 wieder zugenommen. In den Jahren 1968 und 1969 waren je 5 Fehlbedienungen zu verzeichnen. Durch eine Intensivierung der Ausbildung des Betriebspersonals und eine ständige Schulung an den komplexen Anlagen des FR2 hoffen wir, die Zahl der Fehlbedienungen wieder zu verringern.

2.12 Leistungsrücknahmen

Die Leistungsrücknahmen im Jahre 1970 sind aus der Tabelle 8.4 ersichtlich.

Von den insgesamt 23 Vorkommnissen waren 13 (57 %) störungsbedingt, die restlichen 10 (43 %) stellten planmäßige Maßnahmen, hauptsächlich im Rahmen des Versuchsprogramms Projekt FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf) dar.

Von den Leistungsrücknahmen erfolgten 10 auf $< 10^{-3}$ Nennleistung (davon 2 störungsbedingt zu Lasten des Reaktors und 5 zu Lasten der Experimente).

Von 13 Leistungsrücknahmen im MW-Bereich entfielen 6 auf störungsbedingte Maßnahmen (2 mal Reaktor, 4 mal Experimente) und 7 auf planmäßige Maßnahmen (alle für Versuchsprogramm Proj. FR2/55).

Der Ausfall an Experimentierzeit für die 13 störungsbedingten Maßnahmen betrug zusammen 19 Stunden.

2.13 Besondere Vorkommnisse

Auch im Jahre 1970 ereigneten sich einige Zwischenfälle, die nachstehend in zeitlicher Reihenfolge geschildert werden. Dabei waren keine Personenschäden zu verzeichnen.

2.13.1 Erhöhte Strahlendosis eines Mitarbeiters:

Bei Sonderarbeiten mit der Brennelementwechsellmaschine am TA-Stab-Prüfstand wurde am 10.3.70 irrtümlich der falsche Kanal der BE-Wechsellmaschine ausgefahren (gerade aus dem Core ausgebautes Iso-Kapselträgerrohr mit einer ganzen Anzahl von aktivierten Proben). Zu dieser Manipulation ist zwar eine besondere Entriegelung notwendig, der betr. Mitarbeiter ließ aber nicht die notwendige Sorgfalt walten. Ein anderer Mitarbeiter erhielt dabei eine Ganzkörperdosis von 800 mrem. Das Bedienungspersonal und vor allem der zuständige Betriebsverantwortliche der BE-Wechsellmaschine wurden eingehend belehrt. Eine Entriegelung darf nur nach ausdrücklicher Anweisung vorgenommen werden.

2.13.2 D₂O-Verlust:

Bei Reaktivitätsmessungen mit einem Kapselversuchsein-satz (KVE 70) am 20.3.70 wurde bei gezogener Hüllschaden-an-schlußkupplung an diesem KVE versehentlich zu früh die Umschaltung von Programm 'Notkühlen' (m) auf 'volle Kühlung' (a) durchgeführt. Der höhere Systemdruck bei voller Kühlung verursachte am offenen Kopf des Versuchs-einsatzes einen Austritt von Primärkühlmittel. Der Schwer-wasserverlust betrug nur etwa 10 l, da die Betriebsmann-schaft auf dem Reaktordeckel sofort die Programmrück-schaltung in der Schaltwarte veranlaßte. Es handelte sich bei diesem Vorkommnis um eine voreilige Handlungsweise aufgrund eines Mißverständnisses bei der Fertigmeldung.

2.13.3 Brennelementbeschädigung in der HZ - Reaktor:

Am 2.7.70 wurde das neue inaktive BE 8-189 beim Absetzen mit der BE-Wechsellmaschine in die heiße Zelle des FR2 wegen Ausfall der Sprechverbindung Fenster HZ - Bedienungs-stand Wechsellmaschine auf die Platte in der heißen Zelle aufgesetzt und verbogen. Eine Inspektion ergab eine Ver-biegung zwischen den beiden oberen Führungsternen und eine Stauchung einzelner Brennstäbe. Das BE kam nicht zum Einbau und wird gelegentlich durch Austausch der gestauchten Stäbe wieder instandgesetzt.

Um derartige Vorfälle künftig auszuschalten, wurde am Bedienungsfenster der HZ eine Notabschaltung der Brennelementwechselmaschine installiert. Bei allen Arbeiten mit der Wechselmaschine im Bereich der heißen Zelle wird diese Notabschaltung künftig in Betrieb genommen.

2.13.4 Wasseraufbereitungsanlage:

Während der Regeneration von Bahn 1 (Vollentsalzung) und Bahn 3 (Teilstromreinigung) am 23.8.1970 gegen 18.00 Uhr brach Bahn 2 wegen Säureeinspeisung infolge Fehlbedienung durch. Die Kontrolle der Wasserqualität ergab stark saures Wasser nach der Anionenstufe, deshalb wurde die Entsalzungsbahn 2 außer Betrieb genommen. Zu diesem Zeitpunkt war die Salzsäure schon in den H₂O-Hauptkreislauf gelangt (Chlorgehalt der Probe um 21.00 Uhr: 252 mg/l). Der Chlorionengehalt im H₂O-Hauptkreislauf wurde dann über die Teilstromanlage abgebaut.

Bei diesem Zwischenfall wurden etwa 1000 kg 10 %ige Säure über die Ionentauscher in den H₂O-Kreislauf mit einem gesamten Wasserinhalt von 400 m³ gefördert. Etwa 10 % $\hat{=}$ 100 kg lag als freie Säure vor, während 90 % $\hat{=}$ 900 kg in neutralisierter Form als Alkalichlorid bzw. Erdalkalichlorid in den H₂O-Kreislauf gelangte.

Maßnahmen zur Vermeidung solcher Störungen:

Belehrung der Anlagenfahrer über die Ursachen und die Folgen einer solchen Störung. Beim Durchbruch einer Bahn ist diese sofort außer Betrieb zu nehmen und der diensthabende Schichtleiter zu verständigen.

Beim Überschreiten der Leitfähigkeitsgrenzwerte am Austritt der Bahnen 1, 2, 3 erfolgt künftig auch Signal in der Schaltwarte.

Verbesserung der Überwachung des pH-Wertes im Hauptkreislauf mit zusätzlicher Grenzwertmeldung in der Schaltwarte bei Über- oder Unterschreitung des Betriebswertes.

Es wurde sicherheitshalber eine Wärmetauscherreinigung durchgeführt. Etwa 4 Wochen nach der Störung wurden die Hauptwärmetauscher 2.2 und 2.7 geöffnet und inspiziert. Es wurden keine sichtbaren Schäden festgestellt.

Ein Folgeschaden bei dieser Störung ist auch deshalb auszuschließen:

In einem Gutachten des Instituts für Gastechik, Feuerungstechnik und Wasserchemie der Universität Karlsruhe im Jahre 1967 zur Umstellung des Sekundärkreislaufs des FR2 von vollentsalztem auf nur entkarbonisiertem Wasser war folgende Feststellung getroffen worden:

Die Chloridkonzentration ist der begrenzende Faktor für die Eindickung des Kühlwassers und soll nicht über 250 mg/l getrieben werden. Bei Erreichung dieser Konzentration muß abgeschlämmt werden. Chloridkonzentrationen bis zu dieser Größe können bei zusätzlichen Korrosionsschutzmaßnahmen zugelassen werden.

2.13.5 Tritium-Aktivität im H₂O-Kreislauf:

Bei der Auswertung der routinemäßig entnommenen Probe aus dem Sekundärkühlkreislauf vom 3.11.1970 durch Abt. Strahlenschutz wurde festgestellt, daß die H³-Aktivität im H₂O auf 4×10^{-5} Ci/m³ (normal unter Nachweisgrenze $< 1,5 \times 10^{-5}$ Ci/m³) angestiegen war. Einige Proben aus verschiedenen Stellen des Kreislaufs bestätigten das Ergebnis. Wegen des bestehenden Leckageverdacht wurden alle Wärmetauscher einer gezielten Untersuchung unterworfen: Die Ein- und Ausgangsventile an dem betreffenden Wärmetauscher wurden geschlossen, ein Teil des H₂O wurde abgelassen und der Wärmetauscher D₂O-seitig unter He-Druck gesetzt. Nach einiger Zeit wurde eine Wasserprobe entnommen. Die Ergebnisse zeigten, daß der erste Notkühl-Wärmetauscher ein Leck haben mußte. Aus der spez.H-3-Konzentration wurde eine Leckrate von

$$L = 0,5 \text{ cm}^3 \text{ D}_2\text{O/d}$$

ermittelt. Der Wärmetauscher blieb außer Betrieb und wurde am 11.11.70 ausgebaut.

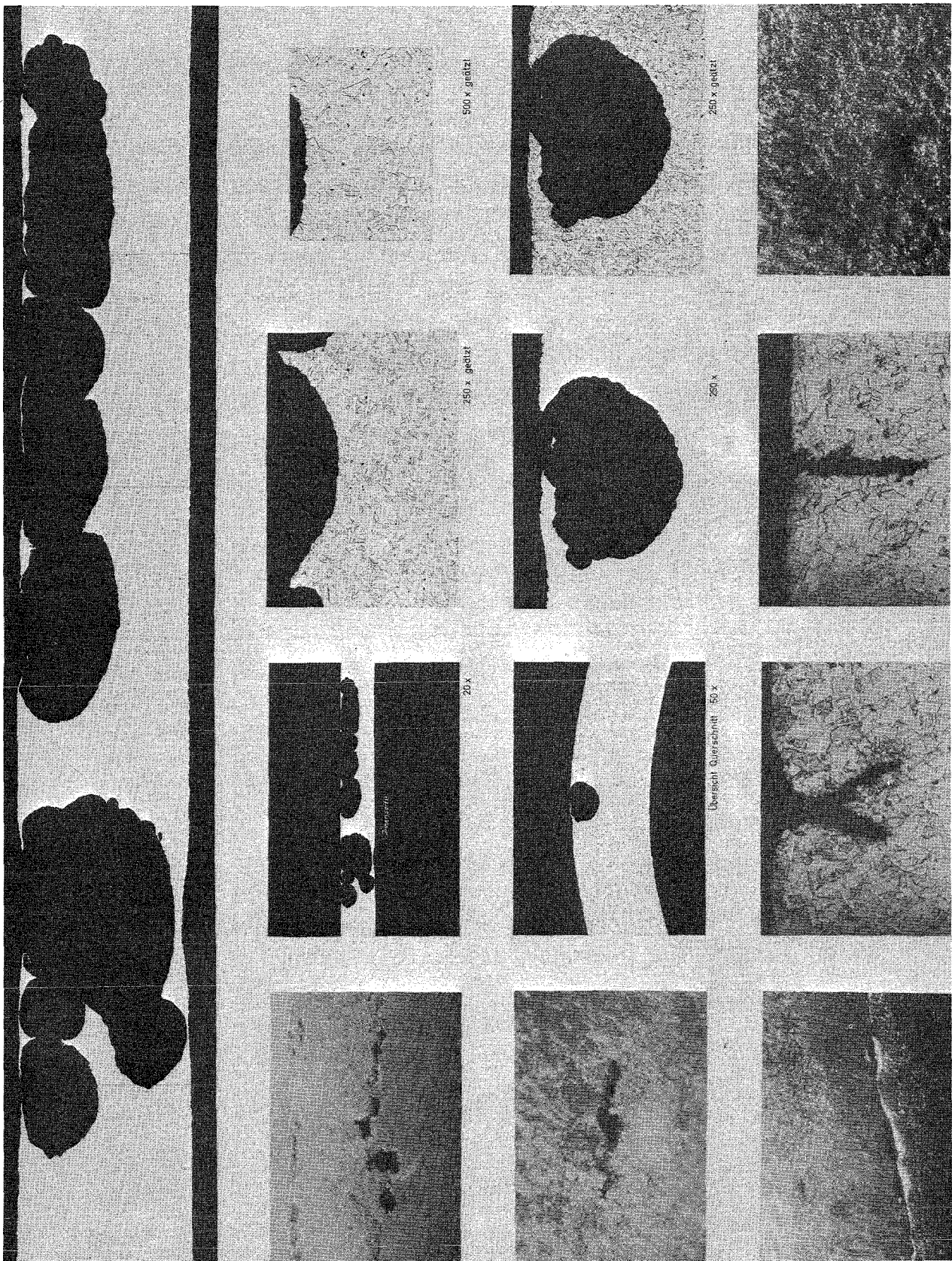


Abb. 2.11

Später wurden aus dem Wärmetauscher 20 beliebige Rohre gezogen und einer Dichtheitsprüfung unterworfen. Von diesen Rohren hatten 2 ein Leck, sie wurden anschließend genauer untersucht:

Beide wiesen Korrosionsschäden auf. So war ein mit dem Auge erkennbarer Längsriß von ca. 4 mm Länge feststellbar. Die Tiefe des Risses betrug ca. 200 μ . Auch punktförmige Lochfraßstellen wurden beobachtet. Die Oberflächenrauigkeit war bei allen Rohren ungewöhnlich stark. Siehe auch Abb. 2.11. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist dieser Lochfraß auf Fehler zurückzuführen, die seinerzeit bei der Fertigung gemacht wurden, vermutlich überbeizte und überschlifene Rohre.

Es wurde beschlossen, den Wärmetauscher neu zu verrohren.

2.14 Verbrauchszahlen an elektrischer Energie und Wasser

Der Verbrauch an elektrischer Energie für den gesamten FR2-Bezirk betrug im Jahre 1970 insgesamt

17.428.110 kWh

Zum Vergleich: 1967 = 13,76 MWh
 1968 = 16,27 MWh
 1969 = 16,72 MWh

In diesem Anstieg spiegelt sich die zunehmende Nutzung des FR2 durch Kreislaufexperimente wieder.

Der Wasserverbrauch für den gesamten FR2-Bezirk betrug im Jahre 1970 insgesamt

610.660 m³ Rohwasser

(zum Vergleich 1969: 664.294 m³).

Davon wurden für die Reaktor-Sekundärkreislauf-Einspeisung

338.070 m³ Rohwasser

in der Wasseraufbereitungsanlage vollentsalzt. Für diese

notwendigen 412 Regenerationen wurden 297,7 t Salzsäure und 94,5 t Natronlauge benötigt.

Der Durchsatz je Vollentsalzungsbahn ist von der angebotenen Wasserqualität abhängig und betrug im Mittel 820 m^3 .

Das entspricht etwa den Werten der Vorjahre.

In der Restmenge von (610.660 - 338.070)

272.590 m^3

befinden sich 238.216 m^3 Kühlabwasser, hauptsächlich von den Experimenten.

Das im Laufe des Jahres anfallende Abwasser verteilt sich wie folgt:

Regenwassernetz	238.216 m^3	(als Kühlabwasser)
Chemieabwasser	37.508 m^3	(aus der Wasseraufbereitung)
radioaktives Abwasser	504 m^3	(davon $12,65 \text{ m}^3$ mittelaktiv, Rest schwachaktiv) x)
häusliches Abwasser	4.050 m^3	

Man kann in etwa rechnen: $50 \text{ m}^3/\text{h}$ für 1 Vollastbetriebsstunde des FR2.

x) Abwässer mit $> 100 \text{ mCi/m}^3$ bis 100 Ci/m^3 gelten als mittelaktiv. Der Salzgehalt des Abwassers bestimmt weitgehend die Menge des übrigbleibenden Konzentrates beim Eindampfen. Die Strahlung der resultierenden Rückstände verfestigt in Zement muß $< 200 \text{ mrem/h}$ sein, um ohne Abschirmung nach Asse ins Salzbergwerk transportiert werden zu können.

3. Betrieb der Experimente

Der Betrieb der im Reaktor befindlichen Experimente konnte ohne größere Störungen abgewickelt werden. Von den in Tabelle 8.3 aufgeführten 25 störungsbedingten Reaktorabschaltungen gehen 12 zu Lasten der Experimente. Siehe eingehende Besprechung in Kap. 2.11.

Nähere Angaben über die den Betrieb beeinträchtigenden Störungen durch Experimente finden sich dann bei den Einzelexperimenten. Ebenfalls sind dort besondere Vorfälle geschildert.

3.1 Isotopenproduktion

Die Herstellung radioaktiver Isotopen erfolgte in 13 Isotopenkanalpositionen (Zwischengitterpositionen) mit je 29 Kapseln, ferner in der Therm. Säule und mit Hilfe einer pneumatischen Rohrpostanlage in Kanal D1.

Da die meisten Kunden an einer hohen Neutronenflußdichte interessiert sind, werden die Zwischengitter-Bestrahlungskanäle in Reaktormitte und die Rohrpostanlage am meisten genutzt. Die vorhandenen Bestrahlungsmöglichkeiten für Isotopen beim FR2 werden aber bei weitem nicht ausgeschöpft.

Eine Übersicht über die bisherige Isotopenproduktion von 1963 ab zeigt die Abb. 3.1. Die gleichbleibende Tendenz bei den Isotopenkanälen wird durch die Zunahme bei den Rohrpostbestrahlungen wettgemacht. Siehe auch [4_7].

Die Herstellung von Radionukliden durch Bestrahlung im FR2 kann aus der Tabelle 3.1 entnommen werden.

Anzahl der bestrahlten Kapseln

Isotopenproduktion des FR 2

[Stück]

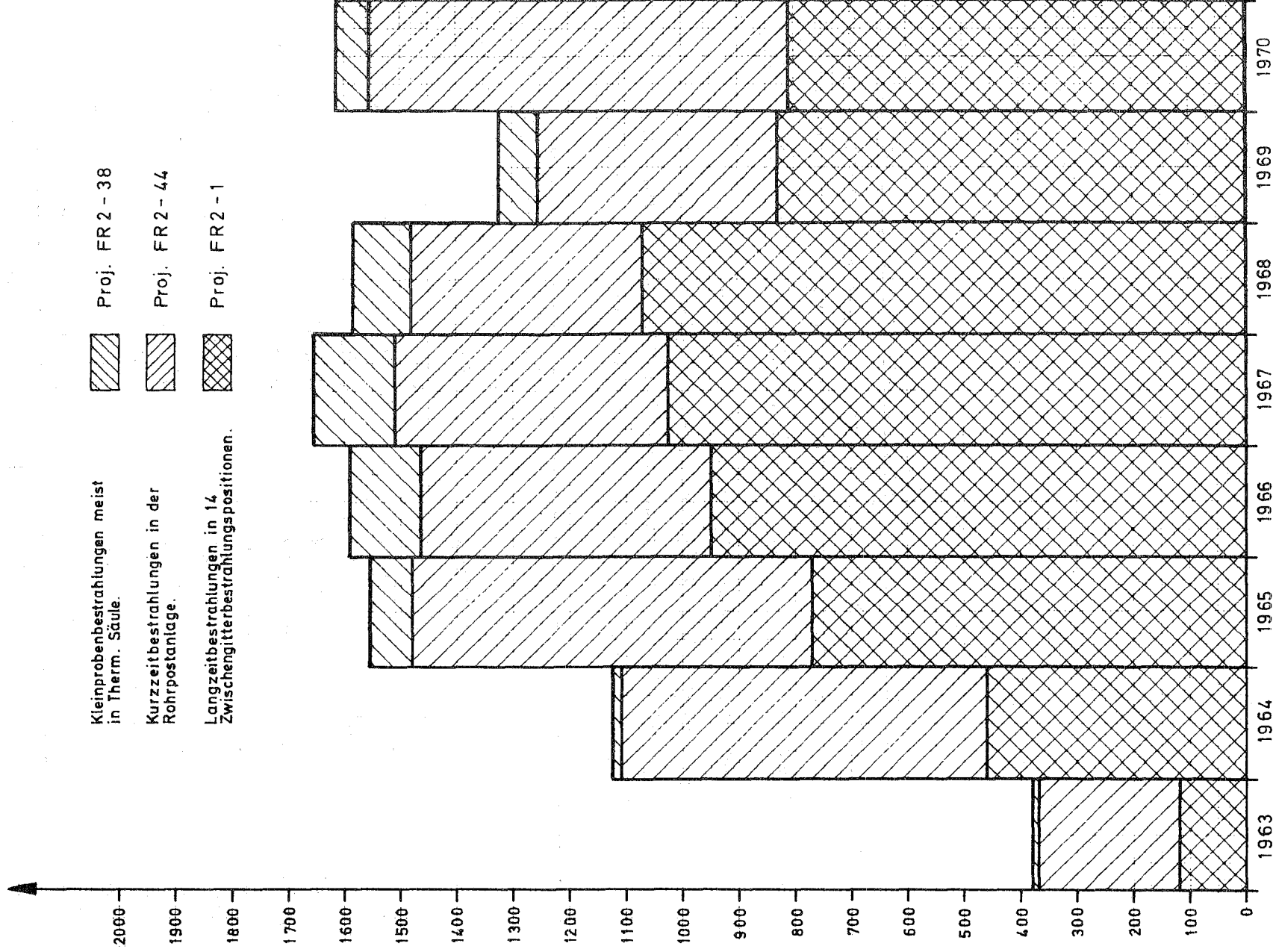


Abb. 3.1

Tabelle 3.1: Aktivitätsmengen von im FR2 durch Bestrahlung erzeugten Radionuklide (1970)

Nuklide		Aktivitäten (Ci)	Nuklide		Aktivitäten (Ci)
Americium	242	900,0	Palladium	109	4,5
Antimon	124	140,0	Quecksilber	197 ^m	1050,0
Cer	141	2,2	Quecksilber	203	37,0
Chrom	51	590,0	Rhenium	186	11,7
Eisen	59	28,0	Rhenium	188	29,0
Germanium	71	7,8	Rubidium	86	1,2
Gold	198	3050,0	Samarium	153	19,0
Iridium	192	810,0	Skandium	46	111,0
Jod	131	63,0	Tantal	182	1,1
Kobalt	60	6,15	Thulium	170	27,5
Kupfer	64	4110,0	Ytterbium	169	24,5
Lanthan	140	1,50	Yttrium	90	28,0
Lutetium	177	15,0			
Molybdän	99	23,0			

Aktivitäten von 0,1 bis 1,0 Ci wurden ferner von folgenden Nukliden durch Bestrahlung erzeugt: As-76, Br-82, Ca-45, Er-169, Eu-152/154/155, Gd-159, Co-58, Np-238/239, Pt-191, Ru-103, Tb-160, Tb-161, W-185, K-42, Os-193, Tm-171 und Zn-65.

'Nebenaktivitäten', d.h. Nuklide, die bei einer Bestrahlung außer den gewünschten Nukliden mitentstehen, z.B. Sb-122, Fe-55, Au-199, Na-24 bzw. Spaltprodukte wurden bei dieser Aufstellung nicht mit aufgeführt.

Bestrahlungen auf Zwischengitterpositionen

(Isotopenkanäle / Projekt FR 2 / 1)

- *) Bei der Isotopenproduktion ist die Anzahl der Bestrahlungskapseln angegeben.
Bei Flußmessungen mit Aktivierungs-sonden waren 15 Kapseln je Kanal beladen.
Bei Flußmessungen mit Detektoren war jeweils 1 Detektor im Kanal

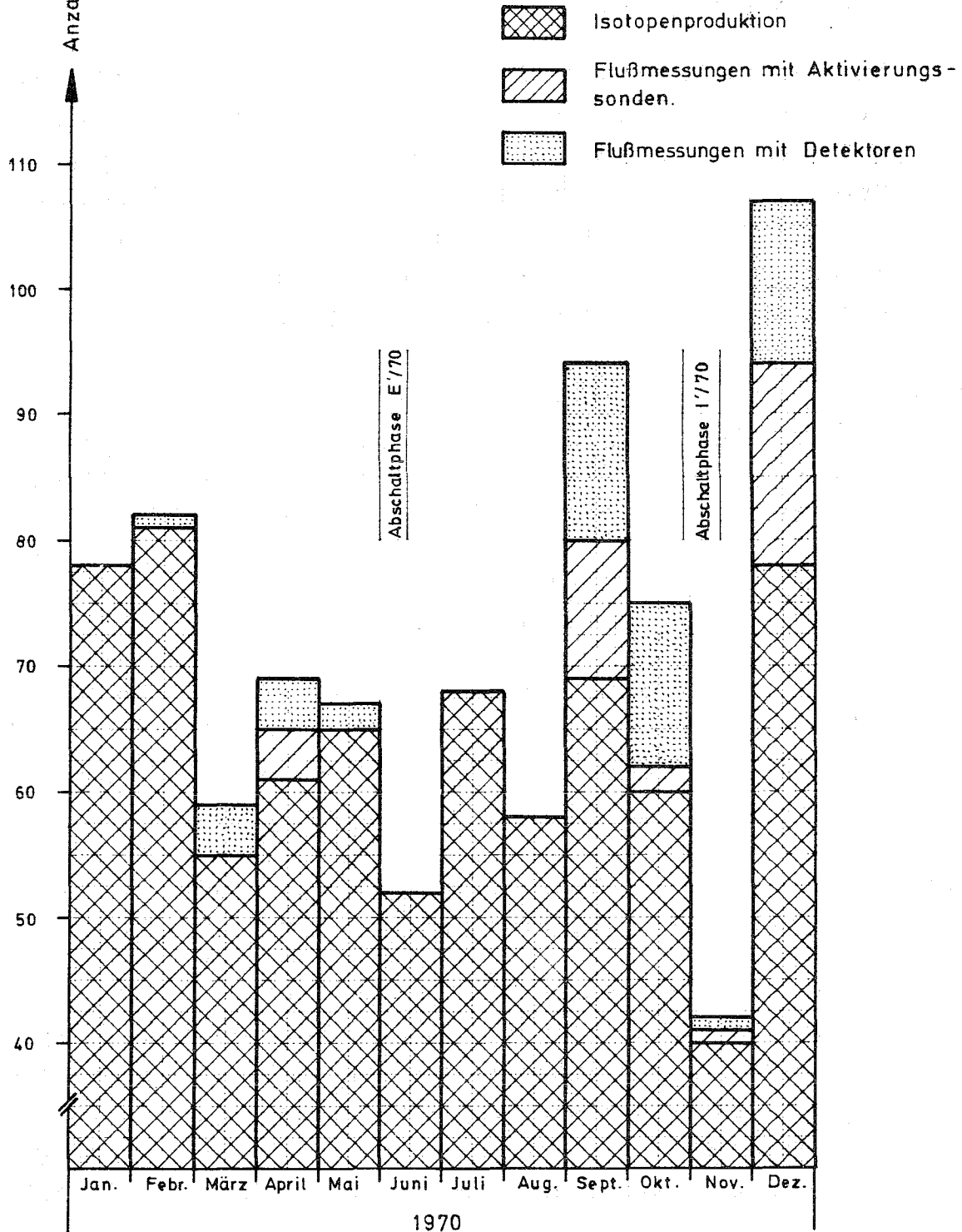


Abb. 3.2

Die im Jahre 1970 durchgeführten Bestrahlungen teilen sich wie folgt auf:

Rund 47 % für auswärtige Auftraggeber (35 % Proj. FR2/1, 10 % Proj. FR2/44 und 2 % Proj. FR2/38).

Rund 53 % für Institute und Abteilungen der GfK (19 % Proj. FR2/1, 30 % Proj. FR2/44 und 4 % Proj. FR2/38).

Die radioaktiven Isotope wurden u.a. gebraucht zur Darstellung von Radionukliden, für Quellen und Eichstrahler, Aktivierungsanalysen, Flußdichtemessungen, Nuklearpharmazie, Materialprüfungen, Diffusionsuntersuchungen, Kernspektroskopie, Mößbauereffektmessungen. Nicht unwichtig ist die Anwendung von radioaktiven Isotopen in der Tumor-Therapie sowie für medizinische Untersuchungen.

- 3.1.1 Im Rahmen von Proj. FR2/1 standen im Jahre 1970 13 Bestrahlungsmöglichkeiten auf Zwischengitterpositionen mit je 29 Kapselpositionen zur Verfügung. Es galt der Beladeplan Iso 10 (siehe Anhang).

Im Berichtszeitraum wurden 286 Beladungen durchgeführt und 765 Kapseln mit Bestrahlungsmaterial ausgeliefert.

Zur Ermittlung der Flußverhältnisse wurden zusätzlich 86 Beladeoperationen durchgeführt. Die Abb. 3.2 zeigt die Ausnutzung dieser Bestrahlungseinrichtung im Jahre 1970.

- 3.1.1.1 Aufschmelzen einer Quarzampulle in einer Isotopenkanal-Bestrahlungskapsel auf Position 41/15.

Am 23.3.1970 wurde bei einem planmäßigen Wechsel der Iso-Position 41/15 ein Klemmen der Kapsel auf Kapselträgerrohr-Position 14 festgestellt. Die Umladung mit der Iso-Wechselmaschine wurde sofort unterbrochen und die notwendigen Vorbereitungen zu einer Entladung des Kapselträgerrohres in der Heißen Zelle des FR2 getroffen.

Die beiden oben genannten Kapseln enthielten beide 0,9 g Lithiumsilizid (Li_2Si) als festes grobes Pulver. Sie waren am 24.2.1970 in den Reaktor gekommen und sollten am 3.4.1970 ausgebaut werden. Da Li_2Si bei uns noch nicht bestrahlt worden war, war es auch noch nicht in der Bestrahlungskartei enthalten. Deshalb erfolgte vor der Bestrahlung eine Begutachtung (Sicherheitsbetrachtung) unter chemischen, wärmetechnischen und strahlenschutzmäßigen Gesichtspunkten durch entsprechend qualifizierte Sachbearbeiter.

Folgende Bedingungen für die Bestrahlung wurden aufgestellt:

Trocknung der Probe, Bestrahlung in einer abgeschmolzenen Quarzampulle, sorgfältige wärmeleitende Verpackung innerhalb der Iso-Aluminiumkapsel.

Die Entladung in der Heißen Zelle des FR2 brachte keine größeren Schwierigkeiten. Die Kapseln wurden in einem Transportbehälter in eine Heiße Zelle des Iso-Labors gebracht. Die Deckel der beiden Kapseln wurden dort mit der Rollmaschine abgeschnitten. Beim Ausschütten des Inhalts wurde festgestellt, daß beide Quarzampullen aufgeschmolzen waren. Der untere Teil der Iso-Kapseln war sehr leicht verformbar - offensichtlich durch die hohe Temperatur! Anlauffarben konnten ebenfalls festgestellt werden. Siehe Abb. 3.3.

Das Iso-Labor hatte die abgeschmolzene Quarzampulle ordnungsgemäß in Graphit-Pulver eingebettet und ein-vibriert. Allerdings hatte man um die Quarzampulle Aluminiumfolie gelegt. Diese Alu-Folie hatte als Isolierung gewirkt, so daß es zu einem Aufschmelzen der Quarzampulle gekommen war.

Es wurde nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Bestrahlungsproben mit hoher Wärmebelastung nicht in Alu-Folie eingewickelt werden dürfen. Außerdem wurde die Sicherheitsbetrachtung für Li_2Si als Grundlage für die Bestrahlungskartei nochmals überprüft und erweitert.

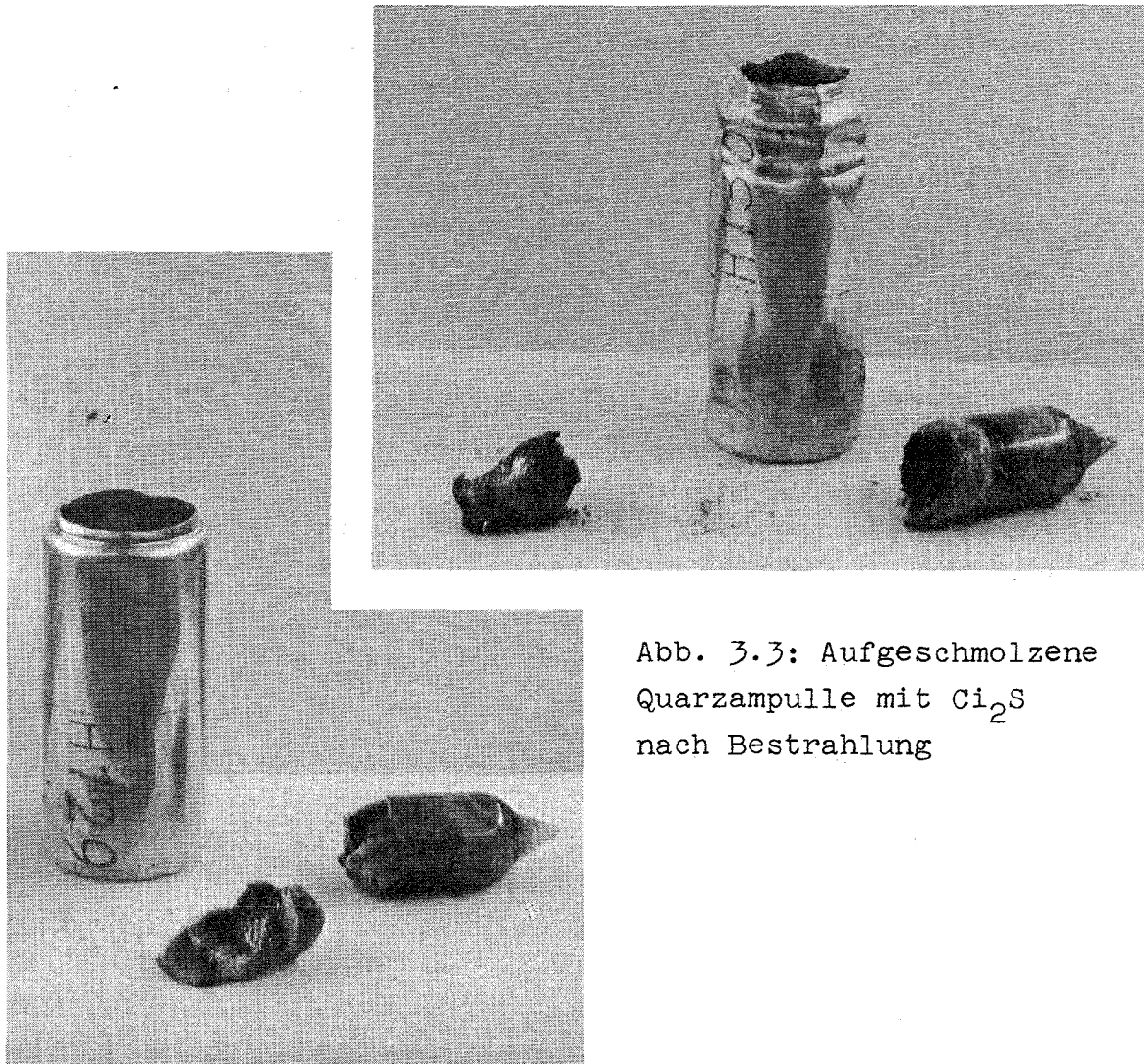
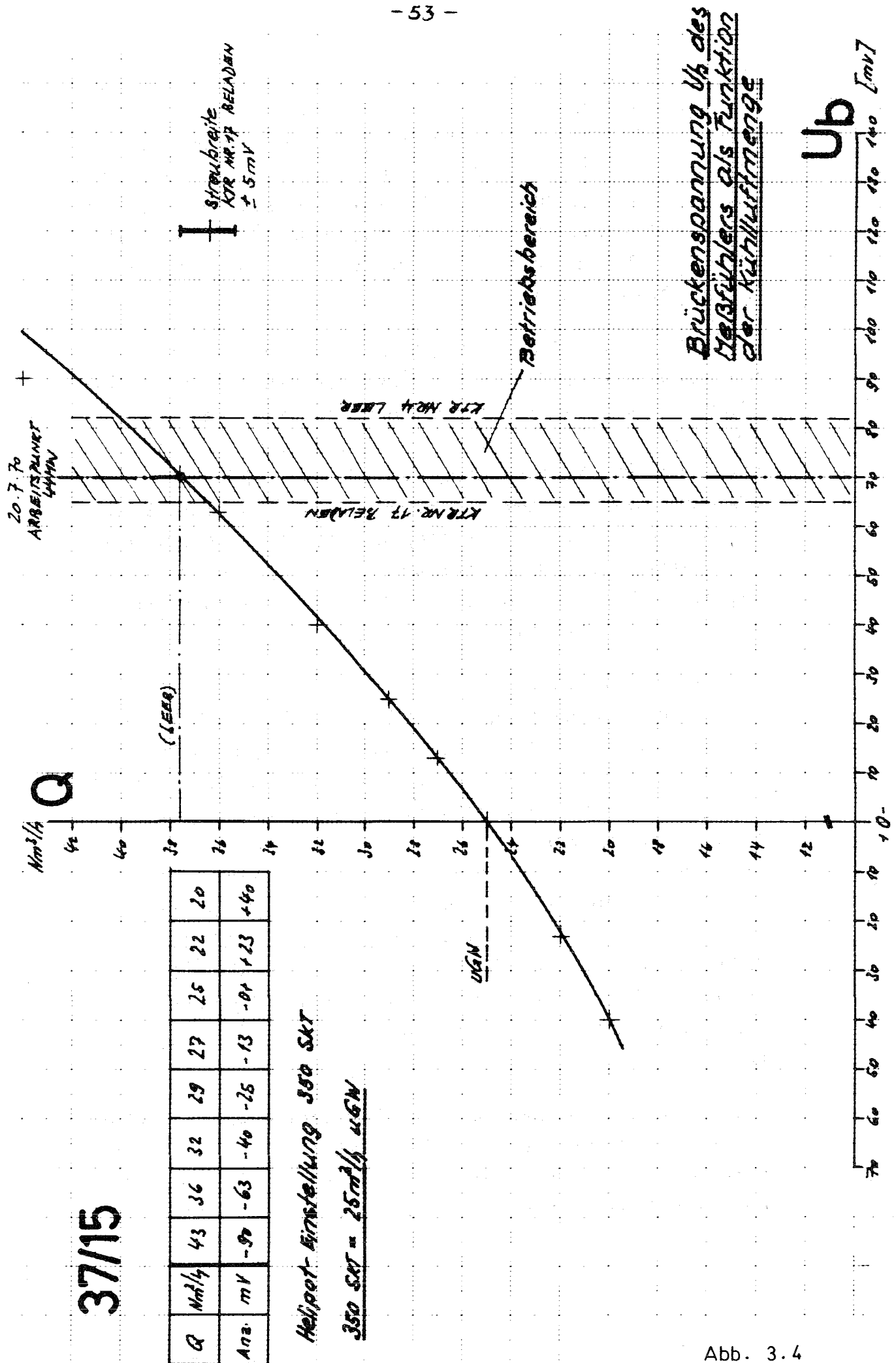


Abb. 3.3: Aufgeschmolzene
Quarzampulle mit Cl_2S
nach Bestrahlung

3.1.1.2 Kühlluftmengenmessungen in den Isotopenkanälen des FR2

Der Kühlluftstrom wird für jeden Isotopenkanal getrennt durch die Meßstellen 4Q1 bis 4Q18 überwacht. Bei Abnahme bzw. Ausfall der Kühlluft wird durch einen unteren Grenzwert der zeitverzögerte Reaktorschnellschluß über den Abschaltzweig des Sicherheitssystems ausgelöst. Die genaue Kenntnis der Kühlluftmenge eines jeden Isotopenkanals ist Voraussetzung für die individuelle Einstellung der unteren Grenzwerte für den Kühlluftausfall und damit für die optimale Nutzung als Bestrahlungseinrichtung.



37/15

Abb. 3.4

Da die Zuluft- und Abluftleitungen für die Kühlluft im oberen Festdeckel in drei Zweige aufgeteilt sind, die wiederum in drei verschiedenen Höhen des oberen Festdeckels verlegt sind, ergibt sich durch die unterschiedlichen Leitungslängen und Leitungsführungen der Zuluft- und Abluftleitungen für jeden einzelnen Isotopenkanal eine andere Durchflußmenge der Kühlluft, die bisher nicht genau bekannt war.

Durch den durch RB/E durchgeführten Umbau der Kühlluft-Überwachungseinrichtung auf transistorisierte Grenzwert-Einheiten mit einstellbarer Schaltschwelle und durch den Einsatz eines verbesserten Meßfühlers, bestehend aus einer Brückenschaltung mit beheiztem Doppelwiderstandselement zur Durchflußüberwachung und einem Einfach-Element zur Kompensation der Temperatureinflüsse (Erwärmung des D_2O bei Leistungsbetrieb), wurde die Empfindlichkeit und damit die Durchflußmeßgenauigkeit der Kühlluft wesentlich verbessert.

Mit der Meßeinrichtung in der alten Ausführung (kriechender Schalterpunkt eines polarisierten Brückenrelais) wurden im Jahre 1963 Kühlluftmengenmessungen mit einem geeichten Widerstandsthermometer durchgeführt. Wie die jetzigen Messungen mit einem Iso-Meßstopfen gezeigt haben, waren bereits die damaligen Messungen relativ genau. Die bisherige Einstellung des Grenzwertes für den Kühlluftausfall wurde jedoch pauschal über die Reduzierung des Differenzdruckes (Meßstelle 4P1) für alle in Betrieb befindlichen Iso-Kanäle vorgenommen. Damit wurde der unterschiedlichen Kühlluftmenge in den einzelnen Iso-Kanälen nicht Rechnung getragen.

Deshalb wurde von RB/M ein Iso-Meßstopfen ähnlich einem Kapselträgerrohr konstruiert und gebaut, mit dem über eine Meßstrecke (Rotameter und Regulierventil) die Abhängigkeit der Brückenspannung, die der neue Meßfühler

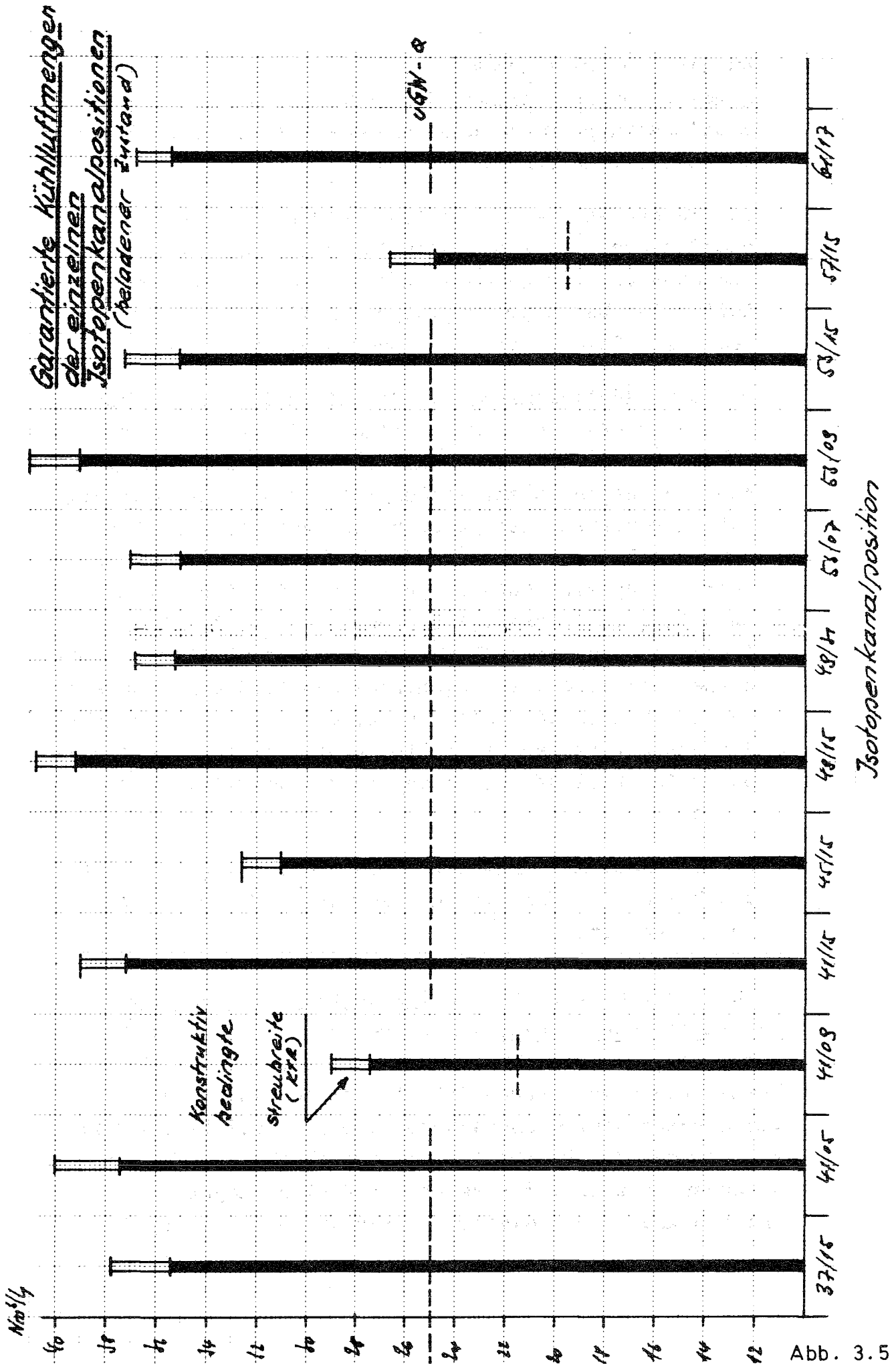


Abb. 3.5

an die Grenzwert-Einheit abgibt, vom Kühlluftstrom gemessen werden konnte. Die Messungen wurden von der Betriebsgruppe Mitte des Jahres bei abgeschaltetem Reaktor durchgeführt.

Zur Mengenmessung der Kühlluft wurde der Iso-Meßstopfen anstelle eines Kapselträgerrohres in eine Isotopenkanal-Position eingesetzt und mit Zu- und Abluftschläuchen über Kupplungen an die Meßstrecke (Rotameter mit Regulierventil) angeschlossen.

Die max. Kühlluftmenge für die 13 in Betrieb befindlichen Iso-Kanäle wurde bestimmt. Mit der Aufnahme der Kennlinie, die die Abhängigkeit der Brückenspannung vom Kühlluftdurchsatz wiedergibt, wurde eine Möglichkeit geschaffen, den unteren Grenzwert für den Kühlluftausfall ohne großen Aufwand über das Helipot der Überwachungseinrichtung den Gegebenheiten einer Bestrahlung anzupassen. Eine Kennlinie zeigt Abb. 3.4. Außerdem wurde eine Abgrenzung der Streubreiten vorgenommen und daraus ein Sicherheitsabstand zum Grenzwert für den Kühlluftausfall festgelegt. Die Abb. 3.5 gibt die Auswertung der wesentlichen Meßwerte als Ausgangsbasis für Kühlluftbetrachtungen von Bestrahlungen wieder.

Bei Bestrahlungen mit sehr hoher Wärmebelastung dürfen die beiden Iso-Positionen 41/09 und 57/15 nicht verwendet werden.

- 3.1.2 Im Rahmen von Proj. FR2/38 (Kleinprobenbestrahlungen in der Thermischen Säule) werden vor allem solche Proben bestrahlt, die einen niedrigen zeitintegrierten Fluß beanspruchen oder deren Aktivierung in einem rein thermischen Neutronenspektrum erfolgen soll bzw. deren Abmessungen die Bestrahlung in anderen Kanälen nicht zulassen: Die Abb. 3.6 zeigt die Bestrahlungszeiten und die Ausnutzung dieser Bestrahlungseinrichtung im

Jahre 1970. Es wurden 81 Bestrahlungen in verschiedenen Kanälen der Thermischen Säule durchgeführt. Die Bestrahlungszeiten lagen zwischen 1 Minute und 191 Stunden. Irgendwelche Betriebsstörungen traten nicht auf.

Es ist zu beachten, daß die Zahl der Be- und Entladungen nicht gleich der Zahl der bestrahlten Proben ist, da in einer Kapsel zum Teil auch mehrere Bestrahlungsproben enthalten sein können. Das gilt auch für Iso- und Rohrpostbestrahlungen.

Bestrahlungen in der Therm. Säule

(Proj. FR 2/38)

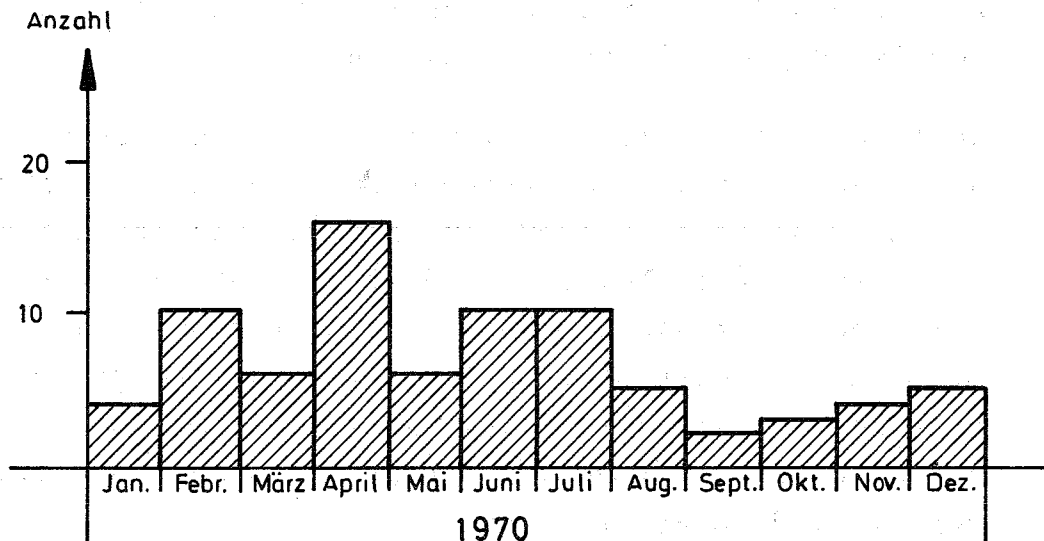


Abb. 3.6

3.1.3 In der Isotopenrohrpostanlage (Proj. FR2/44) wurden insgesamt 775 Bestrahlungsfahrten mit einer Gesamtbestrahlungszeit von rd. 980 h durchgeführt. Die Bestrahlungszeiten lagen zwischen 1 s und 59 h. Siehe Abb. 3.7.

3.1.3.1 Am 13.3.1970 wurde um 13.57 Uhr eine Rohrpostkapsel mit einer Probe für eine Bestrahlungszeit von 10 min in den Reaktor eingeschossen. Die Bestrahlung mußte nach 6 min wegen Aktivitätsanstiegs der Meßstellen 4A45, 4A7 und Sicherheitssystem Kanal 10 abgebrochen werden.

Bei der Überprüfung der Probe wurde als Grund des Aktivitätsanstieges gefunden, daß die Spitze der mit 100 µg U-235 in HNO₃ gefüllten Quarzampulle abgebrochen war.

3.1.3.2 Das Projekt verursachte am 23.3.1970 eine Reaktorabschaltung über die Meßstelle 44 P-Q2 (Kühlluftmenge zu gering). Bei der Einfahrt einer Rohrpostkapsel mit einer Probe zerbrach die Kapsel in 2 Teile und löste 1 min nach Einfahrt infolge Kühlluftverminderung Reaktorschnellschluß aus. Alle Teile (2 Quarzampullen, Al-Folie und Polierwatte) konnten in Raum R108 aus der Rohrleitung der Rohrpostanlage geborgen werden.

3.1.3.3 Wegen der in den letzten Jahren ab und zu beobachteten Ribbildung bei Rohrpostkapseln des Typs h aus Resinol V 109 wurde am 15.9.1970 eine Besprechung bei dem Herstellerwerk (Fa. Mellert in Bretten) durchgeführt. Mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit ist die Ribbildung bei den Rohrpostkapseln auf das Einspannen zum Gewindeschneiden als letztem Arbeitsgang vor der Auslieferung zurückzuführen. Es wurden einige Maßnahmen zur Vermeidung der Ribbildung abgesprochen.

3.1.3.4 Im zweiten Halbjahr 1970 fuhren mehrere Rohrpostkapseln nicht bis in die Bestrahlungsposition ein. Dieser Fehler trat mit der Zeit immer häufiger auf, so daß

Bestrahlungen in der Rohrpostanlage

(Kurzzeitbestrahlungen / Proj. FR 2/44)

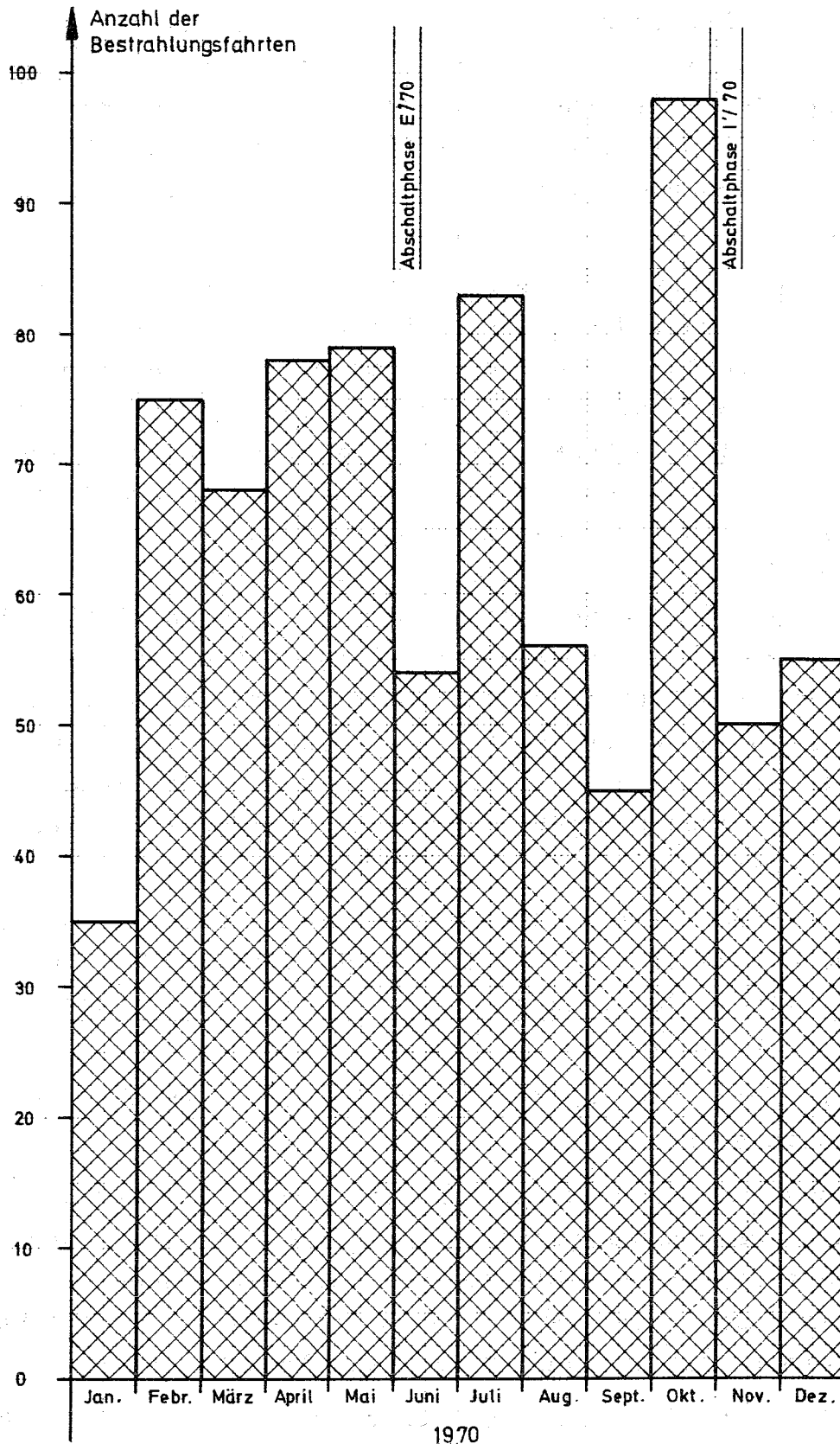


Abb. 3.7

am Ende des Jahres jede zehnte Kapsel nicht bis zu der gewollten Position gelangte. In der 51. Woche wurden verschiedene Untersuchungen angestellt, um die Ursache dieser Störung zu ergründen:

Um die Stelle zu bestimmen, an der die Kapseln hängen blieben, wurde die Anlage so lange betrieben, bis eine Kapsel die Bestrahlungsposition nicht erreichte. Nach der Demontage des an den biologischen Schirm anschließenden Fahrrohres konnte die Kapsel von unten her gesehen werden.

Bei der näheren Untersuchung mit Endoskop stellte sich heraus, daß im Bereich des Einfahrbogens im Abschirmstopfen (Ostseite Reaktorblock) das 3,5 mm dicke Fahrrohr aus Al 99,5 vollständig durchgeschliffen war. Das Loch begann ca. 200 mm oberhalb der Trennfuge zwischen Fahrrohr im biologischen Schirm und Fahrrohr im Stopfen. Die Beschädigung umfaßte sicherlich $1/4$ des Umfangs des Fahrrohres, mußte aber noch kleiner als die Hälfte des Umfanges sein, da noch nicht alle Kapseln hängen blieben. Die Länge des Loches mußte bereits der Länge einer Rohrpostkapsel entsprechen oder sogar größer sein, da ein größerer Luftdurchsatz in der Anlage (ca. 20 % mehr) gemessen wurde, wenn eine Kapsel hängen blieb - nur durch Querschnittsvergrößerung zu erklären.

Es wurden verschiedene Reparaturmaßnahmen diskutiert. Wegen des erheblichen Arbeitsaufwandes zur Vorbereitung der Instandsetzung wurde der Betrieb der Anlage aufrecht erhalten.

Als Kriterium für das Einstellen des Betriebes wurde vorgesehen:

Kapseln fahren nur noch nach mehrmaligen Versuchen in die Bestrahlungsposition ein (~ 50 % bleiben stecken) oder Kapseln bleiben bei der Ausfahrt hängen oder der Anfall von Graphit und Bohrkamid in den Absaugkammern und Empfängern wird unerträglich stark.

Die Instandsetzung des Fahrrohres erfolgte nicht im Berichtszeitraum.

3.2 Strahlrohrexperimente und Thermische Säule

Der FR2 besitzt 16 Strahlrohrausgänge. 7 Strahlrohrausgänge enden im Reflektorbereich des Reaktors (R1 - R7), 3 Strahlrohre führen - um jeweils 90° versetzt - bis in Reaktormitte (C1 - C3). Ferner sind 3 durchgehende Strahlrohrkanäle vorhanden, die damit 6 Ausgänge besitzen. Zwei dieser Strahlrohrkanäle führen nahe am Reaktorzentrum vorbei (D1 und D2), ein Kanal tangiert den Reaktor (T).

Von den durch die Reaktormitte gehenden Kanälen ist einer mit einer pneumatischen Bestrahlungs-Einrichtung ausgerüstet (D1), der andere (D2) und der tangentielle Strahlrohrkanal (T) werden zu Strahlrohrexperimenten genutzt. Sie haben zur Neutronenintensitätserhöhung in der Mitte der Kanäle eine Graphitstreuprobe.

Einen Überblick über die Anordnung der Strahlrohre gibt die Abb.3.8.

Von den verfügbaren Strahlrohrausgängen (einschl. Thermische Säule) waren bis zu 13 Kanäle mit bis zu 17 Experimenten besetzt. Damit sind alle nutzbaren Strahlrohrausgänge belegt. Einige Strahlrohrkanäle wurden mehrfach genutzt. So waren vor dem Strahlrohrkanal R5 drei Experimente (Proj. FR2-14, 32 und 78) aufgebaut. Der Strahlrohrkanal T_{ost} war mit zwei hintereinanderliegenden Experimenten (Proj. FR2-22 und 71) belegt. Der Strahlrohrkanal R7 mit Proj. FR2-7 besitzt einen Stopfen mit zweifacher Strahlführung, der die Abnahme von zwei getrennten Neutronenstrahlen für die beiden vor dem Kanal aufgebauten Versuchsanordnungen gestattet.

Zwei Strahlrohrausgänge können nicht ausgenutzt werden. Kanal C1 enthält einen Dichtstopfen, da im Herbst 1967 an dieser Stelle der Reaktortank durch einen Fehler in der Schweißnaht undicht wurde. Der Ausgang von Kanal D2_{west} liegt zu nahe am Ausgang von Kanal C2, so daß auch hier eine Nutzung nicht möglich ist.

*Strahlrohrexperimente am
Forschungsreaktor FR 2*

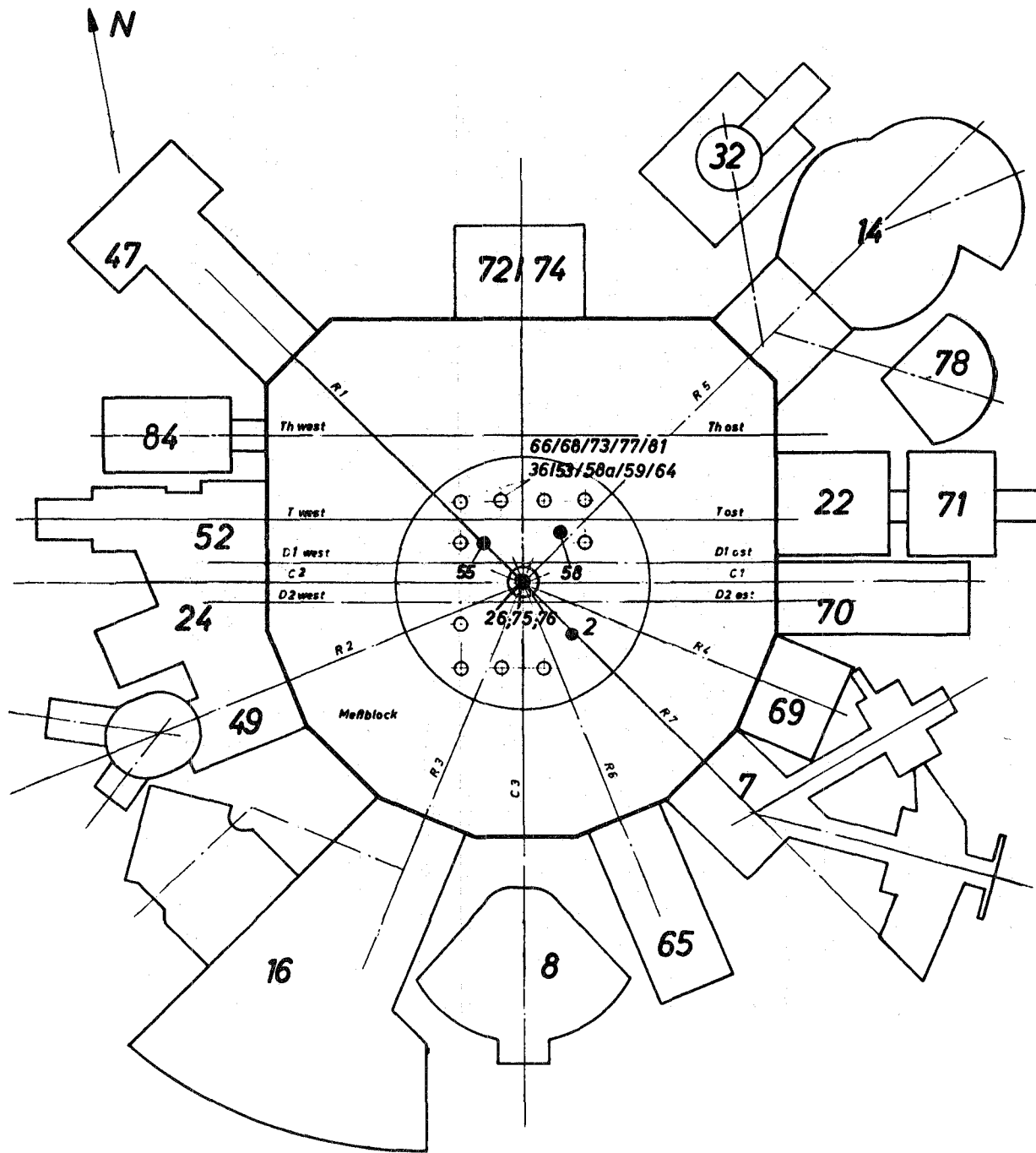


Abb. 3.8

Etwa 85 % der genutzten Strahlrohre waren von internen Benutzern (IAK, INR, IEKP, RB) belegt, während die Nutzung durch externe Experimentatoren (TH-Darmstadt, Uni Frankfurt, Uni Tübingen, 1.Phys.Inst.Heidelberg) etwa 15 % betrug.

Die Mehrheit der Strahlrohrexperimente dient der Grundlagenforschung, deren Hauptziele die Darstellung der Atomstruktur über Neutronenbeugung und die Bestimmung von Kerndaten über Neutronenreaktionen sind. Ein Experiment zur Spaltstoffflußkontrolle ist besonders anwendungsorientiert.

Zur Erfassung, Bearbeitung und Speicherung der Meßdaten können bis zu 8 unabhängig voneinander arbeitende Strahlrohrexperimente auf das Doppelrechnersystem MIDAS in der Reaktorhalle des FR2 aufgeschaltet werden. Die Steuerung und Kontrolle des Meßbetriebes durch die Experimentatoren erfolgt über Befehlsgeber und Sichtgeräte in den Kontrollstationen an den Meßplätzen der aufgeschalteten Strahlrohrexperimente. Die übermittelten Meßdaten werden von der MIDAS-Anlage schritt haltend erfaßt und bearbeitet. Dadurch stehen die Auswertungsergebnisse innerhalb kurzer Zeit zur Verfügung und werden den Experimentatoren über die Sichtgeräte unmittelbar zugänglich gemacht, so daß der Ablauf der Messungen jederzeit kontrollierbar ist. Die Meßergebnisse werden zur Archivierung oder für eine spätere Auswertung auf Magnetband gespeichert. Siehe auch [16].

Die Experimentierzeiten an den Strahlrohrkanälen waren sehr unterschiedlich. Ursachen hierfür waren im wesentlichen Unterbrechungen der Messungen wegen Auswertung der Ergebnisse und größere Um- und Aufbauarbeiten, besonders an den Experimenten Proj. FR2-24, 74, 78 und 84, die anschließend zum Teil umfangreiche Testmessungen nötig machten.

Zu der Abwicklung des Experimentierbetriebes und bei Auf-, Ab- und Umbauarbeiten an diesen Anlagen trug RB durch verschiedene Dienstleistungen bei.

Einzelheiten über die Strahlrohrbelegung sowie die Nutzung der Strahlrohre können der Tabelle 3.2 entnommen werden. Die Nutzung der Strahlrohre in Tabelle 3.2 bezieht sich auf Leistungsbetrieb $N > 10^{-3} N_N$ für die Dauer des Betriebes der Experimente.

Tabelle 3.2: Strahlrohrbelegung im Jahre 1970

Strahlrohr	Projekt FRZ/	Belegung		Strahlenschieber offen [d.]	rel. Nutzung bez. auf Leist. Betr. $N > 10^{-3} N_N$ [%]	Experiment	Experimentator	Zielsetzung des Experiments Bemerkungen
		Anfang 1970	Ende 1970					
C1	-	-	-	0	0	nicht nutzbar	-	ehemaliges Coretankleck, mit Dichtstopfen verschlossen
C2	24	x	x	0	0	Winkelkorrelations-Spektrometer außer Betrieb	IAK	Bestimmung von Kernspins durch die Winkelabhängigkeit der in Kaskaden ausgesandten γ -Quanten. Kein Experimentierbetrieb wegen Arbeiten am Rohrpost-Stoßdämpfer und Umbau des Experiments.
C3	8	x	x	161	56,8	Einkristallspektrometer	IAK	Erzeugung monoenergetischer Neutronen zur Bestimmung von partiellen Wirkungsquerschnitten und Kernniveaus.
R1	47	x	bis 51.Wo.	163	59,8	Einfangpolarimeter	IEKP	Bestrahlung von Proben mit polarisierten Neutronen und anschließender Messung der Zirkularpolarisation der entstehenden Einfang- γ -Strahlung, deren Polarisationsgrad über den Drehimpuls des Kernzustandes Aufschluß gibt.
R2	49	x	x	273	96,2	Neutronenbeugungsanlage III	TH-Darmstadt	Festkörperphysikalische Untersuchungen an Einkristallen und nicht als Einkristall vorliegenden Festkörpern mittels monochromatischer Neutronenstrahlen.
R3	16	x	x	224	79,0	Kalte Neutronenquelle	IAK, 1.Phys.Inst. Heidelberg, RB	Messung der Wirkungsquerschnitte und Bestimmung der Energiezustände von Festkörpern und Flüssigkeiten mittels subthermischer Neutronen.
R4	69	x	x	82	28,9	Mehrparameterexperiment	IAK	Messung von Elektronen an primären Spaltkomponenten in der Zeit von 10^{-9} s nach der Spaltung.
R5	14/32	x	x	238	83,9	Neutronenbeugungsanlage I und II	Uni Tübingen	Untersuchung der Atomanordnung in kristallinen und quaskristallinen Substanzen
	78	ab 12.Wo.	x	0	0	Neutronenbeugungsanlage IV	Uni Frankfurt	Eich- und Testmessungen nach Aufbau der Anlage, Zielsetzung: Messung des Debye-Waller-Koeffizienten von Alkali-Halogeniden mit CaCl-Struktur als Funktion der Temperatur
R6	65	x	bis 44.Wo.	0	0	Heiße Neutronenquelle außer Betrieb	IAK	Neutronenintensitätserhöhung im Energiebereich von ca. 200 MeV für Streuexperimente. Nach Versuchsmessungen wurde Betrieb wegen Einbau einer MQ in Grenoble eingestellt.
R7	7	x	x	204	71,9	Drehkristallspektrometer Flugzeitspektrometer	IAK	Bestimmung von Energiezuständen in Atomverbänden über die inelastische Streuung gepulster thermischer Neutronen.
D1	44	-	-	-	-			siehe Rohrpostanlage
D ₂ ost	70	x	x	232	81,8	Spaltstoffflußkontrolle	IAK	Messung der Spektren der verzögerten γ -Strahlung und der prompten Einfang- γ -Strahlung nach (n, γ)- und (n, γ)-Reaktionen spaltbarer Nuklide zur zerstörungsfreien Spaltstoffflußkontrolle.
D ₂ west	-	-	-	0	0	nicht nutzbar		
Tost	22/71	x	x	70	24,7	Fünfkristall-Paarspektrometer	IAK	Untersuchung hochenergetischer γ -Spektren nach Einfang thermischer Neutronen in Atomkernen durch (n, γ)-Reaktionen.
Twest	52	x	x	18	6,3	Neutroneneinfangexperiment	IAK	Untersuchung von Kernstruktur und Anregungszuständen von Kernen durch Messung der prompten γ -Strahlung bei der Spaltung. Mehrere Bestrahlungspausen wegen Auswertung und Neukonzeption der Meßprogramme.
S0 Th-Säule	72	x	bis 15.Wo.	0	0	Mißbauerexperiment außer Betrieb	IAK	Bestimmung magnetischer Felder, elektr. Feldgradienten und Ladungsdichten am Kernort, Bestimmung von Kernmomenten und Kernradiusänderungen. Experimentierbetrieb wurde eingestellt, da Untergrund bei Messung zu hoch.
	74	ab 47.Wo.	x	25	62,1	Uranbleckexperiment	INR	Messung an inelastischen Streuquerschnitten an U238.
Thwest	84	ab 29.Wo.	x	90	69,4	Neutronenmeßplatz	INR	Messung der prompten Spaltneutronenspektren von U235, Pu239 und Cf252.
Gesamt:	17	13	13					

3.3 Kapselexperimente

Am FR2 werden vier Gruppen von Kapselexperimenten betrieben:

Abbrandbestrahlungen von Brennstoffprüflingen im Rahmen des Projektes Schneller Brüter,

andere grundlegende Kernbrennstoff-Bestrahlungsversuche (diese sind im folgenden weiter untergliedert),

Bestrahlungen von thermionischen Emittern und Dioden,

Radiolyseversuche und Untersuchungen zur Spannungsrißkorrosion.

Bei den Abbrandbestrahlungen kamen bisher in vier Versuchsgruppen rund 60 KVE mit Abbränden über 90 MWd/kg Uran und Bestrahlungszeiten von 22 Reaktorzyklen zum Einsatz. Die einzelnen KVE enthielten zwischen 2 und 4 Prüflingen. Als Brennstoff wurde UO_2 und UO_2/Pu_2 verwendet. Die ersten Brennstoffprüflinge wurden in reinen PbBi-Kapseln und die weiteren in kombinierten NaK/PbBi-Kapseln bestrahlt.

Neben dem Parameter 'Abbrand' wurden folgende weitere Parameter variiert:

Stableistung, Hüllwerkstoff, Brennstoffdichte, Brennstoffform (Pellets, vibriert, gesintert, geschmolzen) und schließlich Beimengungen zum Brennstoff wie z.B. Cer-Oxid oder Molybdän.

Daneben lief die Bestrahlung einiger UO_2 - bzw. PuO_2 -Prüflinge als Vorbestrahlung für den späteren Einsatz im Heißdampfkontaminationsprüfkreislauf.

Tabelle 3.3: Einteilung der Kapselversuchseinsätze						
Proj. Nr.	Anzahl KVE	Versuchsgruppe	Kapsel Typ	Kapselbauart	Brennstoff	Versuchsaufgabe
FR2/36	2	3-4aII	4	Na/Pb Bi	UO ₂ , UO ₂ -CeO ₂	Abbrandbestrahlung
	7	4b	4a	NaK/Pb Bi	UO ₂ -PuO ₂	Abbrandbestrahlung
	4	4c	4a	NaK/Pb Bi	UO ₂ -PuO ₂	Abbrandbestrahlung
	6	5b(FR3)	4	NaK/Pb Bi	UO ₂ -PuO ₂	Abbrandbestrahlung
FR2/55a	2	DK	4a	NaK/Pb Bi	UO ₂ , UO ₂ -PuO ₂	Dampf-Kontaminationsvorbestrahlung
FR2/68	2	IMF, D	5a	NaK/Pb Bi	UO ₂ -Cr-Cermets	Cermet-Bestrahlung
	2	IMF, F, G	5a	NaK/Pb Bi	UO ₂ -V-Cermets	Cermet-Bestrahlung
FR2/73b	3	IMF, B	D/6a	NaK/He-Spalt	UO ₂ , UN, UO ₂ -PuO ₂	Kriechkapselbestrahlung (qualitativ)
	1	IMF	D/4b	NaK/Pb Bi	UO ₂ , UN, UC ₂ , PuO ₂	Kriechkapselbestrahlung (qualitativ)
FR2/73d	4	IMF, E	8	NaK/He, Na/Ne (NaK/Ne)	UO ₂ , UN, UC ₂ (UO ₂ -PuO ₂) ²⁻	Kriechkapselbestrahlung (quantitativ) mit Wegaufnehmern
FR2/77	2	IMF	6	Mo/He-Spalt	UN (UO ₂)	Hochtemperaturbestrahlung
FR2/80	3	IMF, 5a	4a	NaK/Pb Bi	UO ₂ -PuO ₂	Integrierter Dichteversuch

Einen Überblick über die Core-Beladung mit Kapselversuchseinsätzen bringt Tabelle 3.4.

Zu den grundlegenden Kernbrennstoffbestrahlungsversuchen zählen:

Bestrahlung von UN-UC-Kapseln zum Studium der Verträglichkeit zwischen Brennstoff und Hüllwerkstoff,

Bestrahlung von UO_2 -Cr/Mo/V-Cermets zur Entwicklung von Hochleistungsbrennstäben. Als Hüllwerkstoffe kommen hierbei Niob, Incoloy, Inconel, Hasteloy und Vanadin zum Einsatz.

Bestrahlung von Kriechkapseln zur qualitativen und quantitativen Bestimmung des Kriechverhaltens keramischer Brennstoffe. Bei den quantitativen Versuchen kommen elektromagnetische Wegaufnehmer und Messungen der Brennstoffzentraltemperatur zur Anwendung.

Bestrahlung von UN in Hochtemperatur-Kapseln aus Molybdän mit kalibriertem Heliumspalt.

Bestrahlung von UO_2/PuO_2 -Pellets in kombinierten NaK/Pb-Bi-Kapseln in einem integrierten Dichteversuch. Er soll die Abhängigkeit des Bestrahlungsverhaltens eines oxidischen Schnellbrüterbrennstoffes von der Dichte in eindeutiger Weise ermitteln.

Nachstehend sollen hier nur die Brennstoffkapseln behandelt werden. Die anderen beiden Gruppen werden wegen der Übersichtlichkeit später in getrennten Kapiteln behandelt.

Die Anzahl der Kapselversuchseinsätze (KVE) änderte sich gegenüber dem Jahre 1969 nicht mehr wesentlich, da von den in Frage kommenden Reaktorpositionen nur eine begrenzte Anzahl zur Verfügung standen. Bei Jahresbeginn befanden sich 19 KVE, am Jahresende 20 KVE und zeitweise sogar 21 KVE gleichzeitig im Reaktor. Eine Aufstellung der Projektzugehörigkeit sowie der Versuchsaufgabe zeigt Tabelle 3.3.

Veränderungen von Phase zu Phase sowie die Anteile der einzelnen Projekte am Bestrahlungsprogramm veranschaulicht Abb. 3.9.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Fakten aller Zugänge und Abgänge von Kapselversuchseinsätzen findet sich in Tabelle 3.5. Weitere Einzelheiten können den im Anhang beigefügten Beladungs- und Belegungsplänen entnommen werden.

Entsprechend den unterschiedlichen Versuchsaufgaben bewegten sich die spezifischen Stableistungen der Prüflinge in den Bereichen 250 - 300, 500 - 770 und bis 1000 W/cm. Die Hüllwandtemperaturen lagen in Bereichen bis 600 °C, bis 750 °C und über 1000 °C. Ein am 15.7.70 ausgebauter Einsatz hatte den bislang höchsten Abbrand aller im FR2 bestrahlten Versuchseinsätze mit ca. 91.500 MWd/t_{met} erreicht.

Alle KVE, ausgenommen die Kapseltypen D/4b und 8 (beide mit geringen Stableistungen), waren in 2v3-Überwachung der oberen und unteren Grenzwerte auf das Reaktor-Sicherheitssystem geschaltet.

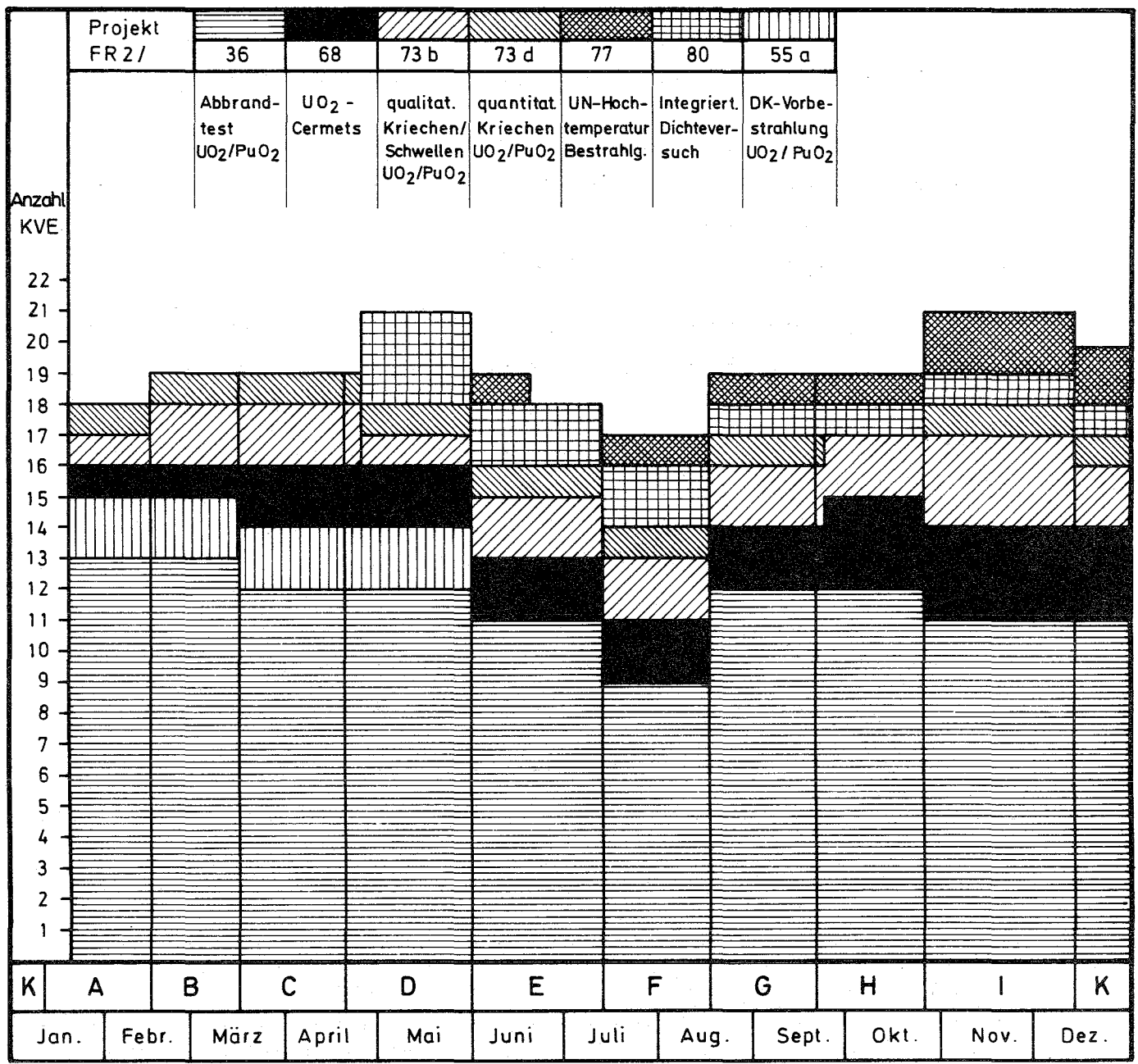
Die von den Kapselversuchseinsätzen ausgegangenen Störungen auf den Reaktorbetrieb können aus der Tabelle 3.6 entnommen werden.

Tabelle 3.6: Störungen des Reaktorbetriebs verursacht durch Kapselversuchseinsätze			
Betr.-Phase	Tag	Störung	Ursache
A	17.1.70	LB	KVE 67 nach Reaktorstart vorübergehend zu heiß
B	24.2.70	LB	KVE 67 und 69 nach Reaktorstart vorübergehend zu heiß
E	19.6.70	LR	KVE 75 auf Wunsch des Experimentators wegen zu niedriger Temperatur vorübergehend ausgebaut
F	18.7.70	LR	KVE 75 zeigte nach Einbau keinen Durchfluß (Trichterverschlußwechsel)
I	16.11.70	SS	KVE 77: Obere Grenzwerte beim Hochfahren des Reaktors versehentlich überschritten

Siehe auch Tabelle 8.3.

Anmerkung: LB = Leistungsbegrenzung LR = Leistungsrücknahme
 SS = Schnellabschaltung

Einen Überblick über das ganze Jahr gibt die Abb. 2.2 im gesamten Rahmen des Betriebsablaufes des FR2.



Kapselversuchseinsätze im Core 1970

Zeit →

Abb. 3.9

Tabelle 3.5: Zuladungen und Ausladungen von Kapselversuchseinsätzen im Jahre 1970

Betr.-Phase	Zuladungen							Ausladungen										
	Tag	KVE-Nr.	Proj. Nr.	Vers.-gruppe	Kapsel-typ	Anz. Prüfl.	Brennstoff	Tag	KVE-Nr.	Proj. Nr.	Vers.-gruppe	Kapsel-typ	Bestrahlungszeit $N > 10^{-3} N_H$ (d)	Zyk-len	Abbrand Mwd/t _U	Grund		
A								14.01.	66	73d	IMF/E	8	41,0	1,6	18000	planmäßig		
B	19.02.	69	73b	IMF/B	6a	3	UO ₂ -PuO ₂											
C	20.03.	70	73d	IMF/E	8	2	UO ₂	16.03.	61	36	4c	4a	163	6	*)	unplanmäßig (Hüllrohrtest)		
	20.03.	71	68	IMF/D	5a	4	UO ₂ -Cr-Cermets	20.03.	68	73d	IMF/E	8	72,5	3			25000	planmäßig
D	24.04.	72	80	IMF	4a	3	UO ₂ -PuO ₂	24.04.	63	73b	IMF	4b	155,9	6	37000	planmäßig		
	24.04.	73	80	IMF	4a	3	UO ₂ -PuO ₂											
	24.04.	74	80	IMF	4a	3	UO ₂ -PuO ₂											
E	12.06.	61	36	4c	4a	3	UO ₂ -PuO ₂	12.06.	38	36	4a	4	585,5	20	90000	planmäßig		
	12.06.	75	77	IMF	6	1	UN	12.06.	52	55a	DK	4a	280,8	10	46000	unplanmäßig (Wunsch des Experimentators)		
	12.06.	76	73b	IMF/D	6a	2	UN	12.06.	55	36	4b	4a	251,2	9	67000	planmäßig		
								12.06.	59	55a	DK	4a	226,7	8	36000	unplanmäßig (Wunsch des Experimentators)		
	12.06.	72	80	IMF	4a	3	UO ₂ -PuO ₂	12.06.	72	80	IMF	4a	33,8	1	7000	planmäßig		
	19.06.	75	77	IMF	6	2	UN	19.06.	75	77	IMF	6				*)	unplanmäßig (Leistung zu niedrig)	
F	15.07.	75	77	IMF	6	1	UN	13.07.	62	36	4c	4a	219,1	8	*)	unplanmäßig (Hüllentest)		
	15.07.	77	36.3	5b	4	3	UO ₂ -PuO ₂	15.07.	40	36	4a	4	530,0	18			91500	planmäßig
	15.07.	78	73d	IMF/E	8	2	UO ₂	15.07.	48	36	4b	4	431,3	15			63000	planmäßig
								15.07.	70	73d	IMF/E	8	93,2	3			32500	planmäßig
G	18.08.	62	36	4c	4a	3	UO ₂ -PuO ₂	17.08.	56	36	4b	4a	310,2	11	63000	planmäßig		
	18.08.	79	68	IMF/D	5a	4	UO ₂ -V-Cermets	18.08.	73	80	IMF	4a	92,7	3	17000	unplanmäßig (Thermoelemente defekt)		
	19.08.	80	36.3	5b	4	3	UO ₂ -PuO ₂	19.08.	65	68	IMF/D	5a	224,0	8	50000	planmäßig		
	18.08.	81	36.3	5b	4	3	UO ₂ -PuO ₂											
	18.08.	82	36.3	5b	4	3	UO ₂ -PuO ₂											
H	21.09.	83	36.3	5b	4	3	UO ₂ -PuO ₂	21.09.	47	36	4b	4	490,6	17	56500	planmäßig		
	24.09.	84	68	IMF/G	5a	4	UO ₂ -V-Cermets	24.09.	78	37d	IMF/E	8	59,3	2	20000	planmäßig		
I	11.11.	85	73d	IMF/E	8	2	UO ₂	11.11.	67	36	4c	4a	254,7	9	57000	planmäßig		
	11.11.	86	36.3	5b	4	3	UO ₂ -PuO ₂	11.11.	83	36.3	5b	4	29,6	1	12700	planmäßig		
	11.11.	87	73b	IMF/D	6a	2	UN											
	11.11.	88	77	IMF	6	1	UN											
K								16.12.	69	37b	IMF/B	6a	230,5	8	5000	planmäßig		

*) Ausbau erfolgte nur vorübergehend

3.4 Kreislaufexperimente

Die Kreislaufexperimente sind die umfangreichsten Anlagen im FR2. Ihr Betrieb ist entsprechend personalintensiv und unter dem Aspekt der Sicherheit kommt ihnen die größte Bedeutung zu.

Im Berichtszeitraum waren bis zu 5 Kreislaufexperimente einschließlich der Kalten Neutronenquelle in Betrieb. Vier Anlagen besitzen Versuchseinsätze, die sich im Reaktorkern befinden, ein Versuchseinsatz ist in einem Strahlrohrkanal untergebracht.

Die Kreislaufexperimente des FR2:

- | | |
|------------------------------------|--|
| Projekt FR2/2:
(ganzj.) | Tieftemperaturbestrahlungsanlage für das MPI-Stuttgart (Bereich Sondermetalle), |
| Projekt FR2/16:
(ganzj.) | Kalte Neutronenquelle für das IAK und auswärtige Gästegruppen, |
| Projekt FR2/26:
(ganzj.) | He-Druckgaskreislauf zum Studium des 'Anfahrverhaltens' von Brennstoffprüflingen im Rahmen des Projektes Schneller Brüter, |
| Projekt FR2/55:
(bis 22.4.1970) | Hüllschaden-Heißdampfkreislauf für das Projekt Schneller Brüter zur Entwicklung von Spaltprodukt-Präzipitationsmethoden durch das LEM, |
| Projekt FR2/58:
(ab 25.4.1970) | Druckschwerwasserkreislauf zur Bestrahlung von Hochleistungs-Brennstoffplatten für das IMF. |

- 3.4.1 Die Tieftemperaturbestrahlungsanlage (Proj. FR2/2) ist die älteste Kreislaufeinrichtung am FR2, ihre Inbetriebnahme erfolgte 1965. Sie gestattet die Bestrahlung von Proben im Strahlungsfeld des Reaktors bei Temperaturen zwischen 20 und 300 °K. Die nachfolgende Messung der physikalischen Eigenschaften der Probe kann sowohl bei Bestrahlungstemperatur als auch bei höheren Temperaturen mit oder ohne

zwischenzeitlicher Aufwärmung erfolgen. Experimentator ist das MPI für Metallforschung, Stuttgart, Abteilung Sondermetalle.

Im Berichtszeitraum wurden in der RB-Anlage 72 Proben versch. Metalle bestrahlt und untersucht.

Der Bestrahlungseinsatz befindet sich auf der Reaktorposition 54/26. Mit Hilfe der Anlage wurde zeitweise auch ein Kaltbetrieb über eine externe Versuchsanlage durchgeführt. Sie diente der Untersuchung des Reflexionsgrades von tiefgekühlten Spiegeln bei Lufteisbelegung.

Die Gesamtversuchsdauer (Gesamtexperimentier- und Sonderbetriebszeit) betrug: 158,56 d

Die Gesamtexperimentierzeit (Zeit vom Probeneinbau bis zum Probenausbau) betrug: 135,27 d

Bei einer Steigerung der Gesamtversuchsdauer von rd. 9 % wurde die Vollastbetriebszeit des Reaktors zu rd. 52 % genutzt.

Der He-Gaskältekreislauf erreichte eine Einschaltdauer von 211,29 d.

In der Zeit vom 21.12.70 bis 31.12.70 wurde in Absprache mit den anderen Experimentatoren am FR2 der Reaktor für besondere Untersuchungen bei extrem tiefer Probertemperatur mit nur 10 MW betrieben. Dadurch entstand ein Verlust an Vollastbetriebszeit des Reaktors und Experimentierzeit der übrigen Experimente am FR2 von 299,77 h. Das Experiment verursachte außerdem 1 Reaktorabschaltung wegen Fehlbedienung.

Wegen Reparaturarbeiten, die den planmäßigen Betrieb wesentlich beeinflussten, mußte die Anlage aus folgenden Gründen außer Betrieb genommen werden:

In Betriebsphase L/69 wurde ein He-Leck am He-Hauptkompressor wegen schadhafter Zylinderdeckeldichtung festgestellt und beseitigt.

In Betriebsphase B konnte die nachlassende Kälteleistung nur über ein größeres Druckverhältnis ausgeglichen werden. Ursache war Verschleiß der Exp.-Maschine, die seit der letzten Generalüberholung 10560 Betriebsstunden erreicht hatte. Die Überholung der Exp.-Maschine erfolgte in den Betriebsphasen D und E. Dabei wurde festgestellt, daß über die Stopfbuchsen der Ventilstangen Öl in die He-Leitungen des Versuchseinsatzes (VE) gekommen war. Durch Spülen der Leitungen mit einem öllösenden Mittel konnte die Verunreinigung beseitigt werden.

An der Exp.-Maschine wurden folgende Teile erneuert:

Kolben, Kolbenstangen, Ventile, Ventilstangen, Gaslabyrinthdichtungen, Stopfbuchsen für Kolben- und Ventilstangen, alle sonstigen Dichtungen und die Aktivkohle des Filters P-Fil9. Anstelle der Kohleschichtwiderstände zur Messung der Temperaturen an der Exp.-Maschine wurden Pt-Widerstandsthermometer eingebaut.

Die Arbeiten am He-Hauptkompressor bezogen sich hauptsächlich auf den Einbau neuer Saug- und Druckventile für die I und II Stufe und die Neueinstellung des Kompressorsicherheitsventils P-Ve7 mit anschließender Abnahme durch den TÜV.

Die Saug- und Enddruckregelung des He-Kreislaufes wurde von der Lieferfirma überprüft. Alle Vakuumpumpen wurden von der Lieferfirma generalüberholt.

Im Rahmen eines Probetriebes zeigte sich, daß während der Überholungsarbeiten Feuchtigkeit in die Anlage gekommen war. Dadurch wurde eine Trocknung der Anlage mit einem anschließenden Reinigen des Kreislaufheliums über die Tieftemperaturadsorber der He-Gaskälteanlage für die Kalte Neutronenquelle (Proj. FR2/16) erforderlich.

Die He-Anlage schaltete sich selbsttätig über die entspr. Schutzeinrichtung aus folgenden Gründen ab:

23.01.70, 10.28 Uhr: Durch Netzausfall Projekte bei der Inbetriebnahme einer neuen Hochspannungsstation innerhalb des Kernforschungszentrums.

- 04.04.70, 13.54 Uhr: Durch Netzausfall, hervorgerufen durch externe Unterbrechung der Hochspannungsversorgung für die E-Zentrale 1a.
- 25.08.70, 23.03 Uhr: Durch oGW 20-R1 (Drehzahl Exp.-Maschine).
Die Ursache dafür war ein nicht einwandfreies Arbeiten des Ölkreislaufes (Ölmotor) zur Drehzahlregelung der Exp.-Maschine.
- 17.12.70, 14.36 Uhr: Durch oGW 2V-F1 (Lufteisdetektion) infolge Fehlbedienung.

In den Abschaltphasen B', E' und H' wurden die vierteljährlichen Prüfungen der Grenzwerteinstellungen und Funktionen des Sicherheitssystems zur Auslösung des Reaktorschnellschlusses durchgeführt. In der Abschaltphase E' wurde die jährliche Prüfung aller sicherheitstechnisch wichtigen Meßstellen, Grenzwerteinstellungen, Programme und Steuerungen vorgenommen. Die Prüfungen brachten keine Beanstandungen.

Einen Überblick über das ganze Jahr gibt auch die Abb. 2.2 im gesamten Rahmen des Betriebsablaufes des FR2.

3.4.2 Die Kalte-Neutronenquelle (Proj. FR2/16) wurde im Berichtszeitraum zum Teil von mehreren Experimentatoren gleichzeitig genutzt (siehe hierzu Kap. 3.2).

An der Nutzung waren IAK, das 1. Physikalische Institut der UNI Heidelberg und RB beteiligt. Sie stand insgesamt 241,3 Tage, das sind rd. 90 % der Leistungsbetriebszeit, mit gefüllter Flüssigwasserstoffkammer zur Verfügung.

Der Betrieb der Anlage war gut; es traten einige Störungen auf, die zu einer kurzzeitigen Abschaltung der Anlage führten, ohne jedoch eine Reaktorabschaltung zur Folge zu haben. Die Abschaltungen erfolgten 2 mal durch Netzausfall, 1 mal durch Fehlbedienung, 5 mal von Hand nach erkanntem Fehler und 5 mal automatisch (wie z.B. Wasserstoffausblasen). Die selbsttätigen internen Sicherheitsoperationen liefen bei allen Abschaltungen ordnungsgemäß ab.

Das im Pfropfen seit Inbetriebnahme vorhandene geringe H_2 -Leck stellt z.Zt. noch keine Gefährdung für den Betrieb der Versuchseinrichtung dar, es hat sich während des Berichtszeitraumes nicht vergrößert.

In den Betriebsphasen G, H, I war die Leckrate um den Faktor 10 niedriger. Eine Erklärung für dieses Verhalten konnte noch nicht gefunden werden. Maßnahmen zum Zweck des Austausches des undichten Stopfens wurden eingeleitet.

Größere Wartungs- und Reparaturarbeiten wurden am Trockenlaufkompressor Gb 7 wegen wiederholt auftretenden Mängeln an den Stopfbuchsen durchgeführt. Dabei wurden die Ölabbstreifringe und die Stopfbuchsenpackungen der drei Stufen des Kompressors nachgearbeitet und gereinigt. Da der überdurchschnittliche Verschleiß der Stopfbuchsenpackungen als Folge mangelhafter Ölabbstreifung an den Kolbenstangen erkannt wurde, wurden in Stufe III probeweise verbesserte Abstreifpackungen eingebaut (Phase J'), die sich gut bewährten. Sämtliche Saug- und Druckventile des Kompressors wurden erneuert, da sie über 15000 h in Betrieb waren. Kolbenringe, Kurbelgehäuse und Heliumkühler wurden kontrolliert und verschiedene Ölwechsel durchgeführt.

Die Expansionsturbinen wurden zerlegt und inspiziert (Phase J'). Trotz der langen Betriebszeit (7000 bzw. 9000 h) war der Zustand beider Turbinen einwandfrei.

Es fand eine Generalrevision des Hochdruckkompressors Gb 6 durch die Herstellerfirma statt (Phase K'). Die aufgetretenen Schäden - stark ausgeschlagene Kolbenbolzenlager, ausgebrochene Lagerschale, gebrochenes Druckventil - wurden durch Einbau neuer Teile behoben.

Alle größeren Filter in den Kreisläufen wurden gereinigt. Zum Teil wurden neue Filtereinsätze eingebaut bzw. Filter umgebaut, um deren Abscheidegrad zu erhöhen.

Die H₂-Anlage enthält verhältnismäßig wenige Teile, die einem Verschleiß unterliegen. Die Arbeiten beschränkten sich daher im wesentlichen auf:

Reparatur von Ventilen und Berstmembranen,
Ölwechsel und Keilriemenwechsel an den Vakuumpumpen,
Ausbau und Reinigen der Vakuummeßröhren,
Dichtheitsprüfungen an verschiedenen Anlageteilen,
Kontrolle der Grenzwerte bzw. der elektrischen Anlageteile.

In den Abschaltphasen C', F' und H' wurden die Funktionsprüfungen der Sicherheitsschaltungen und Aufschaltungen auf das Reaktorschutzsystem durchgeführt. Die Prüfungen brachten keine Beanstandungen.

Alle Grenzwerte der H₂- und He-Anlage, die Folgefunktionen auslösen, wurden in der Abschaltphase I' geprüft.

Die Kalte Neutronenquelle hatte zum Ende des Jahres eine Gesamtbetriebszeit von 15.000 h überschritten. Einen Überblick über das ganze Jahr gibt die Abb. 2.2 im gesamten Rahmen des Betriebsablaufes des FR2.

3.4.3 Der He-Druckgaskreislauf (Projekt FR2/26) dient der Bestrahlung von Brennstoffprüflingen im Zuge der Brennelemententwicklung für das Projekt Schneller Brüter (PSB). Der Versuchseinsatz für Kurzzeitbestrahlungen wird im Zentralkanal des FR2 bestrahlt. Mit dem He-Druckgaskreislauf, der Gasreinigungsanlage und der Einsatz-Wechselmaschine wird das Projekt betrieben. Die flüssig-N₂-Erzeugungsanlage mit einer Leistung von rd. 45 l/h fl. N₂ dient zur Kühlung der Tieftemperaturadsorber in der Gasreinigung. In einem Lagertank können bis zu 2000 Nm³ flüssig-N₂ gelagert werden.

Der He-Kreislaufbetrieb mußte im Jahre 1970 störungsbedingt für etwa 7,5 Wochen unterbrochen werden. Es traten insgesamt 7 größere Störungen auf, die den Reaktorbetrieb durch 2 Leistungsreduzierungen und 3 Abschaltungen - davon ein Schnellschluß - unterbrachen. In der restlichen Zeit war die Anlage störungsfrei in Betrieb.

Aus der PSB-Versuchsgruppe 3 wurden 16 Prüflinge (Brennstoff UO_2/PuO_2) mit einer Gesamtbestrahlungsdauer von rd. 51 Tagen bestrahlt.

Von August bis November 1970 wurden keine Prüflinge angeliefert. Anschließend wurden aus der PSB-Versuchsgruppe 4a (Brennstoff UC/PuC) die ersten 3 Prüflinge mit einer Gesamtbestrahlungsdauer von 9 Tagen bestrahlt. Siehe Tabelle 3.7.

Die flüssig- N_2 -Erzeugungsanlage wurde zu Beginn des Jahres zu einer gründlichen Überholung für vier Monate stillgelegt. Nach ihrer Wiederinbetriebnahme lieferte die Anlage den gesamten Flüssigstickstoffbedarf, der für die Gasreinigungsanlage benötigt wurde. Darüberhinaus erbrachte sie einen Überschuß von rd. 36.000 l fl. N_2 , der dem Bedarf am FR2 zur Verfügung gestellt werden konnte.

Im Jahre 1969 mußten die Gasführungsrohre der Prüflinge aus Versuchsgruppe 3 wegen zu hoher Pu-Anreicherung im Brennstoff mit einer Cd-Schicht belegt werden. Diese konnte bei den Prüflingsbestrahlungen ab Februar 1970 wieder entfernt werden, da zum Jahresbeginn der Versuchseinsatz mit einem neuen Oberteil versehen werden mußte (mit einem Kolbenführungsrohr aus verchromtem St37). Denn in dem alten Kolbenführungsrohr aus AlMg 3 hatte sich der Gasführungskolben in der obersten Endstellung festgesetzt, so daß die Kühlung des Prüflings während der Bestrahlung ungenügend war.

Im Berichtszeitraum wurden die in der nachstehenden Tabelle 3.7 aufgeführten Prüflinge bestrahlt:

Tabelle 3.7: Prüflingsbestrahlungen Proj. FR2/26
im Jahre 1970

Prüflings- Nr.	Bestrahlungs- zeit [h]	spez. Stab- leistung [W/cm]	Bemerkungen
L3-13	4	1000	mit Einbrennvorgang
L3-9	24	680	mit Einbrennvorgang
L3-12	72	500	
L3-25	72	428-400	1 Unterbrechung durch Reaktorschnellschluß
L3-5	216	600	1 Reaktorleistungsredu- zierung auf $0,7 \phi_N$ (11 min)
L3-6	216	600	
L3-10	24	700	mit Einbrennvorgang
L3-7	24	700	1 Unterbrechung durch defekten Frequenzum- former 1 Unterbrechung durch Reaktorschnellschluß mit Einbrennvorgang
L3-34	8	700	mit Einbrennvorgang
L3-35	8	700	mit Einbrennvorgang
L3-36	24	700	mit Einbrennvorgang
L3-11	72	700	mit Einbrennvorgang
L3-24	207	500	b. Bestrahlungsbeginn 9 Zyklen zu je 6 h, 1. Zyklus 5 h wegen Reaktorleistungsrück- nahme
L3-27	216	500	
L3-37	24	700	mit Einbrennvorgang
L3-8	8	700	mit Einbrennvorgang
I4-1	72	950-880	mit stufenweiser Leistungserhöhung und -Reduzierung zu Beginn und Ende der Be- strahlung
I4-2	72	930-835	
I4-3	72	1010-880	

Die Gesamtbestrahlungszeit im Berichtszeitraum betrug rd. 60 d.

Zusätzlich wurden 3 Sondenbestrahlungen zu je 1 h zur Neutronenflußdichtemessung im Versuchseinsatz des Experimentes durchgeführt. Änderungen im Strukturmaterial des Versuchseinsatzes (Kolbenführungsrohr) und vermehrter Einbau von Experimentiereinsätzen auf Reaktor-Positionen in unmittelbarer Umgebung des Zentralkanals verursachten einen relativ starken Rückgang des ungestörten thermischen Flusses gegenüber dem Jahre 1967, in dem ein maximaler Fluß von $9,6 \cdot 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ gemessen wurde. Dies hatte zur Folge, daß bei den ersten Prüflingen der Versuchsgruppe 4a die geforderte spez. Stabileistung von 1100 W/cm nicht erreicht werden konnte. Durch Erhöhung der mittleren BE-Leistung aufgrund von Beladungsänderungen in der Umgebung des Zentralkanals konnte der maximale ungestörte Fluß bis auf $7,9 \cdot 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ angehoben werden.

Betriebszeiten und zeitliche Nutzung der Anlage:

He-Druckgaskreislauf	6 311,43 h
He-Gasreinigung	2 798,05 h
fl. N ₂ -Erzeugungsanlage	4 772,25 h
fl. N ₂ -Produktion	4 462,11 h
fl. N ₂ -Erzeugung	rd. 108 182 1

He-Druckgaskreislauf bezogen auf
Reaktorbetrieb $> 10^{-3} \varnothing_N$ 93 %

Gesamtbestrahlungszeit bezogen
auf Reaktorbetrieb $> 43 \text{ MW}$ 23 %

He-Gasreinigung bezogen auf He-
Druckgaskreislauf 44 %

fl. N₂-Erzeugungsanlage bezogen
auf He-Gasreinigung 160 %

Störungen:

- 11.1.70 Kaltleck im kalten Teil der fl. N₂-Erzeugungsanlage und Undichtheit an den Laternen der N₂-Stufe des Schraubenverdichters. Anlage wurde eingehend überholt. Anlagenausfall rd. 4 Monate. Kühlung der Gasreinigung durch Fremdbezug von fl. N₂.
- 19.1.70 Undichte Schleusenklappe im Versuchseinsatz, Stopfbuchse im Versuchseinsatz wird gewechselt. Reduzierung der Reaktorleistung für rd. 2,6 h.
- 21.1.70 Gasführungskolben hängt im Versuchseinsatz fest. Beim Fluten des Versuchseinsatzes mit Helium nach dem Wechsel der Stopfbuchse wurde vermutlich der Gasführungskolben in die oberste Endstellung gedrückt. Zur Feststellung der Höhe Reduzierung der Reaktorleistung für rd. 1,6 h.
- 28.1.70 Ausbau des Versuchseinsatzes aus dem Zentralkanal des FR2 wegen feststitzendem Gasführungskolben, Einbau des luftgekühlten Druckrohrstopfens. Reaktorabschaltung für rd. 5 h. Bestrahlungszeit- und Anlagenausfall 19 d.
- 10.3.70 Beschädigung des 26adrigen Ausgleichkabels für Temperaturmessung durch Verklemmen im Bereich der Kabelumlenkungen der Wechselmaschine. Bestrahlungszeit-Ausfall 5 d.
- 27.4.70 Reaktorschnellschluß durch Sicherungsfall der Feldwicklung des Umformers. Ausbau des Versuchseinsatzes, Frequenzumformer defekt (unruhiger Lauf). Einbau des Druckrohrstopfens. Bestrahlungszeit- und Anlagenausfall 22 d.

- 19.5.70 Störungen am Hubwerk III der Wechselmaschine (Ansprechen der Rutsch- und Drehmomentkupplungen), nach dem Wiedereinbau des Versuchseinsatzes Wechsel der Stopfbuchse im VE, Reaktorabschaltung für rd. 47 h.
- 18.12.70 Ausbau des Versuchseinsatzes, da Anlaufschwierigkeit beim gasgelagerten Umwälzgebläse Gb 102 im He-Kreislauf; Einbau des Druckrohrstopfens. Anlagenausfall 12 d (kein Ausfall an Bestrahlungszeit, da Reaktorbetrieb mit 10 MW).

Größere Wartungs- und Reparaturarbeiten

- Jan. bis fl. N₂-Erzeugungsanlage: Reparatur des Schrauben-
Mai 1970 verdichters und Beseitigung der Undichtheiten innerhalb der Cold-Box.
- 28.1.bis Demontage und Untersuchung des Versuchseinsatzes
20.2.70 bei RB/Z;
Montage eines neuen Oberteils. Kolbenrohr aus Stahl eingesetzt, Laufrohr innen und außen hartverchromt.
- 23.3.bis Wechselmaschine: Reparatur und Neuauflegung des
26.3.70 Thermoelement-Ausgleichskabels.
- 28.4.bis Reparatur des Frequenzumformers für den He-Druck-
15.5.70 gaskreislauf: Berichtigung der Wicklungsanschlüsse am Kommutator.
Tränken der Läuferwicklung, Auswuchten des Läufers und Lagerwechsel.
- 29.10.bis Wechselmaschine: Eingehende Überholung des Hub-
6.11.70 getriebes und der Hydraulik.
- 18.12.bis Änderung in der Anlaufschaltung für den Verdichter-
30.12.70 start des He-Druckgaskreislaufes infolge Anlaufschwierigkeiten von Gb 102.

Einen Überblick über das ganze Jahr gibt die Abb. 2.2 im gesamten Rahmen des Betriebsablaufes des FR2.

3.4.4 Der Hüllschaden-Heißdampfkreislauf (Proj. FR2/55) diente der Erprobung einer Hüllschaden-Nachweisanlage für den Heißdampfreaktor sowie der Untersuchung von Korrosions- und Depositionsmechanismen in der Dampf- und Wasserphase.

In der Betriebsphase B/70 wurde die Erprobung der Hüllschaden-Nachweisanlage abgeschlossen.

In der Betriebsphase C/70 wurde der Kreislauf für Vergleichsmessungen ohne Prüfling betrieben.

Zur Erprobung einer O_2/H_2 -Dosiereinrichtung und der neu erstellten Gastrocknungsanlage für das Proj. FR2/55a wurde die Anlage in der Betriebsphase D/70 ohne Reaktoreinsatz betrieben.

Um erweiterte Experimentiermöglichkeiten zu schaffen, wurde das Projekt ab der Betriebsphase E/70 zu einem Dampf-Kontaminationskreislauf (Proj. FR2/55a) umgebaut. Damit wurden zusätzliche Experimentiereinrichtungen für den Einbau von Kontaminations- und Depositionsproben, für die Entnahme von Dampf- und Abgasproben, für den Einbau von Filtern, für die Präzipitation fester Spaltprodukte und für die Erprobung von Filtern für die Abscheidung von Spalt-Jod-Gemischen geschaffen.

Das Experiment verursachte in den Betriebsphasen A - D keine Reaktorschnellschlüsse.

Der Betriebsdruck der Anlage wurde zwischen 70 bis 100 atü, der Dampfdurchsatz zwischen 50 und 100 kg/h variiert. Zur Ermittlung der Einsatztemperaturen für die Erweiterung des Projektes wurde die Reaktorleistung an drei Tagen zwischen 0,1 und 1 ϕ_N variiert.

Zum Austausch des Kühlmediums im Vakuum-Ringspalt mußte die Reaktorleistung zweimal auf 0,5 ϕ_N reduziert werden.

Wegen Undichtheiten an den Probenkammern P-Pr 1 und 2 wurde der Reaktorstart einmal um 2,5 Tage verzögert.

Bestrahlungen:

Betriebs- phase	Prüfl. Nr.	Bemerkungen	Prüfling		Materialproben	
			Einbau	Ausbau	P-Pr 1	P-Pr 2
L/69	2			14.1.70	-	24
A	3	Leckbohrung in Plenum- höhe	14.1.70	18.2.70	15	37
B	4	Leckbohrung in Brenn- stoffhöhe	18.2.70	17.3.70	16	36

Störungen und Betriebsunterbrechungen:

- 28./29.1.
und 16.2.70 3x Leistungsrücknahme des Reaktors zur Erprobung der Aktivitätsmeßeinrichtungen.
21. bis
23.2.70 Verzögerung des Reaktorstarts wegen Undichtigkeiten an den Verschraubungen der Probenhalter P-Pr 1 und 2.
- 9.3.70 Reduzierung der Reaktorleistung auf $10^{-1} N_N$ wegen Lufteinbruch in den Kondensatkreis infolge einer Fehlbedienung des Experimentators.
- 13.3.70 Reaktorleistung zwischen 0,1 und 1 N_N variiert nach Plan für Wiederholung der Aktivitätsmessungen.
- 1.4.70 Kurzzeitige Reduzierung der Reaktorleistung auf 0,7 N_N wegen Anstieg der Druckrohrtemperatur während Erprobung der H_2-O_2 -Dosiseinrichtung.

Die Betriebszeit des Experimentes bezogen auf die Reaktorbetriebszeit > 43 MW gemittelt über die 3 Betriebsphasen A, B und C betrug 108 %. Die Ausfallzeit des Reaktors, verursacht durch das Experiment (Reaktorleistung < 43 MW), betrug rd. 103 h.

Wartungs- und Reparaturarbeiten:

Saug- und Druckventile an sämtlichen Zylindern der Speisepumpen nach 2206 Betriebsstunden erneuert, Bleiabschirmungen in R110a wegen zu hohem Strahlenpegel verstärkt und erweitert, Stopfbuchsen an verschiedenen HD-Ventilen erneuert.

Wechsel der Ionentauscherharze in Filter P-Fi 2 wegen zu hoher Druckdifferenz, Austausch der Vak.-Pumpe A-Vp 1 wegen zu geringer Leistung, Überprüfung der Korrekturrechner für die Meßstellen P-Q1/10/11, Reparatur der Speisepumpe P-Pu 2, Erneuerung der Ionentauscherharze im Filter S-Fi 3.

In der 23. Woche wurde der Kanal 1 der Brennelementwechselmaschine für Proj. FR2/55 umgebaut. Der Bleischieber wurde abgeändert und ein Zentrierring eingebaut, um ein Steckenbleiben des Aufnahmebehälters des Einsatzes von P55 zu vermeiden.

An regelmäßigen Prüfungen wurden Gas- und Wasserprobenentnahmen und Dosisleistungsmessungen an 20 ausgewählten Stellen des Kreislaufes durchgeführt. Es wurde das Verhalten von He und Ne bei Füllung des Ringspaltes oder bei Evakuierung getestet. Weiter wurden Lufteinbrüche in den ND-Teil des Kreislaufs simuliert und dabei das Betriebsverhalten der gesamten Anlage beobachtet.

Der bisherige Betrieb der Anlage hat gezeigt, daß der HD- und ND-Teil des Kreislaufs im Prinzip betriebssicher betrieben werden kann. Schwierigkeiten traten an einigen Regelkreisen auf, an den Stopfbuchsen der HD-Ventile sowie an den Speisepumpen. Nicht zufriedenstellend arbeitete die Gas-Zudosierung (H_2 und O_2). Größere Änderungen sind deshalb im Zuge des Umbaus der gesamten Anlage notwendig.

3.4.5 Die Inbetriebnahme des Druckschwerwasserkreislaufs (Proj. FR2/58) zur Brennstoffplattenbestrahlung war das herausragende Ereignis im Jahre 1970.

Er dient den Bestrahlungsversuchen zur Entwicklung von Brennelementplatten für Hochflußreaktoren.

Untersucht werden sollen die Reaktionen zwischen Al-Matrix und Brennstoffteil, die Spaltgasbildung, das Verhalten von Brennstoff und Hüllmaterial sowie Grobstrukturschäden an UAl₃-Al-Plattenelementen mit einer Hülle aus Al bzw. Al-Legierung.

Der Kreislauf ist als 'Halbloop' gebaut, d.h. das Schwerwasser wird dem Primärkühlkreislauf des Reaktors entnommen, über Druckerhöhungspumpen den Loopeinsätzen zugeführt und anschließend wieder in den Reaktorkreislauf eingespeist.

Die out-of-pile-Erprobung des Kreislaufes wurde mit vollentsalztem H₂O durchgeführt und war Mitte Januar abgeschlossen. Anschließend wurde der Kreislauf entwässert und - um aufwendige und zeitraubende Trocknungsmaßnahmen zu umgehen - in Teilabschnitten mit insgesamt 394,5 kg abgereichertem D₂O deuteriert.

Durch einen Lagerschaden an der Pumpe 102 wurde das Spaltrohr beschädigt und undicht. D₂O konnte in den Wicklungsraum und über eine undichte Bolzendurchführung in den Klemmenkasten eindringen. Von dort gelangte es über das Anschlußkabel in den Experimentierraum. Der Bodennaßfühler schaltete die Pumpe ordnungsgemäß ab. Der D₂O-Verlust betrug ca. 60 kg.

In den Betriebsphasen B und C/70 war wegen der Reparatur der 3 Druckerhöhungspumpen kein Betrieb möglich.

In der Betriebsphase D/70 wurde ein Einsatz ohne Brennstoff (Le 0) auf der Reaktorposition 41/29 eingesetzt. Nach erfolgreichem Abschluß der Dichtheitsprüfungen an den Walther-Kupplungen und dem Wiedereinbau von 2 Pumpen wurde am 19.5.1970 der erste Einsatz mit Brennstoff (Le 7) eingebaut. Wegen eines Hüllschadens mußte der Le 7 am 22.5.1970 wieder ausgebaut werden.

In der Betriebsphase E/70 wurde der Le 8 auf der Reaktorposition 41/23 eingesetzt. Der Betrieb mit dem Le 8 verlief in den Betriebsphasen E, F und G/70 ohne Störung.

In der Betriebsphase H/70 wurde ein zunächst kleiner Hüllschaden am Le 8 festgestellt, der sich jedoch in der Betriebsphase I/70 so stark vergrößerte, daß der Einsatz nach einer Betriebszeit von 3439,51 h bei einer Reaktorleistung > 43 MW am 18.12.70 ausgebaut werden mußte.

In der Betriebsphase K/70 war das Experiment abgeschaltet.

Im Berichtszeitraum wurden 3 Reaktor-Schnellschlüsse störungsbedingt ausgelöst, je drei Reaktor-Abschaltungen und Leistungsrücknahmen waren erforderlich.

Infolge des Einbaus von Le0 konnte der Reaktor nicht zum vorgesehenen Zeitpunkt gestartet werden. Der Verlust an Reaktor-Betriebszeit > 43 MW betrug im Berichtszeitraum 115 h.

Bestrahlungen

Betriebsphase	Einsatz Nr.	Einsatz		Reaktorposition	Bemerkungen
		Einbau	Ausbau		
D/70	Le 0	25.4.70	19.5.70	41/23	ohne Brennstoff
	Le 7	19.5.70	20.5.70	41/29	Umsetzung
	Le 7	20.5.70	22.5.70	41/23	Hüllschaden
E/70 bis H/70	Le 8	11.6.70	18.12.70	41/23	Hüllschaden

Störungen und Betriebsunterbrechungen

6.2.1970: Während der Messungen zum Nachweis der erhöhten Leitfähigkeit im Primärkreislauf des Reaktors sprach beim Probelauf der Pumpe 102 um 1.00 Uhr die Tritium-Überwachung des Experimentierraumes (Standort der Druckerhöhungspumpen) an.

1.25 Uhr sprach der Bodennaßfühler an und schaltete die Pumpe ordnungsgemäß ab.

Daraufhin wurde der Experimentierkreislauf vom D_2O -Kreislauf des Reaktors getrennt.

Bei der Lecksuche am 9.2.1970 wurde festgestellt, daß das Motoranschlußkabel der Pumpe 102 an der Einführung zum Klemmenkasten geplatzt war. Daraus ließ sich schließen, daß D_2O in den Wicklungsraum des Stators eingedrungen und durch eine Bolzendurchführung, die wasserdicht und explosionsgeschützt sein sollte, in den Klemmenkasten gelangt war. Von dort drang das D_2O in das Anschlußkabel ein und sprengte die Isolierung. Zu einem Kurzschluß kam es nicht. Die Pumpe blieb bis zum Ansprechen des Bodennaßfühlers in Betrieb.

Die Untersuchung der demontierten Pumpe zeigte, daß die Wolframkarbidbeschichtung des pumpenfernen Radiallagers abgerieben und das Gegenlager aus Al_2O_3 gesprungen war. Die Stator- und Rotorschutzhülsen waren beschädigt. Eine Überprüfung der anderen beiden Pumpen zeigte auch hier einen hohen Lagerabrieb.

Durch eine Umstellung der Lagerpaarung, Einbau je eines Naßfühlers in den Klemmenkästen der Pumpen, kontinuierliche Raumluftüberwachung auf Tritium durch ein zusätzliches Meßgerät sowie häufige Inspektion der Pumpenlager soll eine Wiederholung dieser Störung vermieden werden.

- 16.4.1970 Beim Fluten des Kreislaufes wurde das im Leitungssystem befindliche Helium in den 5 m³-Behälter entlastet. Dabei geriet über ein undichtes Ventil Helium auf die Saugseite der Primärkreislaufpumpen und führte zu einem Reaktor-Schnellschluß durch den Kanal 7 des Sicherheitssystems (D₂O-Druck im Druckverteiler).
- 19.5.1970 Nach dem Einbau des Le 7 in die Pos. 41/29 ging bei dem Probetrieb des Kühlkreislaufes mit den Pumpen 101 und 103 der Kühlmitteldurchsatz schlagartig auf '0' zurück.
- Durch mehrere Versuche wurde festgestellt, daß das Regelventil Ve 305 einen Defekt zwischen Ventilspindel und Kegel hat. Aus diesem Grund wurde die Umsetzung auf die Reaktor-Position 41/23 notwendig.
- Die Inspektion ergab, daß der Ventilkegel von der Spindel an einer Schweißnaht abgerissen war.
- 21.5.1970 Um 13.25 Uhr wurde bei einer Reaktorleistung von 8 MW ein Hüllschaden durch die Hüllschadenüberwachungsanlage des FR2 auf der Pos. 41/23 nachgewiesen. Man vermutete zunächst eine Oberflächenverschmutzung durch Uran.
- Um 22.16 Uhr mußte der Reaktor bei einer Leistung von ca. 38 MW abgeschaltet werden, da die Aktivität kontinuierlich anstieg.
- 22.5.1970 Ein weiterer Startversuch mußte unterbrochen werden, da zu dem Hüllschadenverdacht die Walther-Kupplungen an Vor- und Rücklauf undicht wurden. Die Nachuntersuchung bestätigte den am Le 7 vermuteten Hüllschaden.

13.7.1970 Für die Überprüfung der Nachwärmeabfuhr nach einer Reaktor-Abschaltung sollte das Experiment gezielt abgefahren werden. Durch den nicht gebrückten Schnellschluß der Durchflußmeßstelle Q202 wurde die Reaktor-Abschaltung vorzeitig ausgelöst.

Wartungs- und Reparaturarbeiten

Beim Probelauf der reparierten Kreislaufpumpen wurden die Schwingungsamplituden der Lager aufgenommen.

Am 17.4.1970 stellte sich beim Probelauf der Pumpe 103 nach 8 min. eine Amplitude von 57,5µm ein, außerdem traten starke Erschütterungen in der Pumpe auf. Die Pumpe wurde ausgebaut und demontiert. Die Auswuchtung des Pumpenläufers ergab eine Unwucht von 40 g bei der Betriebsdrehzahl. Beide Keramiklager waren gerissen.

Zur Überwachung der Pumpen wurden während jeder Abschaltphase die Schwingungsamplituden der Lager aufgenommen, um eintretende Lagerschäden frühzeitig zu erkennen.

Bei einer Inspektion der Pumpenlager am 17.10.1970 wurde bei Pumpe 103 eine Beschädigung der Arretierstifte der Lagerschalen festgestellt. Es zeigte sich, daß das Keramiklager teilweise ausgebrochen war. Die Pumpe 103 wurde ausgebaut und die zwischenzeitlich reparierte Pumpe 102 eingebaut.

Die Walther-Kupplungen im Vor- und Rücklauf wurden am 2.6.1970 mit einem axial und radial angeordneten O-Ring versehen, um eine bessere Abdichtung zu erreichen. Infolge der bei Reaktor-Abschaltungen auftretenden Abkühlungen traten jedoch immer wieder Undichtheiten auf, die ein häufiges Auswechseln der O-Ringe erforderlich machten.

Am 14.7.1970 wurden das Regelventil 305 und das Bypassventil 306 zur Untersuchung der Schweißnähte an den Ventilspindeln ausgebaut. Die Überprüfung ergab Rißbildungen an den Schweißnähten. Die Ventile wurden mit neu angefertigten Spindeln wieder eingebaut.

Die Thermoelemente der Kühlwasser- und Brennstoffplattentemperaturen wurden wiederholt durchgemessen. Dabei zeigte sich, daß die Isolationswiderstände einiger Meßstellen stark schwankten, so daß eine meßtechnische Auswertung nicht mehr möglich war.

Funktionsprüfung

In Gegenwart des TÜV Baden wurden alle sicherheitstechnisch wichtigen Signale und Steuerungen geprüft und abgenommen.

Vor jedem Reaktorstart werden die sicherheitstechnisch wichtigen Meßstellen auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Es ergaben sich keine Beanstandungen.

Als Vorstufe für dieses Projekt wurden im Berichtszeitraum 3 Einbauten (UAl-Al-Dispersions-Brennstoffplatten) im Core des FR2 bestrahlt. Die Kühlung erfolgt wie bei den Brennelementen.

Tabelle 3.8: Bestrahlungen Proj. FR2/58a im Jahre 1970

Projekt Nr.	E i n b a u		Umsetzung		A u s b a u			Bestr.-Zeit bei $N > 10^{-5} N_N$ [h]	Bemerkungen
	Tag	Pos.	Tag	Pos.	Tag	nach Plan	unplanmässig		
58a4	7.10.69	49/07			24.4.70		x	3741,74	Hüllschaden
58a5	19.12.69	44/16			23.4.70	x		2460,61	
58a6	11. 6.70	44/16	25.9.70	52/10				bis 31.12.1971	
			11.11.70	57/23				3812,52	

Die Projekteinsätze verursachten keine Störung des Reaktorbetriebes.

Die Bestrahlung des Einsatzes 58a4 wurde nicht planmäßig zu Ende geführt, weil im Betrieb ein Hüllschaden an den Brennstoffplatten durch die FR2-Hüllschaden-Überwachungsanlage detektiert worden war. Dieser Verdacht wurde bei den Untersuchungen in RB/Z bestätigt.

3.5 Sonstige Experimentiereinbauten im Reaktor

3.5.1 Plutonium-Bündelelemente (Proj. FR2/53-1 bis 4)

Die im Herbst 1968 eingebauten 4 Pu-Bündelelemente zur Erzeugung von Transplutoniumelementen wurden im Berichtszeitraum weiterhin auf Reaktorgitterpositionen bestrahlt. Sie werden entsprechend ihrem Abbrand von Rand-

positionen zum Zentrum des Reaktorkerns versetzt. Einzelheiten können der folgenden Tabelle 3.9 entnommen werden.

Die Elemente erreichten damit Bestrahlungszeiten im Leistungsbereich.

Tabelle 3.9: Bestrahlungen Proj. FR2/53 im Jahre 1970

Projekt Nr.	Tag	Umsetzungen		Betr.-Daten Bestr.-Zeit bei $N > 10^{-3} N_N$ [h]	seit Einbau Energieab- gabe [Mwd]
		von Pos.	nach Pos.		
53/1	-	-	-	15825,38	131,7
53/2	-	-	-	15825,38	131,4
53/3	12.11.	44/18	42/20	15825,38	132,0
53/4	12.11.	42/16	46/14	15095,88	128,9
Mittlere Leistung: 75 - 100 kW					

Alle Einsätze wurden regelmäßig mittels γ -scanning-Einrichtung auf Veränderungen im Aufbau untersucht.

Wegen Ausfall der Kühlmittel-Durchflußanzeige wurde am 25.4.1971 das Element 53/4 in der Heißen Zelle des FR2 untersucht. Es waren keine Veränderungen festzustellen.

Die Überwachung aller 4 Einsätze erfolgt über die Kühlmittelaufheizspanne.

Störungen des Reaktorbetriebs wurden durch dieses Experiment nicht ausgelöst.

3.5.3 Kobaltbestrahlung auf Zwischengitterpositionen:

Im Berichtszeitraum war das Proj. FR2/59 - bestückt mit 18 Kobaltstäben mit je 35,35 g Co - wie folgt eingebaut:

Tabelle 3.10: Kobaltbestrahlung

Bestrahlungs-Position	Bestrahlungszeit	
	vom	bis
41/33	20.12.69	16.1.70
41/09	25.4.70	1.6.70
41/09	13.6.70	15.7.70
41/09	18.7.70	17.8.70
41/09	22.8.70	21.9.70
41/09	26.9.70	9.11.70
Gesamtbestrahlungszeit (bei $N > 10^{-3} N_N$) seit Einbau rd. 4.500 h		

Eine zunehmende Kobaltkontamination der Isotopenabluftkanäle machte eine Untersuchung der einzelnen Kobaltstäbe notwendig:

Die Wischteste erbrachten eine hohe Kobaltkontamination der Stäbe. Außerdem waren der 3. und 6. Stab von unten verbogen. Die unteren Stäbe zeigten eine starke Verfärbung durch Anlauffarben. An diesen Stäben waren Querrisse der Hülle mit bloßem Auge zu erkennen.

Am 12.11.1970 wurde ein neuer Einsatz im Rahmen von Projekt FR2/59 mit 12 neuen Stäben bestückt. Dieser Einsatz kam jedoch im Jahre 1970 nicht mehr zum Einbau.

3.5.4 Bestrahlung eines Thermionischen Emitters (Proj. FR2/64-1):

Der Thermionische Emitter ist ein Teil des Programms, das zur Energieversorgung von Raumflugkörpern entwickelt wurde. Beim Incore-Thermionik-Reaktor (ITR) handelt es sich um einen kleinen Leistungsreaktor, der die nuklear erzeugte Wärme durch direkte Konversion in elektrische Energie umsetzt. Er enthält hochangereichertes Uran als Spaltstoff, ein festes Metallhydrid als Moderator und flüssiges Natrium als Kühlmittel.

Der Einsatz wurde am 9.4.1970 einem Strömungstest und einem out-of-pile-Test im BE-Prüfstand unterzogen. Mit der eigenen elektrischen Heizung ergaben sich wesentlich höhere Zentraltemperaturen als berechnet.

Bei der Inbetriebnahme des Reaktors (25. - 27.4.1970) erreichte dann die Zentraltemperatur des Emitters 2 den max. zulässigen Wert von 1860 °C schon bei einer Reaktorleistung von ca. 28 MW. Andere Meßwerte zeigten nur eine geringe Leistungsfreisetzung an. Der Einsatz mußte daraufhin am 27.4.1970 wieder ausgebaut werden.

Ein in der Heißen Zelle durchgeführter Aufheizversuch deutete auf richtige Anzeige der Zentral-Thermoelemente hin.

Während einer Reaktorabschaltung wurde am 20.5.1970 der Einsatz in die Randposition 62/22 eingebaut und getestet. Dabei fiel bereits vor Reaktorstart die elektrische Heizung des Heizmantels 2 aus, weshalb der Einsatz endgültig ausgebaut wurde. Die Nachuntersuchung beim Experimentator (Fa. Siemens) brachte einen durch Fertigungsfehler hervorgerufenen zu großen Widerstand im Bereich der Heizwicklung zu tage. Eine neue verbesserte Kapsel ist beim Experimentator in Vorbereitung. Hierfür wurden Oberteil und Wasserführungsrohr bei uns bereits gefertigt.

3.5.5 Untersuchung der Verträglichkeit von Kernbrennstoffen mit Hüllwerkstoffen (Proj. FR2/66):

Die im Jahre 1968 begonnenen Bestrahlungen von instrumentierten Kapselversuchseinsätzen zur Untersuchung der Verträglichkeit von Kernbrennstoffen mit Hüllwerkstoffen wurden erfolgreich fortgesetzt und planmäßig beendet.

Proj. FR2/66-3 (7 Brennstoffpatronen aus Vanadinlegierungen mit dem Brennstoff von 0,22 g/Patrone UN und U235 auf 8 % angereichert),

Proj. FR2/66-5 (7 Brennstoffpatronen aus Vanadinlegierungen mit dem Brennstoff von 0,2 g/Patrone UC und U235 auf 8 % angereichert).

Tabelle 3.11: Projekt FR2/66

Projekt Nr.	E i n b a u		Umsetzung		Ausbau Tag	Gesamt-Bestr.-Zeit bei $N > 10^{-3} N_N$ [h]	Bemerkungen
	Tag	in Pos.	Tag	nach Pos.			
66-3	10.2.69	41/29	15.2.69	41/07	20.4.70	8114,4	zu heiß nach Plan
			7.10.69	37/23			
66-5	7.10.69	41/07	16.1.70	45/23	11.11.70	7393,6	zu kühl nach Plan
			15.7.70	54/12			

Durch eine metallografische Untersuchung der Kontaktzonen zwischen Brennstoff und Hülle an verschiedenen Querschnitten der Proben werden Rückschlüsse auf die Verträglichkeit gezogen.

3.5.6 Kriechprobenbestrahlungen (Typ C7 bis C21), Proj. FR2/73a:

Die Bestrahlungskapsel besteht aus einer inneren und äußeren Kapsel aus verschiedenen Werkstoffen. In der inneren Kapsel steckt eine Tablette aus einer Uranverbindung in einer Matrize unter Druckbelastung durch einen federgespannten Stempel.

Tabelle 3.12: Bestrahlungen Projekt FR2/73a
im Jahre 1970

Projekt Nr.	Einbau		Ausbau	Bestr.-Zeit bei $N > 10^{-3} N_N$ [h]	Kapsel Nr. Brennstoff (Ges.Bestr.-Zeit) [h]		
	Tag	Pos.					
73a6	11.11.69	49/23	18.2.70	1940,8	$\frac{C10}{UN, UO_2}$	$\frac{C11}{UN, UO_2}$	$\frac{C12}{(1940,8)}$
73a7	11.11.69	53/23	18.2.70	1940,8	$\frac{C7}{UO_2}$	$\frac{C9}{(1940,8)}$	
73a8	18. 2.70	49/23	17.3.70	489,8	$\frac{C7}{(3910,5)}$	$\frac{C10}{UN, UO_2}$	$\frac{C11}{UN, UO_2}$
73a9	17. 3.70	49/23	21.4.70	719,8	$\frac{C10}{(3150,4)}$	$\frac{C11}{(3150,4)}$	$\frac{C17}{UO_2}$
73a10	20. 3.70	53/23	15.7.70	2236,4	$\frac{C14}{UN(2236,4)}$	$\frac{C15}{UO_2}$	$\frac{C16}{UO_2}$
73a11	21. 4.70	49/23	21.9.70	2940,7	$\frac{C13}{UO_2}$	C17	
73a12	15. 7.70	53/23	21.9.70	1424,1	C15	C16	
73a13	21. 9.70	49/23	16.12.70	1382,2	$\frac{C13}{(4322,9)}$	$\frac{C17}{(5042,7)}$	$\frac{C18}{UO_2}$
73a14	21. 9.70	53/23			C15	C16	$\frac{C19}{UO_2}$
73a15	16.12.70	53/31			C18	$\frac{C20}{UO_2}$	$\frac{C21}{UO_2}$

Die Kühlung wird durch freie Konvektion im Moderator gegeben.

3.5.7 Thermionischer Wandler (Proj. FR2/76):

Unter dieser Projekt-Bezeichnung wurde von der Fa. BBC eine weiterentwickelte Version des Proj. FR2/57 (nuklear beheizter Thermionischer Konverter) am 15.12.69 erstmals in der Reaktor-Pos. 47/19 (Zentralkanal, oben) eingebaut.

Die Wirkungsweise eines thermionischen Konverters (zur direkten Stromerzeugung) beruht im wesentlichen auf der unterschiedlichen elektr. Austrittsarbeit von Elektronen aus einem nuklear beheizten Mo-Emitter und einem wasser-gekühlten Mo-Kollektor.

Tabelle 3.13: Bestrahlung/Betriebszeiten Proj. FR2/76

Betr.-Phase	Bestr.-Zeit bei $N > 10^{-3} N_N$	Leistungs-betrieb [h]	mittlere Leistung [W]	Bemerkungen
L/69	547,8	0	-	Testbetrieb in oberster Stellung
A/70	703,2	460	60/120	1 SS, Anlage arbeitet fehlerfrei
B/70	489,8	405	130-140	330 mm mittl. Einfahrtiefe, keine Störung
C/70	719,8	542	130	Einfahrtiefe 330-240 mm
D/70	810,1	707	120-130	Einfahrtiefe 450, 420-370, 330 mm
E/70	706,5	604	120-130	Einfahrtiefe 420-280 mm
F/70	708,9	452	130-110	Einfahrtiefe 480-320 mm Kurzschluß 7.8.70
G/70	-	0	-	kein Leistungs-betrieb
Gesamt	4686,1	3170		

Am 7.8.70 trat ein Kurzschluß in der Diode auf, der trotz intensiver Bemühungen nicht beseitigt werden konnte.

Der Einsatz verblieb in der Betriebsphase G noch im Reaktor (Einfahrtiefe 0 mm). Der Ausbau erfolgte in der Abschaltphase H/70. Nach der Demontage des Einsatzes wurde die Bestrahlungskapsel zur Nachuntersuchung RB/Z übergeben. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Ein weiterer Einsatz ist in Vorbereitung.

3.6 γ -Bestrahlungseinrichtung

Um der wachsenden Nachfrage nach reinen γ -Bestrahlungsmöglichkeiten gerecht zu werden, wurde im ehemaligen Sägebecken der Brennelementlagerhalle eine γ -Bestrahlungseinrichtung (Proj. FR2/40) aufgebaut. Auf 2 konzentrischen Kreisen (Durchmesser 233 und 392 mm) sind 12 abgebrannte, heiße Brennelemente angeordnet. Je nach gewünschter γ -Dosisleistung werden Brennelemente mit einem entsprechenden Abbrand eingebaut. Sie sind in einer Garderobe so abgehängt, daß die Brennstoffzone in das Poolwasser des Lagerbeckens eintaucht. Die darüberliegende Wasserschicht bildet eine ausreichende Abschirmung. Im Zentrum dieser Anordnung befindet sich ein Tauchrohr mit einer lichten Öffnung von 99 mm, so daß auch großvolumige Güter bestrahlt werden können. Über die bisher durchgeführten Bestrahlungen gibt folgende Tabelle Auskunft:

Tabelle 3.14: Bestrahlungen in der γ -Bestrahlungseinrichtung

Proj. Nr.	Bestrahlungsobjekt	Teilproben	Bestr.-Zeit [h]	Empf. γ -Dosis [R]
40-1	Objektive	5	11	$2,86 \times 10^5$
40-2	Lackproben	1	500	$1,40 \times 10^7$
40-3	Si-Gleichrichter	6	44	100×10^3
40-4	Kunstharzproben (Ionentauscherharz)	1	552	$0,9 \times 10^8$
		2	1320	2×10^8
		3+4	1656	$2,4 \times 10^8$
40-5	Kunstharzproben (Ionentauscherharz)	3	1534	$1,38 \times 10^8$
		Rest	2400	$2,45 \times 10^8$
40-6	Harzsorten (Anionenaustauscher)	3	4152	$4,8 \times 10^8$
40-7	Plexiglasproben	1	18	$0,23 \times 10^7$
		2	73	$0,86 \times 10^7$
		3	696	$0,76 \times 10^8$
		4+5	984	$1,15 \times 10^8$
			Ventil mit Teflon-Dichtung	984
40-8	Plexiglasproben	1	7	$0,51 \times 10^6$
		2	32	$0,25 \times 10^7$
		3	151	$0,12 \times 10^8$
		4	384	$0,46 \times 10^8$
		5	648	$0,84 \times 10^8$
		6	912	$1,19 \times 10^8$
		7	1	$0,18 \times 10^6$
		8	5	$0,77 \times 10^6$
40-9	optische Gläser verschiedener Zusammensetzung	33	0,05	5×10^3

Zur Zeit sind in dieser Anordnung γ -Dosisleistungen von max. 500 kR/h erreichbar. Zur Feststellung der aktuellen γ -Dosisleistung wurde eine Meßeinrichtung aufgebaut, die mit einer Ionisationskammer ausgerüstet ist.

4. Eigenüberwachung des FR2

Wie schon in [3] erläutert, wurde der Prüfplan für die in Eigenüberwachung durchzuführenden Wiederholungsprüfungen entsprechend dem Genehmigungsbescheid für die Leistungserhöhung des FR2 vom 26.1.1966 mit dem TÜV abgestimmt. Entsprechend dem Prüfplan für den Reaktor FR2 (Eigenüberwachung) wurde für das kommende Jahr ein Terminleitplan für Funktionsprüfungen 1970 aufgestellt.

In [4] sind die periodischen Prüfungen mit mindestens vierteljährlichen Wiederholungszeitabständen beschrieben. Tägliche und wöchentliche Überprüfungen der Funktion eines Anlagenteils (z.B. Alarmanlage), die man mehr als Kontrollen auffassen kann, sind im Terminleitplan nicht erfaßt. Abb. 4.1 dagegen ist eine Zusammenstellung der kurzfristig wiederkehrenden Prüfungen nach Betriebsanweisung (BAW). Die verwendeten Abkürzungen sind in [4] näher erläutert. Beispielsweise zeigt Abb. 4.2 das Prüfprotokoll für die tägliche Prüfung des Sicherheitssystems bei Reaktorbetrieb.

Nicht in der Zusammenstellung enthalten sind beispielsweise:

Betriebsabwicklung Schaltwarte, H₂O-Notfluten,
zulässige Verzögerungszeit T_v,

Betriebsprotokoll Beladungsänderung, Bestimmung
des Reaktivitätsäquivalents,

Prüfprotokoll Nachweis der notwendigen Abschalt-
reaktivität.

Ebenso muß vor jedem Reaktorstart eine umfangreiche Startliste 'Vorbereitung zum Reaktorstart auf $\emptyset > 10^{-3} \emptyset_N$ ' (bzw. $\emptyset < 10^{-3} \emptyset_N$) vom Schichtpersonal, dem Sachbearbeiter bzw. zuständigen Betriebsmeister ausgefüllt sowie vom

Prüfungen nach BAW 5.1

Ausgabe: O-130370

 Freigabe: *Freigabe*

Benennung:	Formbl. Nr.:	verantw. wortl.	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So			
Akt.Meßst.	160/62/64 161/63	RF					N								N								N								N								N	
Geb.Probealarm	Logb.	RF						III							III								III								III								III	
D ₂ O-Rein.Filt.	219	RF	I							I							I								I								I							
Reaktorleist. u.Energieabg.	146	RBI	I							I							I								I								I							
Zusatzbeleucht.	108	RF	N							N							N								N								N							
Sich.-System (tägl.10-12 ⁰⁰)	147	RF	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
Energievers.SW in DO03/004	100/120	RF	N	II	N	N	N	II	II	N	II	N	N	N	II	II	N	II	N	N	N	II	II	N	II	N	N	N	II	II	N	II	II	N	N	N	II	II	N	
D ₂ O-Bilanz (tägl.24 ⁰⁰)	246	RF	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Sich.-System GW-Einstellung	128/ 1-5	RF RBI												N																										
EE-Leist.Ant. Aufnahme und Auswertung	37/1+2 u.9/2 203	RBI				I																																		
TA-Stäbe vor R'absch.gleichst.	183	SL																																						
Lastbetr.SBA	262	SI/EM-EZ																																						
Probab.Notstr. Aggregat 60kVA	261	RBI																																						
N = Normaldienst	10.+11.W.	—																																						
I = Schicht I	12.-15.W.	—																																						
II = Schicht II	16.-20.W.	13.4. - 19.4.																																						
III = Schicht III	21.+22.W.	18.5. - 24.5.																																						
//// = Abschaltwoche	23. Woche	—																																						
RBI = R-Betr. Ing.	24.-27.W.	—																																						
RF = Reaktorfahrer	28.-32.W.	6.7. - 12.7.																																						
SL = Schichtleiter	33.-37.W.	10.8. - 16.8.																																						

Abb. 4.1

Schichtleiter kontrolliert und gegengezeichnet werden. Für jeden Reaktorstart ist eine FR2-Betriebsgenehmigung notwendig, die evtl. besondere Auflagen für den Reaktorbetrieb und den geplanten Betriebszustand bzw. Änderungen desselben enthält und die Freigabe der Betriebsleitung tragen muß.

Hier sollen auch die Check-Listen für das Anfahren eines jeden Großprojektes erwähnt werden, sie sind entsprechend der Größe der Anlage ziemlich umfangreich.

In Tabelle 4.1 sind die im Jahre 1970 durchgeführten Prüfungen auf Grund der Unfallverhütungsvorschriften angegeben.

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H. KARLSRUHE <h1 style="margin: 0;">Prüfprotokoll</h1> Sicherheitssystem bei Reaktorbetrieb						Blatt Nr.			
Vorprüfungen	Überwachungseinheiten im Geräteraum K1 - K10 (ohne K7) in allen Strängen dDL:								
	Kanäle in 1 v 2 Schaltung: (dürfen nicht geprüft werden)								
	Schlüsselschalter für H ₂ O-Fluten blockiert: (rot)								
Kanal	Strang	Grenzwert signalis.	Anzeige	2v3-Prüf. TA1-16hD	Abschaltl. DL	Bemerkungen			
1b Zähl- rohr-K.	I		s						
	II								
	III								
2b log. Kanal	I		s						
	II								
	III								
3a lin.-K. Fluß	I		ϕ/ϕ_N						
	II								
	III								
3b lin.-K. Periode	I		s						
	II								
	III								
4. Einl.- Temp.	I		°C						
	II								
	III								
5. ΔT -BE Temp.Diff.	I		grd.						
	II								
	III								
6. ΔT -BE Temp.Diff.	I		grd.						
	II								
	III								
7. D ₂ O Druck	I		kp/cm ²			Prüfung bei $\phi > 10^{-3} \phi_N$			
	II								
	III								
8. Aktiv. Halle	I		mr/h						
	II								
	III								
9. D ₂ O-Druck 2 Progr.m	I		/	/	/				
	II								
	III								
9. D ₂ O-Druck 2 Progr.q	I		kp/cm ²	/	/	Ausl. 2v2 wenn 1v2 gesch.			
	II								
	III								
10. Aktiv. Schorn.	I		Ci/h						
	II								
	III								
Ablage bei Betriebsgenehmigung					Dat.	U'schr.			

Tabelle 4.1: Prüfungen im Jahre 1970 aufgrund der Unfallverhütungsvorschriften

1. Durch den TÜV nach VBG 17 Druckbehälter § 24 Absatz 1 - regelmäßige äußere Prüfungen:		
1.1 He-D ₂ O-Kreislauf Rieselkühlbehälter	Pos. 4.1.9/6	am 13.11.70
1.2 Kühlkreis Thermischer Schild Druckbehälter	Pos. 4.2.18/2	am 3.11.70
1.3 Druckluft		
Adsorber A	Pos. 4.4.16/6a	am 13.11.70
Adsorber B	Pos. 4.4.16/6b	am 12.11.70
Druckluftfilter	Pos. 4.4.16/7	am 12.11.70
Druckluftbehälter	Pos. 4.4.16/8a	am 3.11.70
Druckluftbehälter	Pos. 4.4.16/8b	am 3.11.70
Druckluftbehälter	Pos. 4.4.16/8c	am 3.11.70
Druckluftbehälter	Pos. 4.4.16/8d	am 3.11.70
Druckluftbehälter	Pos. 4.4.16/9	am 12.11.70
1.4 FR2/2 Tieftemperatur-Bestrahlungsanlage		
Wärmetauscher	Pos. 2P-Wt 1	am 14.5.70 am 21.5.70 am 17.11.70
Speicherbehälter	Pos. 2C-Bh 1	am 14.5.70
Speicherbehälter	Pos. 2H-Bh 2	am 3.11.70
1.5 FR2/16 Kalte Neutronenquelle		
Helium-Pufferbehälter	Pos. PK-Bh 50	am 23.12.70
Pufferbehälter	Pos. PK-Bh 51	am 23.12.70
Druckgaskühler	Pos. PK-Wt 7	am 23.12.70
Druckgaskühler	Pos. PK-Wt 8	am 23.12.70
Ring-Gegenströmer	Pos. PK-Wt 9	am 23.12.70
Helium-Reiniger I	Pos. PR-Wt 3 PR-Bh 38 PR-Fi 14	am 23.12.70
Helium-Reiniger II	Pos. PR-Bh 39 PR-Wt 4 PR-Fi 15	am 23.12.70
Wasserstoff-Pufferbehälter	Pos. H-Bh 2	am 23.12.70
1.6 FR2/26 Heliumloop		
Druckrohrunterteil	Pos. H-Le 101	am 3.11.70
Staubfilter	Pos. H-Fi 105	am 30.9.70
Halogenfilter	Pos. H-Fi 101	am 17.11.70
Wasserkühler	Pos. H-Wt 101	am 17.11.70
Halogen Adsorber	Pos. H-Fi 102	am 17.11.70
Staubfilter	Pos. H-Fi 103	am 30.11.70
Wärmeaustauscher	Pos. R-Wt 201	am 17.11.70
Erhitzer	Pos. R-H ₂ 201	am 17.11.70
Cu-O-Kontakt	Pos. R-Fi 201	am 17.11.70
Gegenstrom-Wärmeaustauscher	Pos. R-Wt 203	am 30.11.70
Tieftemperatur-Adsorber	Pos. R-Fi 202	am 17.11.70
Auffangtank	S-Bh 401	am 30.9.70
Regenerator	26 K-Rg 1	am 17.11.70
Regenerator	26 K-Rg 2	am 17.11.69
N ₂ -Wärmeaustauscher	26 K-Wt 7	am 17.11.70
N ₂ -Standtank		am 3.11.70

2. Durch den TÜV nach VBG 17 Druckbehälter § 22 Absatz 1 - regelmäßige innere Prüfungen:

- | | | |
|--|--------------|-------------|
| 2.1 Druckluftbehälter in der Technikumshalle | | am 2.12.70 |
| 2.2 FR2/16 Kalte Neutronenquelle | | |
| Druckgaskühler | Pos. PK-Wt 7 | am 23.12.70 |
| Druckgaskühler | Pos. PK-Wt 8 | am 23.12.70 |

3. Nach Aufzug-Verordnung § 6 Absatz 2 Hauptprüfung durch TÜV

- | | | |
|--------------------------------|---------|------------|
| 3.1 Selbstfahreraufzug Bau 605 | 59/2021 | am 12.1.70 |
| 3.2 Selbstfahreraufzug Bau 605 | 59/2022 | am 12.1.70 |
| 3.3 Selbstfahreraufzug Rotunde | 5458/8 | am 12.1.70 |
| 3.4 Selbstfahreraufzug Bau 601 | 5458/34 | am 12.1.70 |

4. Nach VBG 8 Hebezeuge § 94 Absatz 2 wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- 4.1 Rundlaufkran: am 26.11.70 durch den TÜV
- 4.2 In Eigenverantwortung wurden unter Mitwirkung von Ekf/FK, AVW/BW und RB/E sämtliche Hebezeuge im Laufe des Jahres 1970 überprüft.

5. Nach UVV 10 Flurförderzeuge §20 wird der 2,5 t Gabelstapler, Fabrik-Nr. 30626 durch Wartungsvertrag mit dem Lieferer überprüft.
Die übrigen Flurförderzeuge wartet RB/FR2 selbst.

5. Personal

5.1 Zusammensetzung

Die Betriebsmannschaft des FR2 hat im Gegensatz zu anderen Forschungsreaktoren nicht nur den Betrieb des Reaktors einschließlich Wartungsarbeiten und Funktionsprüfungen sondern auch den Betrieb der Experimente als Aufgabe. Außerdem ist der Schichtleiter des FR2 gleichzeitig Einsatzleiter vom Dienst (EvD) für das gesamte Kernforschungszentrum.

Eine Übersicht über den Personalstand der Fachgruppen gibt die Tabelle 5.1, Stand 31.12.70. Zahlen in Klammern Stand 31.12.69.

Tabelle 5.1: Personalstand der Fachgruppen

Leitung	5	(5)		
Betriebsbüro und Sekretariat	4	(4)		
<u>Tagesdienst</u> RBI	8	(5)	RBI	= Reaktorbetriebs- Ingenieur
BM	6	(6)	BM	= Betriebsmeister
RT	14	(11)	RF	= Reaktorfahrer
AF	3	(4)	RT	= Reaktortechniker
HA	6	(6)	AF	= Anlagen- und Kran- Fahrer
Tagesdienst- personal (Schichtvertreter)	46	(41)	HA	= Hilfsarbeiter (Transport- und Dekontarbeiter)
<u>Schichtdienst</u> (für 5 Schichten)				
Schichtleiter und EvD	5	(5)		
Schichtleiter- Stellvertreter	5	(5)		
RBI	5	(5)		
RF	10	(10)		
RT	10	(10)		
AF	4	(4)		
Schichtpersonal	39	(39)	gesamt	= 85 (80)

Der Normalstand der Betriebsingenieure (RBI) ohne Schichtleiter und Stellvertreter in der Schicht beträgt 5 Mitarbeiter, da es insgesamt 5 Schichten sind, also 1 RBI pro Schichtgruppe. Bedingt durch die 5 personalintensiven Großexperimente hat jede Schichtgruppe außer 1 Reaktorfahrer für den Betrieb des FR2 in der Schaltwarte noch 1 Reaktorfahrer für Experimente.

Eine Einteilung nach Ausbildungsstand wird in Tabelle 5.2 vorgenommen, Stand 31.12.70 (Zahlen in Klammern Stand 31.12.69/31.12.68/31.12.67). Die Reaktorbetriebsingenieure wurden bewußt aus den Reihen der Reaktorfahrer ergänzt. Manche Techniker und Meister haben sich im Laufe ihrer Betriebszugehörigkeit von der komplexen Anlage des FR2 mit allen seinen Hilfsanlagen und den umfangreichen Großexperimenten eine solch gute Kenntnis erworben, daß sie für Ingenieuraufgaben eingesetzt werden können. Auch dies ist eine Form der Einsparung, die aber nur behutsam über eine längere Zeit mit vollem Bewußtsein der darin liegenden Verantwortung durchgeführt werden kann.

Tabelle 5.2: Personaleinteilung nach Ausbildung

Akademiker	6 (6 / 7 / 10)
Ingenieure (grad.)	15 (15 / 17 / 12)
Betriebsingenieure	7 (4 / 4 / 4)
Sachbearbeiter	3 (3 / 3 / 2)
Betriebsmeister	6 (6 / 6 / 6)
Reaktorfahrer	10 (10 / 5 / 5)
Reaktortechniker	24 (21 / 25 / 25)
Anlagen- und Kranfahrer	7 (8 / 7 / 6)
Hilfsarbeiter	6 (6 / 6 / 7)
Sekretariat	1 (1 / 1 / 1)

In Tabelle 5.3 sind die Gesamtarbeitsstunden der RB/FR2-Mitarbeiter im Jahre 1970 ohne Fehlzeiten vereinfacht berechnet. Das Durchschnittsalter der Angestellten be-

trägt 30 - 40 Jahre, das der Arbeiter liegt über 40 Jahre. Entsprechend den durchschnittlichen Tarifgruppen wurde die mittlere Urlaubszeit errechnet. Für die Anzahl der Mitarbeiter wurde der Stand vom 31.12.69 zugrundegelegt.

Tabelle 5.3: Gesamtarbeitsstunden der RB/FR2-Mitarbeiter im Jahre 1970 ohne Krankheitszeiten

1. Urlaubstage der Mitarbeiter im Durchschnitt:

Angestellte BAT Ib-IVa	(30-40 Jahre)	25 d/a
Angestellte BAT IVb-VII	(30-40 Jahre)	22 d/a
Arbeiter	(> 40 Jahre)	26 d/a
Durchschnitt		<hr/> 24 d/a

2. Arbeitstage im Jahre 1970:

365	d/a	} 249 d
- 104	Sa+So	
- 12	Feiertage	
- 2	GfK-Sondertage (Betr.-Ausfl. + 2 x 1/2 d)	
- 24	Urlaub)	
<hr/> 223	d/a	

3. Wochenarbeitsstunden: 43 h

$$\frac{43}{5} = 8,6 \text{ h/d im Mittel}$$

4. Nettoarbeitsstunden für den Mitarbeiter:

$$223 \text{ d/a} \times 8,6 \text{ h/d} = 1.917,8 \text{ h/a (im Jahre 1969: } 1.922,1 \text{ h/a)}$$

5. Anzahl der Mitarbeiter der Gruppe RB/FR2, Stand 31.12.1969:

80 Mitarbeiter

6. Gesamtarbeitsstunden:

$$80 \times 1.917,8 \text{ h/a} = 153.424,0 \text{ h}$$

Die Tabelle 5.3 gibt die 'Erwartung' für das Jahr 1970 wieder. Auf Grund der tatsächlichen Gegebenheiten wurde dann Tabelle 5.4 erstellt, die sich in der Errechnung der relativen Krankheitszeit an die bei der Personalabteilung übliche Berechnungsweise anlehnt, um einen Vergleich durchführen zu können.

Tabelle 5.4: Urlaubs- und Krankheitszeiten der RB/FR2-Mitarbeiter im Jahre 1970

1.	Durchschnittliche Zahl der Mitarbeiter im Jahre 1970		84,4
2.	Urlaub	2.001 d	
	Sonderurlaub	40 d	
		gesamt	2041 d
3.	Durchschnittliche Urlaubstage	$(\frac{2041}{84,4})$	24,2 d
4.	Ausfallzeit durch Krankheit (keine Arbeitsunfälle)		941 d
	Ausfallzeit durch Arbeitsunfälle (25 d)		966 d
5.	Durchschnittliche Ausfallzeit durch Krankheit	$(\frac{941}{84,4})$	11,1 d
	einschl. Arbeitsunfälle	$(\frac{966}{84,4})$	11,4 d
6.	Gesamtausfallzeit		3007 d
7.	Durchschnittliche Gesamtausfallzeit	$(\frac{3007}{84,4})$	35,6 d
8.	Arbeitstage		
	365 d/a		
-	104 Sa+So		
-	12 Feiertage		
-	24 Urlaub		
	<hr/>		
	225 d/a		
9.	Krankheitszeit in % der Arbeitstage		
	$(\frac{100 \cdot 11,1}{225})$		4,94 %
	Krankheitszeit einschließlich Arbeitsunfälle in % der Arbeitstage		
	$(\frac{100 \cdot 11,4}{225})$		5,07 %

Die relative Krankheitszeit von 5,1 % bei RB/FR2 liegt im Vergleich zum gesamten Kernforschungszentrum mit 4,6 % ausgezeichnet, wenn berücksichtigt wird, daß rd. die Hälfte des Personals im Wechselschichtdienst tätig ist und damit einer größeren körperlichen Beanspruchung ausgesetzt ist; außerdem waren allein 10 Mitarbeiter (das sind 12 % des Personals) in diesem Jahr im Krankenhaus. Davon wiederum 4 Mitarbeiter mit insgesamt 315 Tagen. Das sind 1/3 der gesamten Ausfallzeit durch Krankheit.

5.2 Strahlenbelastung der Mitarbeiter

Die Strahlenbelastung der am FR2 tätigen Mitarbeiter blieb deutlich unter der gesetzlich zugelassenen Höchstgrenze. Nennenswerte Personenkontaminationen erfolgten nicht.

Auf Grund der Auswertung der Film- und Glasdosimeter liegt bei 5 Mitarbeitern die Jahresdosis zwischen 2,5 und 3,0 rem, vier weitere erhielten zwischen 2,0 und 2,5 rem.

In den Grenzen 1,5 bis 2,0 rem liegen 9 und 11 Mitarbeiter haben eine Strahlendosis zwischen 1,0 und 1,5 rem abbekommen. Siehe auch [5].

5.3 Schulung

Da der Genehmigungsbescheid für den Betrieb des FR2 ausdrücklich eine gute Ausbildung des Betriebspersonals fordert, wurden auch im Jahre 1970 die von der Schule für Kerntechnik (SKT) gebotenen Möglichkeiten weitgehend genutzt. Es nahmen 2 Ingenieure am 15-Wochen-Lehrgang für Reaktorbetriebsingenieure teil. Den Kurs 'Einführung in die Datenverarbeitung' belegten 6 Mitarbeiter. Am 4-Wochen-Reaktoroperateurkurs nahmen 4 und am Einführungskurs in die Kernstrahlenmeßtechnik 2 Mitarbeiter teil.

Außer in der Urlaubszeit wurden für die Mitarbeiter einmal in der Woche Vorträge im Rahmen der innerbetrieblichen Ausbildung veranstaltet, um das Wissen über die komplexen Anlagen des FR2 zu vertiefen bzw. zu erweitern. Es wurden 21 Einzelvorträge mit einer durchschnittlichen Teilnehmerzahl von 27 Mann je Vortrag durchgeführt.

Bei Schadensfällen innerhalb der D₂O-, He- und Projektkreisläufe muß das Personal vor Ort unter schwerem Atemschutz arbeiten. Für das Training wurden für fast alle RB/FR2-Mitarbeiter Ausbildungslehrgänge und Wiederholungen für das Arbeiten unter schwerem Atemschutz durchgeführt.

5.4 Fachbesucher

Insgesamt 289 Fachbesucher haben den FR2 besichtigt.

6. Ausblick

Für das Jahr 1971 sind wiederum 10 Betriebsphasen mit jeweils 4 Betriebswochen und 1 Abschaltwoche vorgesehen, außer der Phase B mit 3 Wochen. An längeren Abschaltphasen sind 3 geplant mit je 2 Wochen, die über das Jahr verteilt sind.

Die Reaktornennleistung wird weiterhin 44 MW betragen. Im Verlauf des Jahres 1971 ist eine weitere Erhöhung des Abbrandes zu erwarten.

Nach erfolgtem Umbau ist die Wiederinbetriebnahme des Hüllschadendampfkreislaufes (Proj. FR2/55a) für das Jahr 1971 geplant.

Bei den Kapselversuchseinsätzen sind zwei weitere Versuchsgruppen in Vorbereitung:

kombinierte NaK/PbBi-Kapseln mit Vanadin-Hüllrohren und 4 mm-Prüflingen für Brennstabtest des SHTR (FR3), einwandige NaK-Kapseln zur Bestrahlung von UC und PuC.

Im Auftrag des zweiten physikalischen Instituts der Universität Heidelberg (Prof. zu Puttlitz) wird ein Experiment (Proj. FR2/82) an einem Kanal der thermischen Säule des FR2 vorbereitet, das der Messung magnetischer Momente an Cäsium-Kernen dienen soll. Die Konstruktion des Abschirmstopfens wurde abgeschlossen (Wärmeabfuhr, Aktivität der Strukturmaterialien und Spaltprodukte sowie die erforderliche Abschirmung wurden berechnet).

Im Rahmen des Projektes (FR2/85) sollen künftig Bestrahlungen von Transplutoniumelementen für das Projekt PACT durchgeführt werden.

Untersuchungen der Spannungsrißkorrosion (Proj. FR2/83):

Im Max-Planck-Institut für Metallforschung Stuttgart wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Projektes FR2/67 (siehe [4_7]) Vorversuche zur Festlegung des Korrosionssystems durchgeführt, die bis Jahresende nahezu abgeschlossen wurden. Zur Materialauswahl für den Bestrahlungseinsatz wurden in einer Lösung Korrosionsversuche mit Edelstählen, Incoloy 800, Inconel 625 und Zirkaloy 2 durchgeführt, wobei sich die beiden letzteren Legierungen als am besten geeignet erwiesen.

7. Beratertätigkeit, Bibliographie

7.1 Beratertätigkeit

7.1.1 IEC, SC 45 A: Reaktorinstrumentierung

7.1.2 Vertretung der GfK in der Arbeitsgemeinschaft für Betriebs- und Sicherheitsfragen an Forschungsreaktoren

7.2 Bibliographie

- [1] W. Steiger: 'Betriebsbericht über den Forschungsreaktor FR2 für das Jahr 1966'
(KFK-Bericht Nr. 688)
- [2] W. Steiger: 'Betriebsbericht über den Forschungsreaktor FR2 für das Jahr 1967'
(KFK-Externer Bericht Nr.15/68-2)
- [3] W. Steiger: 'Betriebsbericht über den Forschungsreaktor FR2 für das Jahr 1968'
(KFK-Bericht Nr. 742)
- [4] W. Steiger,
D. Wildberg: 'Betriebsbericht für den Forschungsreaktor FR2 für das Jahr 1969'
(KFK-Bericht Nr. 746)
- [5] H. Kiefer,
W. Koelzer: Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Jahresbericht 1970
(KFK-Bericht Nr. 1365)

- [6] H. Krause: Abteilung Dekontaminationsbetriebe, Jahresbericht 1970 (KFK-Bericht Nr. 1500)
- [7] H. Schuelken: Ein schneller Detektor zur Aufnahme thermischer Neutronenflußdichteprofile in den Isotopenkanälen des FR2 (KFK-Bericht Nr. 1355)
- [8] J. Tucek,
R. Wiechers: Prüfung von bestrahlten Brennelementen mit einem 18 MeV-Betatron (Kerntechnik, 13/1971, S. 78-81)
- [9] G. Neffe,
W. Knappschneider: Zusammenstellung der wichtigsten Daten der Brennstoffkapselbestrahlung im FR2 (RB-Notiz Nr. 23/70) x)
- [10] H. Ass,
K. Hain,
W. Kramer,
E. Waibel,
A. Zimmermann: Heißdampfkreislauf für den FR2 zu Kontaminationsstudien (HDK-Loop) (KFK-Bericht Nr. 1308)
- [11] S. Jacobi,
J. Rautenberg,
H. Beitner,
W. Golly,
U. Kujath,
M. Link,
D. Perinic,
F. Remmel,
T. Schmidt,
G. Schmitz,
R. Schneider: Der Hülschaden-Dampfkreislauf (HSD-Loop) (KFK-Bericht Nr. 1255)

x) Diese Literatur ist zum Verständnis dieses Berichtes nicht notwendig und nur einem bestimmten Personenkreis zugänglich.

- [12] H. Häfner,
K. Philipp: FR2-Bestrahlungskapsel zur
Untersuchung des Brennstoff-
schwellens
(KFK-Bericht Nr. 1398)
- [13] G. Gausmann,
K. Vogel: FR2-Bestrahlungskapsel für
Verträglichkeitsuntersuchungen
(Vortrag Euratom Arbeitsgruppe
für Bestrahlungseinrichtungen
am 8./9.10.70 im KFZK)
- [14] H. Enderlein: Nachuntersuchung an einem
bestrahlten thermionischen
Wandler
(Kerntechnik, 13/1971, S.24-29)
- [15] IRS: 'Wiederholungsprüfungen,
Empfehlungen zu regelmäßig
wiederkehrenden Prüfungen
der Sicherheit von Kernkraft-
werken durch unabhängige Sach-
verständige'
(Institut für Reaktorsicher-
heit, IRS-R-1, Ausgabe 1969)
- [16] G. Wirtz: Das Betriebssystem der inte-
grierten Doppelcomputeranlage
MIDAS am FR2 (Programmbe-
schreibung)

8. Tabellen und Diagramme

Tabelle 8.1	Betriebsverlauf des FR2 im Jahre 1970
Tabelle 8.2	Betriebsunterbrechungen und Leistungsrücknahmen innerhalb der planmäßigen Reaktorbetriebszeit
Tabelle 8.3	Reaktorabschaltungen im Jahre 1970
Tabelle 8.4	Leistungsrücknahmen innerhalb der planmäßigen Betriebszeit 1970
Formblätter Nr. 148/46 - 148/55	Reaktorleistung in den Betriebsphasen A bis K 1970
Formblätter Nr. 9/4	Beladungs- und Belegungspläne Betriebsphasen A - K 1970
Formblätter Nr. 203	BE-Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW Reaktorleistung Betriebsphasen A - K 1970
Formblätter Nr. 183/38 - 183/47	Kritische Trimmstabstellung Betriebsphasen A - K 1970
Formblatt Nr. 9b	Beladungsplan für Isotopenkanal- Positionen Iso/10

Tabelle 8.1: Betriebsdaten des FR2 im Jahre 1970

1 v 3

Zeit	Betr.-Phase	Woche Nr.	Energieabgabe		Betriebsstunden						Ausfallzeit (Reaktor abgeschaltet)		Verm. Reaktorleistung (< 43 MW bis 43 MW)		Vorgang	
			[MWh]	[MWd]	$N < 10^{-3} N_N$ [h]	N_N [h]	$N > 10^{-3} N_N$ [h]	N_N [h]	$N > 43$ MW [h]	[h]	Gesamt [h]	[h]	[h]	[h]		[h]
01.1. 0 ⁰⁰	L/69	1.	4281,73		0,00		96,01		96,00		96,00	0,00		0,00		2xLR
12.1. 8 ¹⁰		2.	7220,07		0,00		168,00		159,37		168,00	0,00		8,63		
		3.	358,02		0,02		8,15		8,00		8,17	0,00		0,17		
			11859,82	494,16		0,02	272,16		263,37		272,17	0,00		8,80		
12.1. 8 ¹⁰	A/70	3.	1150,98		25,83		29,51		13,98		55,34	13,58		16,30		1xLB 1xSV 2xLR 1xSS 3xLR 1xLB
		4.	7048,08		3,26		161,50		155,29		164,76	3,23		12,79		
		5.	6837,07		0,81		163,27		150,32		164,08	3,92		17,30		
		6.	7408,85		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00		
		7.	7416,05		0,00		167,99		168,00		168,00	0,00		0,00		
16.2. 12 ⁵³		8.	549,78		0,00		12,90		11,25		12,90	0,00		1,20		1xLR
			30410,81	1267,11		29,90	703,17		666,84		733,08	20,73		47,59		
16.2. 12 ⁵³	B/70	8.	0,00		56,31		0,00		0,00		56,36	0,00		47,67		1xLB 1xSS 1xLB
		9.	6316,95		21,11		146,66		139,67		167,77	0,25		24,55		
		10.	7444,30		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00		
		11.	6868,60		0,35		166,99		149,98		167,33	0,68		17,70		
16.3. 8 ⁰⁹		12.	356,27		0,00		8,16		8,05		8,16	0,00		0,07		1xSS 3xLR
			20986,12	874,42		77,77	489,81		465,70		567,57	0,93		89,99		
16.3. 8 ⁰⁹	C/70	12.	1890,31		19,71		44,98		38,11		64,69	0,00		0,00		1xSS 1xLB 1xSS 1xLR
		13.	7232,41		2,42		164,80		162,46		167,20	0,80		5,68		
		14.	7312,55		0,40		166,95		165,13		167,33	0,67		3,46		
		15.	7401,42		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00		
		16.	7337,95		0,45		166,92		165,54		167,37	0,63		3,12		
20.4. 8 ¹¹		17.	356,30		0,03		8,15		8,03		8,18	0,00		0,15		
			31530,94	1313,79		23,01	719,80		707,27		742,77	2,10		12,41		

Tabelle 8.1: Betriebsdaten des FR2 im Jahre 1970

Zeit	Betr.- Phase	Woche Nr.	Energieabgabe		Betriebsstunden					Ausfallzeit (Reaktor ab- geschaltet)		Verm. Reaktorleistung (< 43 MW bis 43 MW)		Vor- gang
			[MWh]	[Mwd]	$N < 10^{-3} N_N$ [h]	N_N [h]	$N > 10^{-3} N_N$ [h]	N_N [h]	$N > 43 \text{ MW}$ [h]	Gesamt [h]	[h]	[h]	[h]	
20.4. 8 ¹¹	D/70	17.	796,44		18,31		28,51		0,00		46,82	10,88	58,75	1xSV 1xLR 1xLR 1xLR 1xSS
		18.	6966,82		3,80		162,88		148,34		166,68	1,32	6,88	
		19.	7418,32		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		20.	7430,08		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		21.	4341,27		3,27		107,56		88,84		110,83	57,17	79,40	
01.6. 8 ⁰⁹		22.	7380,83		0,35		167,02		166,11		167,37	0,63	1,75	1xLR 3xAB 1xSS
		23.	356,97		0,00		8,14		8,02		8,13	0,00	0,13	
			34691,33	1445,47		25,73		810,11		747,31		835,83	70,00	
01.6. 8 ⁰⁹	E'/70	23.	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00		
13.6. 0 ⁵³		24.	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00		
13.6. 0 ⁵³	E/70	24.	1481,22		7,87		39,26		26,91		47,13	0,00	0,12	1xLR 2xLR 1xSS
		25.	6762,60		2,88		155,14		149,95		158,02	9,98	18,30	
		26.	7413,99		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		27.	7402,59		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		28.	7406,92		0,00		167,98		168,00		167,98	0,00	0,85	
13.7. 8 ⁰⁵		29.	354,57		0,00		8,10		8,07		8,09	0,00	0,02	1xLR 1xSS
			30821,89	1284,25		10,75		706,48		688,93		717,22	9,98	19,29
13.7. 8 ⁰⁵	F/70	29.	1054,75		14,77		28,83		17,47		43,61	8,86	21,03	1xLB, 1xAB 2xSS, 2xLR
		30.	7416,05		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		31.	7398,79		0,00		167,99		168,00		167,99	0,00	0,00	
		32.	7393,64		0,00		167,99		168,00		167,99	0,00	0,00	
		33.	7395,57		0,00		168,04		168,00		168,04	0,00	0,00	
17.8. 8 ⁰¹		34.	354,56		0,00		8,02		8,02		8,02	0,00	0,00	
			31013,36	1292,22		14,77		708,87		697,49		723,65	8,86	21,03
17.8. 8 ⁰¹	G/70	34.	1342,52		10,51		35,15		24,27		45,66	0,90	5,57	1xLR 1xAB
		35.	7414,29		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		36.	7412,82		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		37.	7413,99		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00	0,00	
		38.	7402,59		0,00		167,99		168,00		167,99	0,00	0,00	
21.9. 8 ⁰⁶		39.	356,27		0,00		8,10		8,10		8,10	0,00	0,00	
			31342,48	1305,94		10,51		715,24		704,37		725,75	0,90	5,57

Tabelle 8.1: Betriebsdaten des FR2 im Jahre 1970

Zeit	Betr.-Phase	Woche Nr.	Energieabgabe		Betriebsstunden						Ausfallzeit (Reaktor abgeschaltet)		Verm. Reaktorleistung (< 43 MW bis 43 MW)		Vorgang
			[MWh]	[MWd]	$N < 10^{-3} N_N$ [h]	N_N [h]	$N > 10^{-3} N_N$ [h]	N_N [h]	$N > 43$ MW [h]	Gesamt [h]	[h]	[h]	[h]	[h]	
21.9. 8 ⁰⁶	H/70	39.	1124,66		7,07		28,72		19,15		35,79	15,65		16,77	1xSV 1xSS
		40.	7404,05		0,00		167,99		168,00		167,98	0,00		0,00	
		41.	7388,84		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00	
		42.	7403,47		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00	
		43.	7414,58		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00	
26.10. 10 ²⁴		44.	456,89		0,00		10,42		10,32		10,41	0,00		0,13	
			31192,49	1299,69	7,07		711,13		701,47		718,18	15,65		16,90	
26.10. 10 ²⁴	I'/70	44.	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
		45.	0,00		5,93		0,00		0,00		5,93	0,00		0,00	
13.11. 24 ⁰⁰		46.	0,00		0,70		0,00		0,00		0,00	0,00		0,00	
14.11. 0 ⁰⁰	I/70	46.	81,32		7,92		3,79		0,00		11,71	17,00		32,12	1xSV 2xSS 1xSS 1xAB
		47.	7405,99		0,58		164,97		149,36		165,54	2,46		15,05	
		48.	6910,90		0,86		158,14		153,87		159,00	9,00		14,12	
		49.	7420,14		0,00		168,01		168,00		168,00	0,00		0,00	
		50.	7414,88		0,00		168,00		168,00		168,00	0,00		0,00	
14.12. 8 ⁰⁹		51.	354,63		0,00		8,15		8,02		8,15	0,00		0,15	
			29287,86	1220,33	15,27		671,06		647,25		686,33	28,46	(< 9 MW)	61,44	
14.12. 8 ⁰⁹	K/70	51.	316,95		16,55		35,77		0,00		52,32	5,40		6,23	1xAB 1xLR
		52.	1680,00		168,00		168,00		0,00		168,00	0,00		1,07	
		53.	960,00		0,00		96,00		0,00		96,00	0,00		0,00	
			2956,95	123,20	16,55		299,77		0,00		316,32	5,40		7,30	
1.1.1970 0 ⁰⁰ bis 31.12.70 24 ⁰⁰			286094,05	11920,58	231,35		6807,60		6290,00		7038,87	163,01		437,23	
					= 9,64 d		= 283,65 d ≈ 77,71 %		= 262,08 d ≈ 71,80 %		= 293,29 d ≈ 80,35 %	= 6,79 d		= 18,21 d	
Betriebszeit nach Plan 289 d (Vollast 44 MW) ≈ 100 %							≈ 98,15 %		≈ 90,69 %						

Mittlere Leistung bei Betriebszeiten $N > 10^{-3} N_N$: 42,03 MW
43,51 MW (ohne Berücksichtigung des 10 MW-Betriebes v. 19.12.70 bis 31.12.70)

Abkürzungen: LB - Leistungsbegrenzung
LR - Leistungsrücknahme (von Hand)
AB - Reaktorabschaltung (von Hand)

SS - Schnellabschaltung (autom. Schnellschluß)
SV - Startverzögerung

} nähere Aufschlüsselung
siehe folgende Tabelle

Tabelle 8.2: Betriebsunterbrechungen, Leistungsrücknahmen und Leistungsbegrenzungen innerhalb der planmäßigen Reaktorbetriebszeit 1970

Betr. Phase	Woche Nr.	Datum	Zeit		Vor-gang	Bemerkungen	Reaktor ab-geschaltet [h]	A u s f a l l z e i t e n verminderte Reaktorleistung		
			von	bis				$N < 10^{-3} N_N$ [h]	$< 43 \text{ MW} \div 43 \text{ MW}$ [h]	Leist.-Begr. [h]
L/69	2.	07.01.70	08.33	13.48	LR	nach Plan für Proj. FR2/55 } Versuchsprogramm nach Plan für Proj. FR2/55 }	-	-	5,25	-
	2.	07.01.70	17.00	20.23	LR		-	-	3,38	-
A/70	3.	17.01.70	04.23	17.58	SV	wegen Verzögerung von Reparatur- und Wartungsarbeiten	13,58	-	13,58	-
	3.	17.01.70	21.26		LB	auf 32 MW wegen Proj. FR2/36 (KVE-67)	-	-	2,72	2,72
		18.01.70		00.09						
	4.	19.01.70	16.05	18.42	LR	undichte Schleusenklappe im Versuchseinsatz von Proj. FR2/26	-	-	2,62	-
	4.	21.01.70	10.16	11.42	LR	wegen Suche nach Gasführungskolben im Versuchseinsatz von Proj. FR2/26	-	0,17	1,43	-
	4.	22.01.70	16.26	17.03	SS	Kanal 7/I-III durch Erdbeben (Pu Pos. 1.5 Schalterfall E-Zentrale)	0,62	0,35	2,40	-
	4.	23.01.70	10.28	11.27	SS	Spannungsausfall KFZK (20 kV-Einspeisung EZ 1a)	0,99	0,35	2,45	-
	4.	23.01.70	13.45	14.33	SS	Spannungsausfall KFZK (20 kV-Einspeisung EZ 1a)	0,80	0,47	2,16	-
	4.	23.01.70	18.26	19.15	SS	Proj. FR2/76 (uGW Diodenstrom)	0,82	0,33	1,73	-
	5.	28.01.70	06.40	06.55	LR	nach Plan für Proj. FR2/26 (Ausbau VE)	-	0,05	0,25	-
	5.	28.01.70	06.55	08.25	AB	über Kanal 8/IuIII nach Plan (Ausbau VE Proj. FR2/26)	3,92	0,76	7,72	-
	5.	28.01.70	14.38	17.01	LR	nach Plan für Proj. FR2/55 (Aktivitätsmessungen)	-	-	5,98	-
5.	29.01.70	02.00	05.21	LR	nach Plan für Proj. FR2/55 (Aktivitätsmessungen)	-	-	3,35	-	
8.	16.02.70	06.25	07.37	LR	nach Plan für Proj. FR2/55 (Aktivitätsmessungen)	-	-	1,20	-	
B/70	8./9.	21.02.70	00.20		LB	auf $N < 10^{-3} N_N$ wegen Proj. FR2/55 bei Reaktorstart	-	68,55	68,55	68,55
		23.02.70		20.53		(Undichtheit an Probenhalterung)				
	9.	23.02.70	20.53	21.08	SS	Kanal 3a/IuII bei Bereichsumschaltung (Reaktorleistung $N < 10^{-3} N_N$)	0,25	0,23	0,25	-
	9.	24.02.70	04.20	07.45	LB	begrenzt auf 43 MW wegen Proj. FR2/36 und 73b (KVE 67 und 69)	-	-	3,42	3,42
	11.	09.03.70	19.52							
		10.03.70		02.01	LR	wegen Proj. FR2/55 (Vakuuzusammenbruch)	-	-	6,15	-
	11.	10.03.70	10.49	11.30	SS	Kanal 8/I,II,III wegen Fehlbedienung BE-Flasche	0,68	0,35	2,07	-
11.	13.03.70	00.00	06.17	LR	nach Plan für Proj. FR2/55 (Versuchsbetrieb)	-	-	6,28	-	
11.	13.03.70	09.00	12.17	LR	nach Plan für Proj. FR2/55 (Versuchsbetrieb)	-	-	3,20	-	
C/70	13.	23.03.70	13.47	14.35	SS	Proj. FR2/44 (Rohrpost), 44 P-Q 2	0,80	0,41	3,67	-
	13.	23.03.70	15.00	17.01	LB	auf $N < 10^{-3} N_N$, kein Hochfahren von IA-Stab Pos. 8 + 16	-	2,01	2,01	2,01
	14.	01.04.70	16.30	16.44	LR	wegen Proj. FR2/55 (Vorwarnung Druckrohrtemp. > 520 °C)	-	-	0,23	-
	14.	04.04.70	13.54	14.34	SS	Spannungsausfall KFZK (20 kV-Einspeisung EZ 1a)	0,67	0,40	3,23	-
	16.	16.04.70	12.13	12.51	SS	Kanal 7/I,II,III wegen Proj. FR2/58 (Fluten Pu 103)	0,63	0,45	3,12	-

Tabelle 8.2: Betriebsunterbrechungen, Leistungsrücknahmen und Leistungsbegrenzungen innerhalb der planmäßigen Reaktorbetriebszeit 1970

2 v 3

Betr. Phase	Woche Nr.	Datum	Zeit		Vorgang	Bemerkungen	Reaktor abgeschaltet [h]	Ausfallzeiten		
			von	bis				verminderte Reaktorleistung		Leist.-Begr. [h]
							$N < 10^{-3} N_N$	$< 43 \text{ MW} \div 43 \text{ MW}$		
							[h]	[h]	[h]	
D/70	17.	24.04.70	23.15		SV	wegen Inbetriebnahme Proj. FR2/58 (Einbau Le0 ohne Brennstoff)	10,88	7,64	23,80	-
		25.04.70		17.46						
	17.	25.04.70	23.03	23.34	LR	Einbau Proj. FR2/59 (Co-Beladung) wegen zu hoher BE-Temperatur im NW-Quadranten infolge Ausbaus von Proj. FR2/55	-	-	0,52	-
	17.	25.04.70	23.34		LB	auf $\approx 30 \text{ MW}$ wegen zu hoher Temperatur am Proj. FR2/64	-	-	34,43	34,43
	18.	27.04.70		10.00						
	18.	27.04.70	10.00	11.11	LR	Ausbau Proj. FR2/64	-	0,62	1,18	-
	18.	27.04.70	18.06	19.25	SS	wegen Proj. FR2/26 (Frequenzumformer defekt, deswegen Ausbau Kurzzeitbestrahlungseinsatz)	1,32	3,18	5,70	-
	21.	19.05.70	08.00	08.08	LR	für Proj. FR2/58 (Ausbau Le0, Einbau Le7 und Umsetzen Le7),				
	21.	19.05.70	08.08		AB	für Proj. FR2/26 (Einbau Kurzzeitbestrahlungseinsatz nach Reparatur	46,92	2,49	62,27	-
		21.05.70		07.03		Frequenzumformer), für Proj. FR2/64 (Ein- u. Ausbau, Einsatz defekt)				
	21.	21.05.70	22.16	23.31	AB	wegen Proj. FR2/58 (verdacht auf Hüllschaden Le7)	1,25	0,28	3,35	-
21.	22.05.70	01.37	10.38	AB	wegen Proj. FR2/58 (Ausbau Le7 wegen Hüllschaden)	9,01	0,47	13,78	-	
22.	25.05.70	11.51	12.29	SS	Kanal 8/I,II,III (beim Einfahren von Proj. FR2/58a-4 und -5 in KVE-Flasche über MZ-Reaktor)	0,63	0,35	1,75	-	
E/70	24.	13.06.70	09.24	09.31	LR	bedingt durch Anfahrprogramm Proj. FR2/58	-	-	0,12	-
	25.	16.06.70	11.06	11.10	LR	wegen Proj. FR2/58 (Einstellung Regelventil P-Vo205)	-	-	0,07	-
	25.	19.06.70	15.24	17.46	LR	wegen Proj. FR2/77 (Ausbau KVE-75), dabei TA-Stab-Antrieb-Defekt Pos. 15 festgestellt	-	2,23	2,37	-
	25.	19.06.70	17.46		SS	Kanal 3a/II,III beim Antriebwechsel von TA-Stab Pos. 15	9,98	0,65	15,86	-
		20.06.70		03.45						
	28.	06.07.70	09.42	10.05	LR	bei Ausbau Iso-Beladung Nr. 1-70-146b (Cd-Abschirmung)	-	-	0,85	-
29.	13.07.70	08.05	-	SS	wegen Proj. FR2/58 bei Erprobungsprogramm (unplanmäßig), keine Ausfallzeit, da gleichzeitig Beginn Abschaltwoche F'/70					
F/70	29.	18.07.70	01.05	08.32	LB	auf $N < 10^{-3} N_N$ wegen TA-Stab-Antriebwechsel Pos. 4	-	7,45	7,45	7,45
	29.	18.07.70	08.47	12.26	SS	Proj. FR2/2 (Fehlbedienung, dabei TA-Stab-Antrieb Pos. 1 gewechselt)	3,65	0,18	3,83	-
	29.	18.07.70	17.20	17.27	LR	wegen Dichtungswechsel am TA-Stab Pos. 1	-	0,02	0,12	-
	29.	18.07.70	17.27	21.10	AB	wegen BE-Umsetzung (zu hohe BE-Kühlmittelaufheizung im NW-Quadranten)	3,72	0,23	4,97	-
	29.	18.07.70	22.25	23.26	LR	wegen Durchflußstörung an KVE-75 (Proj. FR2/77)	-	0,93	1,01	-
	29.	18.07.70	23.26		SS	Kanal 3b/I,II,III (beim Trichterverschluß-Ausbau für KVE-75)	1,49	0,48	3,65	-
		19.07.70		00.55						

Tabelle 8.2: Betriebsunterbrechungen, Leistungsrücknahmen und Leistungsbegrenzungen innerhalb der planmäßigen Reaktorbetriebszeit 1970

3 v 3

Betr. Phase	Woche Nr.	Datum	Zeit		Vorgang	Bemerkungen	Reaktor abgeschaltet [h]	Ausfallzeiten		
			von	bis				verminderte Reaktorleistung		Leist.-Begr. [h]
								$N < 10^{-3} N_N$ [h]	$< 43 \text{ MW} \div 43 \text{ MW}$ [h]	
G/70	34.	22.08.70	13.46	15.14	LR	auf $N < 10^{-3} N_N$ wegen Müllschadenanzeige an BE8-43 (Pos. 40/32) wegen BE-Wechsel und Umsetzung	-	1,37	1,47	-
	34.	22.08.70	15.14	16.07	AB		0,90	0,77	4,10	-
H/70	39.	26.09.70	00.00	15.22	SV	wegen Ausbau Proj. FR2/76 mußte Brennelementumladung verschoben werden	15,37	-	15,37	-
	39.	26.09.70	21.56	22.13	SS	Kanal 8/Iu.III durch Fehlbedienung beim Einbau Proj. FR2/59 (Co-Beladung)	0,28	0,18	1,40	-
I/70	46.	14.11.70	00.00		SV	wegen Verzögerung von Reparatur und Wartungsarbeiten	17,00	-	32,12	-
		15.11.70		13.00						
	47.	16.11.70	04.07	04.46	SS	Proj. FR2/77 (KVE-88) oGW Meßstelle 9+10 (Bedienungsfehler)	0,66	0,20	7,58	-
	47.	19.11.70	03.03	04.51	SS	Sicherungsfall e37, GR11/6	1,80	0,38	7,47	-
	48.	25.11.70	03.24	10.50	SS	Sicherungsfall e37, GR11/6 ausgelöst durch Proj. FR2/58	7,43	0,37	7,80	-
	48.	25.11.70	11.12	12.46	AB	wegen TA-Stab-Antriebwechsel Pos. 4	1,57	0,52	6,32	-
K/70	51.	19.12.70	11.30	16.54	AB	wegen TA-Stab-Wechsel Pos. 1 (beim Start)	5,40	-	6,23	-
	52.	24.12.70	09.30	10.34	LR	wegen TA-Stab-Antriebwechsel Pos. 9	-	-	1,07	-
Summe					60		163,02 h ≈ 6,79 d	105,87 h ≈ 4,41 d	436,41 h ≈ 18,16 d	118,58 h ≈ 4,94 d

Anmerkung: LB = Leistungsbegrenzung = 6 Anzahl im Jahr 1970
 LR = Leistungsrücknahme (von Hand) = 23
 AB = Reaktorabschaltung (von Hand) = 8
 SS = Schnellabschaltung (autom. Schnellschluß) = 19
 SV = Startverzögerung = 4

Tabelle 8.3: Reaktorabschaltungen im Jahre 1970

1	2	3	4		6	7	8	9	10	11-14				15	16	17-19			20	
			Abschaltart	Abschaltgrund						Schnellschlußursache	Störungsart					Ausfallzeiten (falls plann. Reaktorbetrieb) (h)				
Lfd. Nr.	Datum	Zeit			Hand	automatisch durch Schnellschluß	Plan	Störung	Reaktor St.-Kanal bzw. Meßstelle		Experiment Nr./Meßstelle	echter Grenzzeit	Gerätefehler	Fehlbedienung	Prüfung	Vertungsschaltung der Auslösesignale	Funktion der Abschaltstäbe	Reaktor außer Betrieb	Reaktorleistung < 10 ⁵ MW	Reaktorleistung > 10 ⁵ MW
			1	12.01.						08.10										
2	15.01.	05.37		x		x		K2b/II					x	1v2	i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung
3	17.01.	04.23		x		x		Notflutbehälter (1P23)					x	1v1	i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung
4	22.01.	16.26			x	x		K7/I-III					x	2v3	i.0.	0,62	0,35	2,40		D ₂ O-Hauptpumpe 1.5 ausgefallen durch Schalterfall E-Zentrale 1 als Folge eines EFabebens (Stärke IV)
5	23.01.	10.28			x	x		26/P 102					x	1v1	i.0.	0,99	0,35	2,45		Ausfall He-Gebälse Proj. FR2/26 durch Hochspannungsschalterfall E-Zentrale 1a als Folge eines Schalterfalls in Übergabestation Nord
6	23.01.	13.45			x	x		26/P 102					x	1v1	i.0.	0,80	0,47	2,16		Ausfall Einspeisung von Übergabestation Nord für E-Zentrale 1a
7	23.01.	18.26			x	x		76/div.					x	1v1	TA8 (*)	0,82	0,33	1,73		Proj. FR2/76 uGW Diodenspannung, Ankunftsmeldung von TA8 defekt
8	28.01.	06.55			x	x		K8/I-III						2v3	i.0.	3,92	0,76	7,72		Ausbau Versuchseinatz Proj. FR2/26
9	28.01.	08.35	x			x								TA13 (*)						Reaktivitätsbestimmung Proj. FR2/26, Ankunftsmeldung von TA13 defekt
10	16.02.	12.53			x	x		26/0610					x	1v1	i.0.					Ende Betriebsphase A
11	19.02.	04.27			x	x		K3b/I,II,III						2v3	i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung
12	19.02.	21.16			x	x		K3b/I-III						2v3	TA1					Prüfung D ₂ O-Kreislaufsteuerung, Moderator-Notablaßauslösung durch gewollte Störung TA1
13	23.02.	20.53			x	x		K3a/I-II					x	2v3	i.0.	0,25	0,23	0,25		Umstellung der Konstante C=10 ⁻³ auf C=10 ⁻² bei lin-Regler nicht auf 'Hand'
14	10.03.	10.49			x	x		K8/I,II,III						2v3	i.0.	0,68	0,35	2,07		Vorsehentlich wurde ein beladenes aktives Iso-Kapselträgerrohr aus der BE-Flasche etwa 1m abgesenkt
15	16.03.	08.09			x	x		26/0610						1v1	i.0.					Ende Betriebsphase B
16	17.03.	15.54		x		x									i.0.					Überprüfung 2v3-Einheit
17	18.03.	04.16		x		x									i.0.					Funktionskontrolle Not-Handabschaltung Reaktorplattform nach Flußsondenbestrahlung
18	18.03.	06.32		x		x									i.0.					Funktionskontrolle Not-Handabschaltung Experimentierbühne nach Flußsondenbestrahlung
19	19.03.	04.46			x	x		Tankbruch (1P24)						1v1	i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung
20	20.03.	20.41		x		x									i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung
21	23.03.	13.47			x	x		44/02					x	1v1	i.0.	0,80	0,41	3,67		Proj. FR2/44 Durchfluß-Meßstelle gestört
22	04.04.	13.54			x	x		26/P 102						1v1	i.0.	0,67	0,40	3,23		Schalterfall 20kV in E-Zentrale 1a beim Zuschalten der Trafostation Bau 414 in Übergabestation Nord
23	16.04.	12.13			x	x		K7/I,II,III						2v3	i.0.	0,65	0,45	3,12		Leistungsabfall D ₂ O-Hauptpumpe 1.1 durch Fluten von Pu103 von Proj. FR2/58 (undichtes Sicherheits-VE106)
24	20.04.	08.11			x	x		K4/I, K5/II						2v3	i.0.					Ende Betriebsphase C
25	22.04.	12.11			x	x		He-Steuerdruck (3P46 + 3P48)						2v3	i.0.					Ausbau Proj. FR2/55
26	23.04.	03.02			x	x		K7/I,II,III						2v3	i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung
27	25.04.	02.01			x	x		K6/I-II						1v2	i.0.					Bestimmung kritische Steuerstabstellung

1	2	3	4		6	7	8	9		11-14				15	16	17	18			19	20
			Hand	Abschaltart				Plan	Störung	Reaktor Si.-Kanal bzw. Meßstelle	Experiment Nr./Meßstelle	echter Grenzwert	Gerätefehler				Fehlbedienung	Prüfung	Vertungsschaltung der Auslösesignale		
< 1 MW	> 1 MW	automatisch durch Schnellschluss		Reaktorleistung < 10 ⁻³ MW	Reaktorleistung > 10 ⁻³ MW	Reaktorleistung > 45 MW															
28	25.04.	17.40		x		x		K7/I,II,III					x	2v3	1.0.						Bestimmung kritische Steuerabstellung
29	27.04.	18.06			x		x		26/P102			x		1v1	1.0.	1,32	3,18	5,70		Proj. FR2/26: Ausfall He-Gebälse, Unformer defekt	
30	19.05.	08.08		x		x		K4/II+K5/III					x	2v3	1.0.	46,92	2,49	62,27		Proj. FR2/26: Einbau Kurzzeitbestrahlungseinsatz, Proj. FR2/58: Ausbau Le0 und Einbau Le7, Proj. FR2/64: Ein- und anschließend Ausbau (Einsatz defekt)	
31	21.05.	22.16	x				x	(58)	(x)						1.0.	1,25	0,28	3,35		Proj. FR2/58: Le7 Verdacht auf Müllschaden, Tritium-Grenzwert Deckelungang	
32	22.05.	01.37	x				x	(58)	(x)						1.0.	9,01	0,47	13,78		Proj. FR2/58: Le7 Ausbau wegen Müllschadens	
33	25.05.	11.51			x		x	K8/II+III					x	2v3	1.0.	0,63	0,35	1,75		Ziehen von Proj. FR2/58a-4 und 58a-5 aus der heißen Zelle in die KVE-Transportflasche (Überfahren der Abschirmung)	
34	01.06.	08.09		x		x		K10/II+III					x	2v3	1.0.					Ende Betriebsphase D	
35	19.06.	17.46		x			x	K3a/II+III					x	2v3	1.0.(TA15)	9,98	0,65	15,86		bei Antriebswechsel TA15 durch Anheben Steuerstab C-1,2 μ Überfahren	
36	13.07.	08.05		x		x			58/Q201				x	1v1	TA1(-)					Ende Betriebsphase E (Ankunftsmeldung TA1 ~40 s verzögert)	
37	16.07.	04.29		x		x		Tankbruch (1P24)					x	1v1	TA5(+)					Bestimmung kritische Steuerabstellung, Ankunftsmeldung TA5 defekt	
38	17.07.	19.39		x			x	K3a/I+II						2v3	1.0.					keine Bereichsumschaltung bei Kanal 3	
39	17.07.	19.56		x		x		K3b/I+II						1v2	TA11					Prüfung D ₀ -Kreislauftsteuerung Moderatorschnellelaß durch gewollte Störung TA11	
40	18.07.	08.47			x		x		2/F1					1v1	TA1(+)	3,65	0,18	3,83		Proj. FR2/2: Kurzschluss beim Ziehen der SS-Überbrückung, Ankunftsmeldung TA1 gebrückt - Wechsel des Steuerstabes	
41	18.07.	17.27	x				x								1.0.	3,72	0,23	4,97		Einbau Proj. FR2/59, Co-Beladung wegen zu heißen MW-Quadranten	
42	18.07.	23.26		x			x	K3b/I,II,III					x	2v3	1.0.	1,49	0,48	3,65		zu schnelles Anheben des Trichterverschlusses mit der Wechselvorrichtung	
43	17.08.	08.01	x			x								1v1	1.0.(TA9)					Ende Betriebsphase F, Proj. FR2/58 Net-Aus-Taste, Aufnahme der Nachwärmeabfuhr, Antrieb TA9 defekt	
44	21.08.	19.57		x		x		K3a/I+II					x	2v3	1.0.					Fehlauslösung (Überprüfung Ve 16.03 auf Dichtheit)	
45	21.08.	20.15		x		x		K3a/I+II						2v3	TA3					Auslösung Moderatorschnellelaß durch gewollte Störung TA3 zwecks Überprüfung Ve 16.03 auf Dichtheit	
46	22.08.	15.14	x				x								1.0.	0,90	0,77	4,10		Ausbau BE0-43 wegen Müllschaden (Einbau BE0-75 in Pos. 40/32)	
47	21.09.	08.06			x	x			58/Q201				x	1v1	1.0.					Ende Betriebsphase G	
48	24.09.	02.01		x		x		K10/I+III						2v3	1.0.					Bestimmung kritische Steuerabstellung	
49	25.09.	18.11		x		x		K2b/I+III						1v2	TA11					Prüfung D ₀ -Kreislauftsteuerung Moderatorschnellelaß durch gewollte Störung TA11	
50	26.09.	21.56		x			x	K8/I+III						2v3	1.0.	0,28	0,18	1,40		bei Einbau Proj. FR2/59 Co-Beladung wurde Abschirmstopfen nicht eingesetzt	
51	26.10.	10.24	x			x									TA6(+)					Ende Betriebsphase H, Ankunftsmeldung TA6 etwa 5 s verzögert	
52	08.11.	14.36		x		x		K5/I+K6/II						2v3	1.0.					Bestimmung kritische Steuerabstellung	
53	10.11.	15.17		x		x			26/P102					1v1	1.0.(TA6)					Prüfung Netzausfall (Antrieb TA6 defekt), dabei Ausfall He-Gebälse Proj. FR2/26	
54	10.11.	15.35		x		x		Netz fehlt						1v1	1.0.(TA6)					Prüfung Netzausfall (Antrieb TA6 defekt)	
55	14.11.	05.06		x		x		Tankbruch (1P24)						1v1	1.0.					Prüfung D ₀ -Kreislauftsteuerung, Tankbruchüberwachung	

Tabelle 8.3: Reaktorabschaltungen im Jahre 1970

1	2	3	4		6	7	8	9	10	11-14				15	16	17-19			20
			Abschaltart	Abschaltgrund						Schnellschlußursache	Störungsart	Vertungsschaltung der Ausfallsignale	Funktion der Abschaltstöße			Ausfallzeiten (falls plane. Reaktorbetrieb) (h)	Bemerkungen		
Lfd. Nr.	Datum	Zeit	Hand	automatisch durch Schnellenschluß	Plan	Störung	Reaktor Si.-Kanal bzw. Meßstelle	Experiment Nr./Meßstelle	echter Grenzwert	Gerätefehler	Fehlbedienung	Prüfung			Reaktor außer Betrieb	Reaktorleistung $< 10^{-3} \frac{h}{h}$	Reaktorleistung $< 10^{-3} \frac{h}{h}$		
56	14.11.	11.46		x			Moderator- ablaß					x	1v1	i.0.					Prüfung D ₀ -Kreislaufsteuerung Moderator-Nettablauslösung
57	16.11.	04.07			x	x		77-KVE88 9+10				x	2v3	i.0.	0,66	0,20	7,58		Proj. FR2/77-KVE88: Überschreiten des Temp.-Grenzwertes bei Leistungserhöhung
58	19.11.	03.03			x	x		58/div.		x				i.0.	1,80	0,38	7,47		Sicherungsfall e37 im Geräteraum II/6
59	25.11.	03.24			x	x		58/div.		x				i.0.	7,43	0,37	7,80		Sicherungsfall e37 im Geräteraum II/6, Erdschluß 60V-Netzteil
60	25.11.	11.12	x			x				x				i.0.(TA4)	1,57	0,52	6,32		TA-Stab Pos. 4 Antriebwechsel
61	14.12.	08.09	x			x								i.0.					Ende Betriebsphase I
62	17.12.	04.43		x		x	K5/I+II					x	2v3	i.0.					Bestimmung kritische Steuerabstellung
63	17.12.	16.01	x			x								i.0.					Proj. FR2/58: Reaktivitätsbestimmung Le9
64	19.12.	11.30	x			x				x				i.0.(TA1)	5,40	-	6,23		Wechsel TA-Stab Pos. 1 (defekte Magnetspule)
65	Abschaltungen		15	33	16	39	25	34	15	10(x)	6	9	33		64	106,19	14,83	184,86	Spalte 16: Davon 6 nicht i.0., in Tabelle mit (.) gekennzeichnet

- Anmerkungen:**
- Die Schnellschlußursachen sind unterteilt in die Gebiete Reaktor und Experimente.
 - 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 Schnellschaltungen zu Prüfzwecken sowohl im Rahmen der periodischen Funktionsprüfungen (Eigenüberwachung) als auch zur Überprüfung einzelner Signale und ihrer Folgefunktionen.

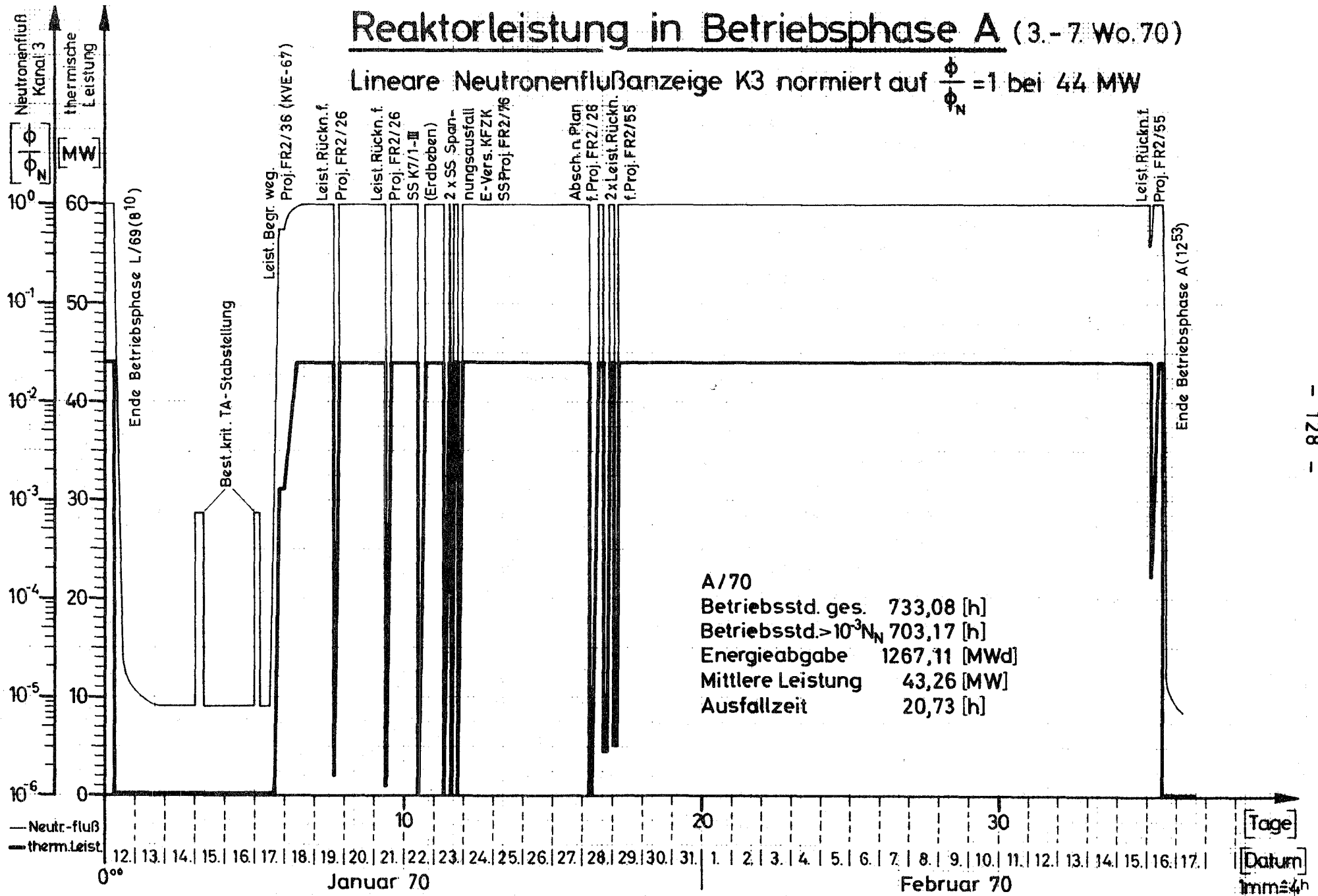
(x) Insgesamt 4 zwingende Abschaltungen von Hand

Tabelle 8.4: Leistungsrücknahmen innerhalb der planmäßigen Betriebszeit 1970

Lfd. Nr.	Datum	Zeitpunkt	Maßnahme		Reaktorleistung			Ausfallzeit		Ursache		Bemerkungen
			Plan	Störg.	vor Rückn. [MW]	nach Rückn. <10 ⁻³ N _N	≥10 ⁻³ N _N [MW]	Plan [h]	Störg. [h]	Reakt.	Exp.	
1	07.01.	08.33	x		44		4	5,25			x	Proj. FR2/55 (Versuchsprogramm)
2	07.01.	17.00	x		44		5	3,38			x	Proj. FR2/55 (Versuchsprogramm)
3	19.01.	16.05		x	44	x			2,62		x	Proj. FR2/26 (undichte Schleusenklappe im VE)
4	21.01.	10.16		x	44	x			1,43		x	Proj. FR2/26 (Suche nach Gasführungskebben im VE)
5	28.01.	06.40	x		44	x		0,25			x	Proj. FR2/26 (Ausbau VE), Reaktor anschließend abgeschaltet
6	28.01.	17.01	x		44		4	5,98			x	Proj. FR2/55 (Aktivitätsmessungen)
7	29.01.	02.00	x		44		5	3,35			x	Proj. FR2/55 (Aktivitätsmessungen)
8	16.02.	06.25	x		44		22	1,20			x	Proj. FR2/55 (Aktivitätsmessungen)
9	09.03.	19.52		x	44		5		6,15		x	Proj. FR2/55 (Vakuumzusammenbruch)
10	13.03.	00.00	x		44		5	6,28			x	Proj. FR2/55 (Versuchsprogramm)
11	13.03.	00.90	x		44		5	3,20			x	Proj. FR2/55 (Versuchsprogramm)
12	01.04.	16.30		x	44		33		0,23		x	Proj. FR2/55 (Vorwarnung Druckrohrtemperatur > 520 °C)
13	25.04.	23.03.		x	28		11		0,52	x		Einbau Proj. FR2/59 (Co-Beladung zur Trimmung)
14	27.04.	10.00		x	28	x			1,18		x	Ausbau Proj. FR2/64 wegen zu hoher Zentraltemperatur
15	19.05.	08.00	x		44	x		0,14			x	Proj. FR2/26 (Einbau Kurzzeitbestrahlungseinsatz) und Proj. FR2/58 (Einbau Le7), anschließend Reaktorabschaltung
16	13.06.	09.24	x		<1	x		0,12			x	Proj. FR2/58 (Anfahrprogramm mit Le8)
17	16.06.	11.06		x	44		40		0,07		x	Proj. FR2/58 (Einstellung Regelventil P-Ve205)
18	19.06.	15.24		x	44	x			2,37		x	Ausbau Proj. FR2/77 KVE-75 wegen ungenügender Leistung
19	06.07.	10.05		x	44		42		0,85		x	Proj. FR2/1 (durch Cd-Abschirmung verursachte Leistungszillation)
20	18.07.	17.20		x	29	x			0,12	x		TA-Stab-Pos. 1 (Dichtungswechsel), Reaktor wurde anschließend abgeschaltet
21	18.07.	22.25		x	13	x			1,01	x		Durchflußstörung Proj. FR2/77 (Ausbau Trichterverschluß), Reaktor wurde anschließend abgeschaltet
22	22.08.	13.46		x	33	x			1,47	x		Hüllschadenanzeige BE8-43 Pos. 40/32, Reaktor wurde anschließend abgeschaltet
23	24.12.	09.30		x	10		9		1,07	x		TA-Stab-Pos. 9 (Antriebwechsel)
24	Leist.Rückn.		10	13	23	10	13	29,15 19,09 48,24		5	18	

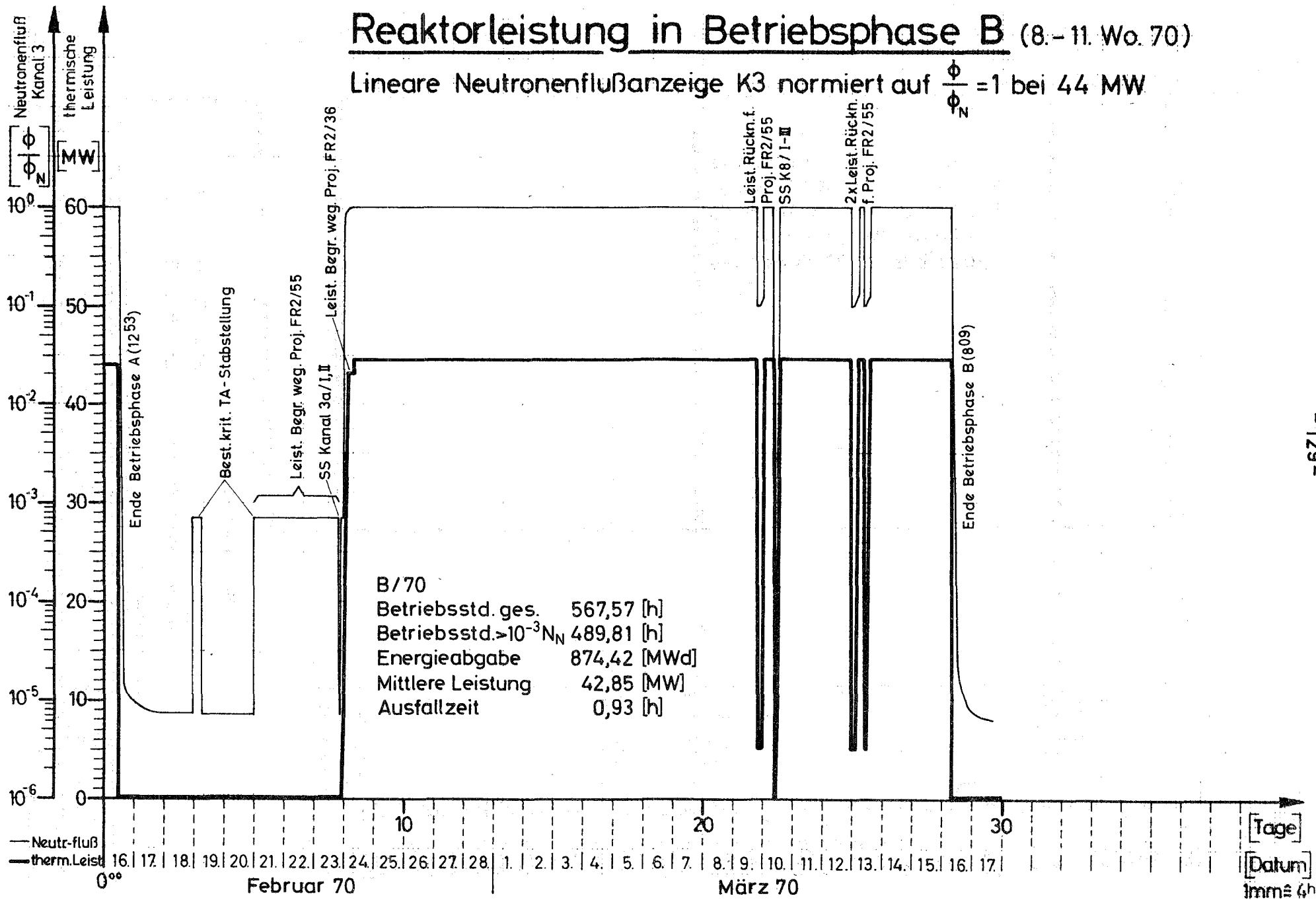
Reaktorleistung in Betriebsphase A (3.-7. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



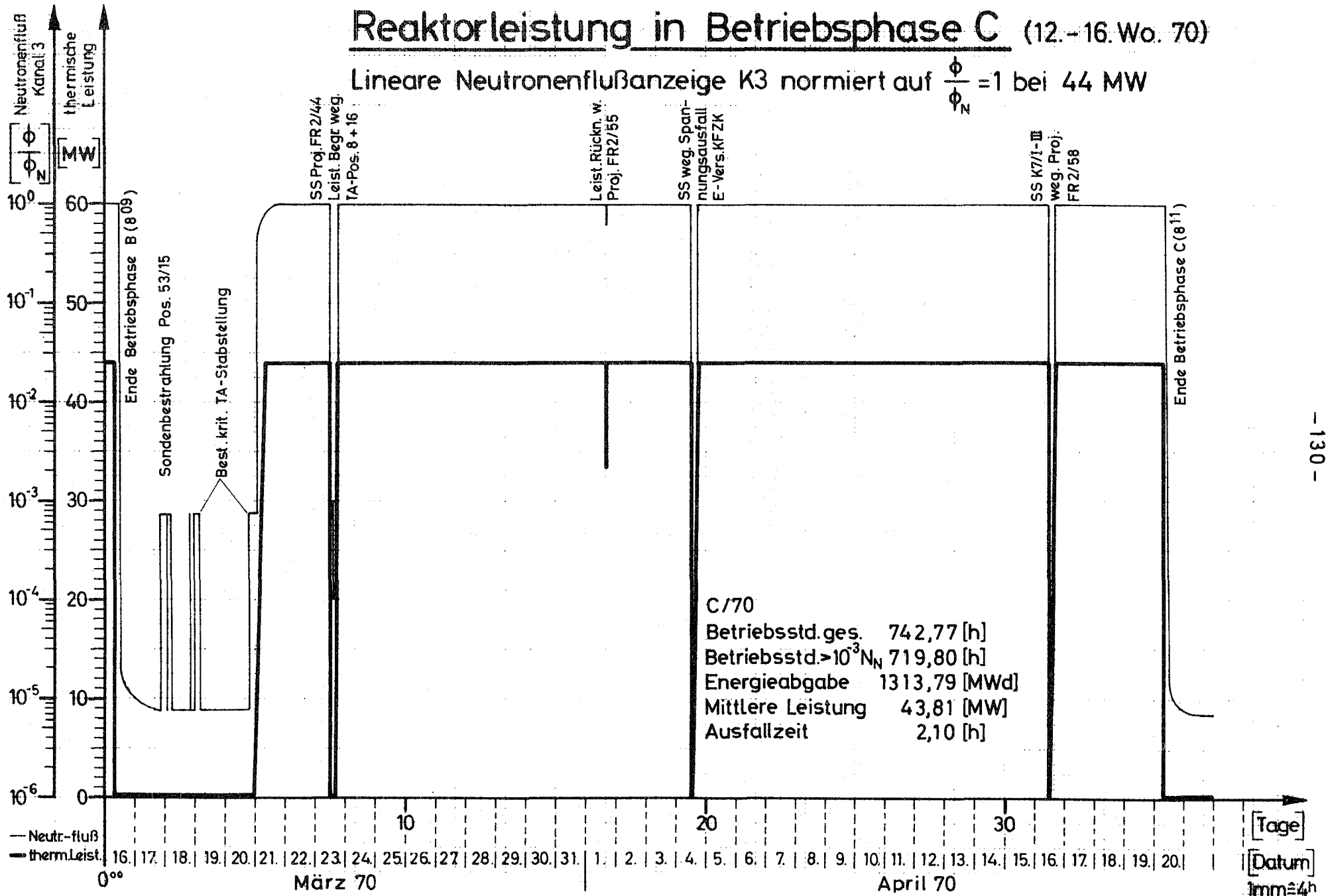
Reaktorleistung in Betriebsphase B (8.-11. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



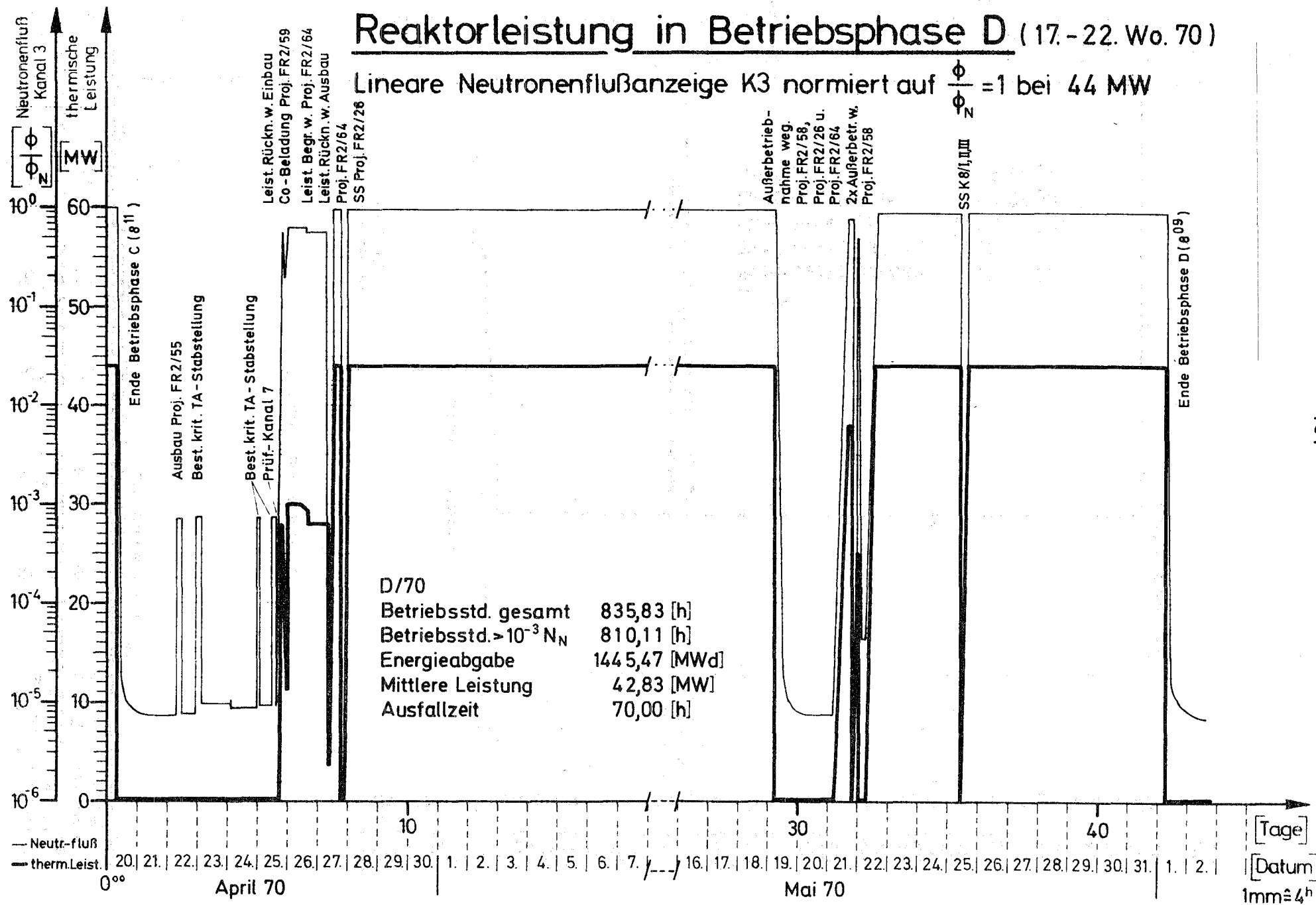
Reaktorleistung in Betriebsphase C (12.-16. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



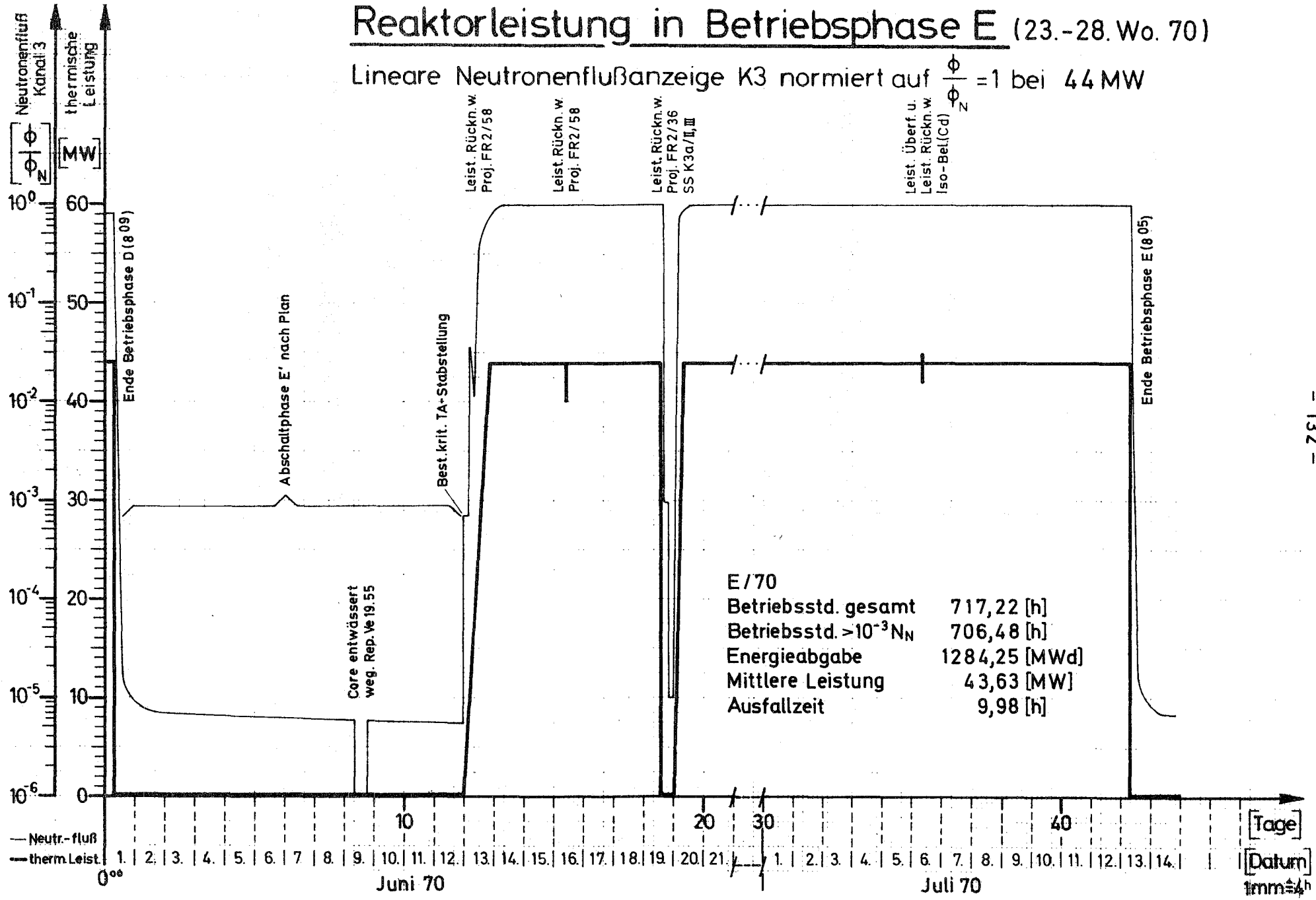
Reaktorleistung in Betriebsphase D (17.-22. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



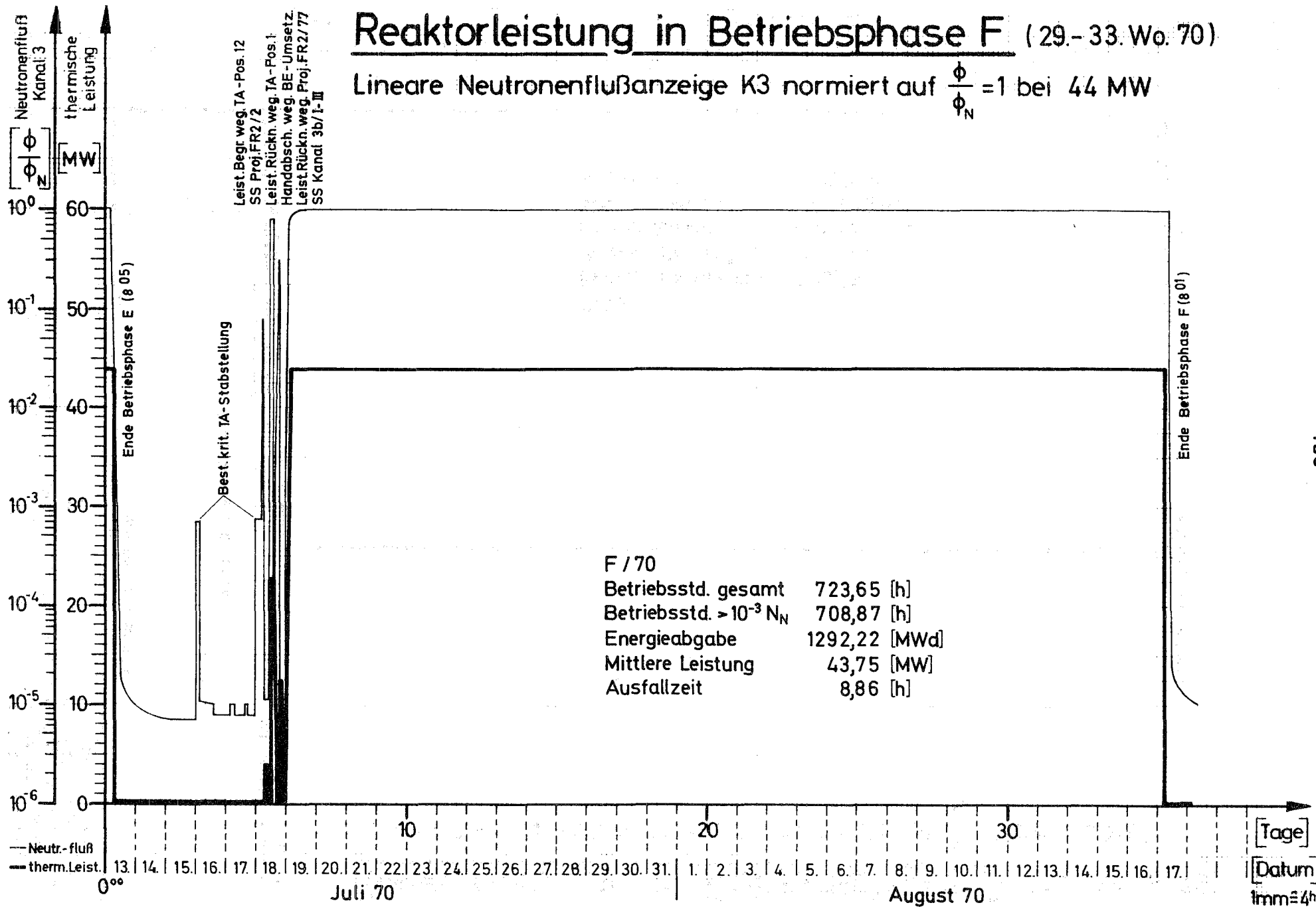
Reaktorleistung in Betriebsphase E (23.-28. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



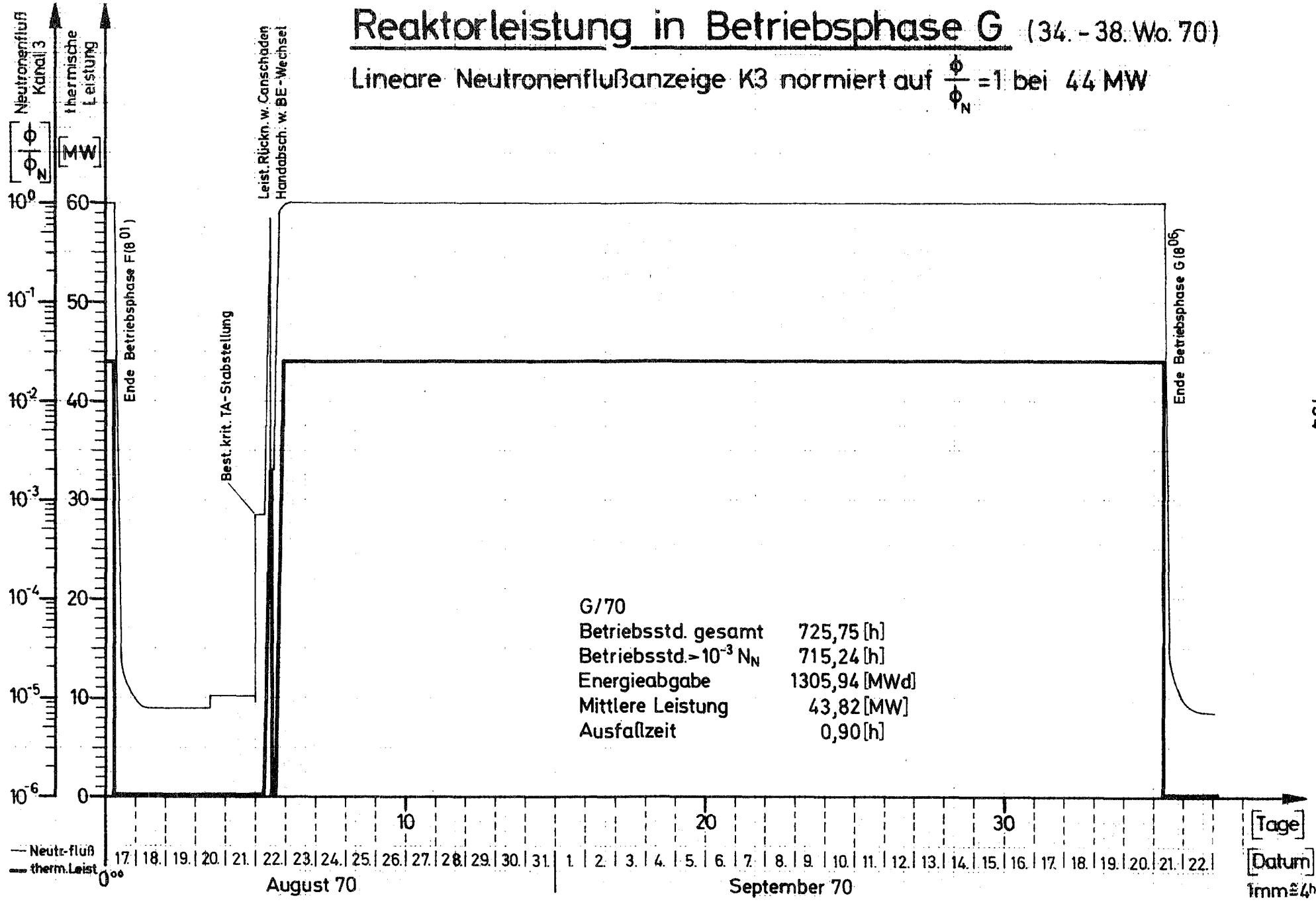
Reaktorleistung in Betriebsphase F (29.-33. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



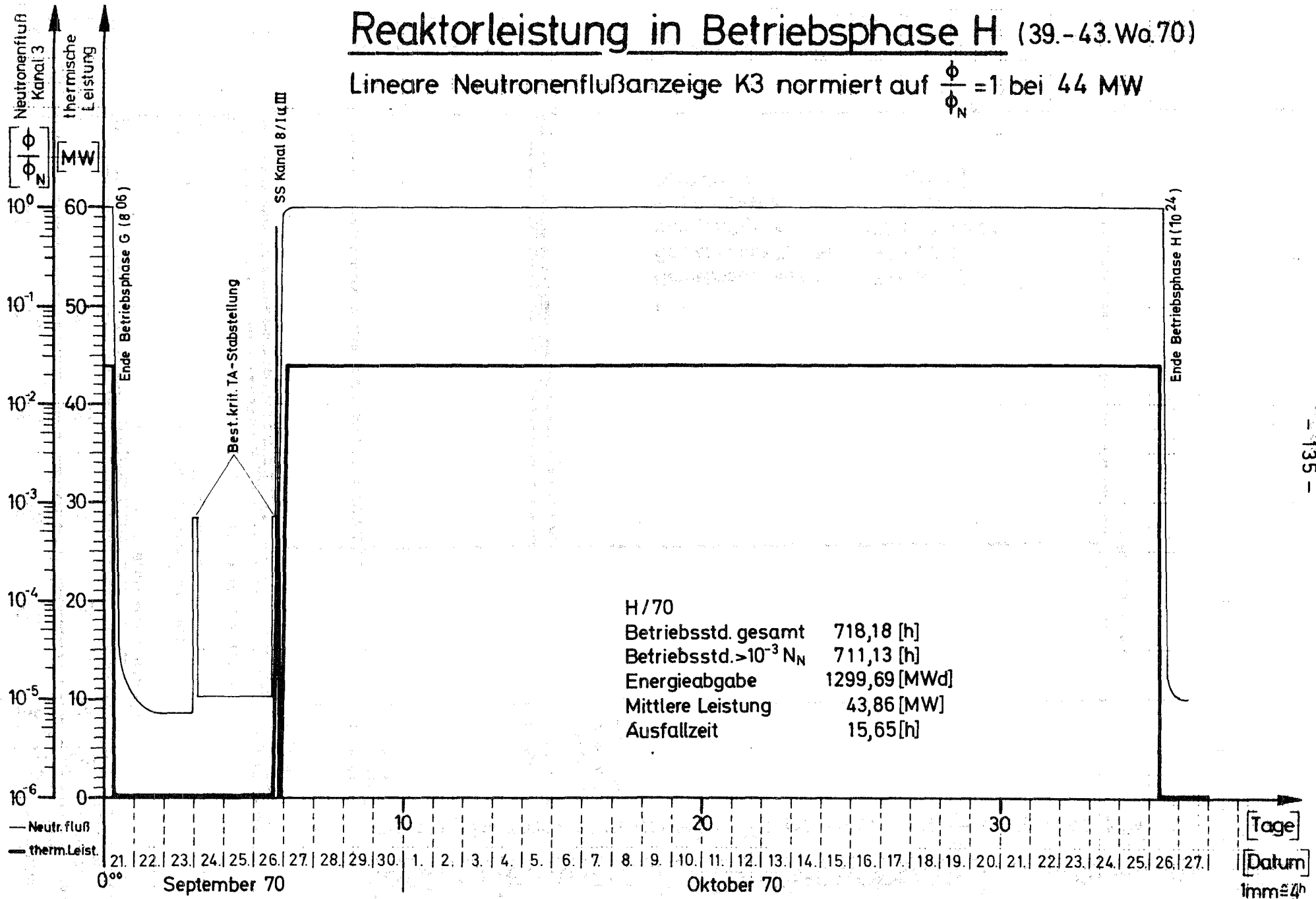
Reaktorleistung in Betriebsphase G (34. - 38. Wo. 70)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



Reaktorleistung in Betriebsphase H (39.-43. Wa. 70)

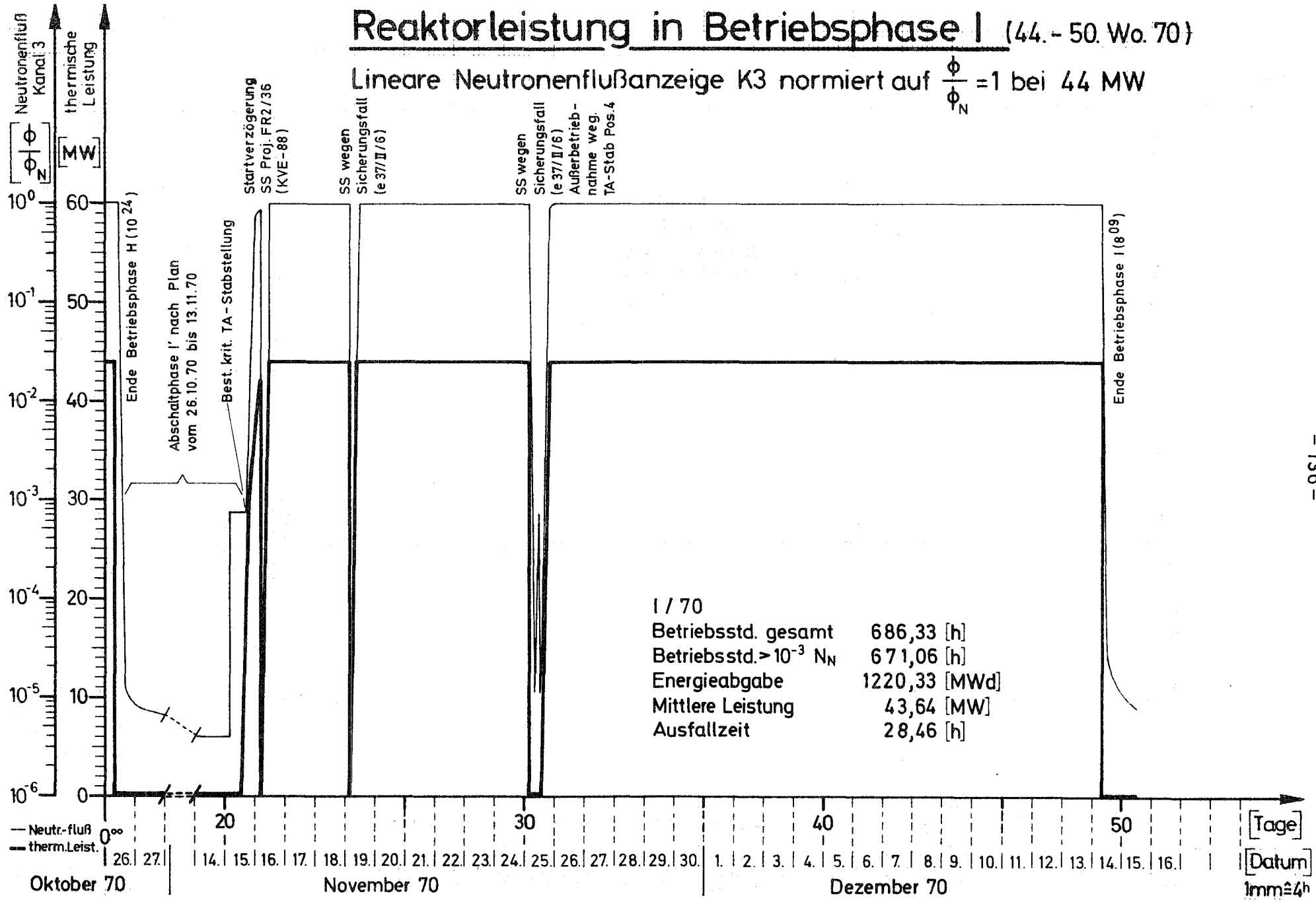
Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW



: 148/54

Reaktorleistung in Betriebsphase I (44. - 50. Wo. 70)

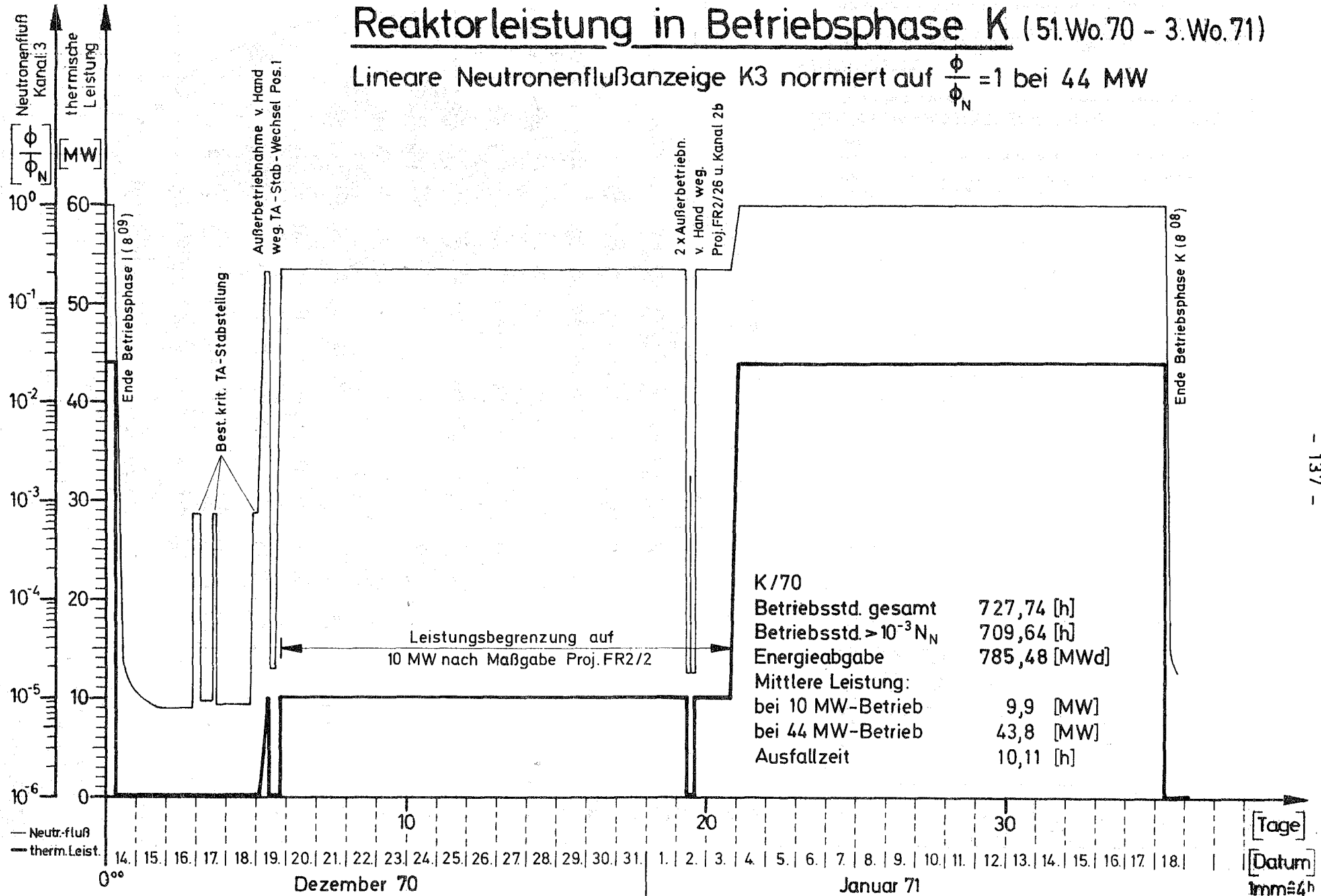
Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW

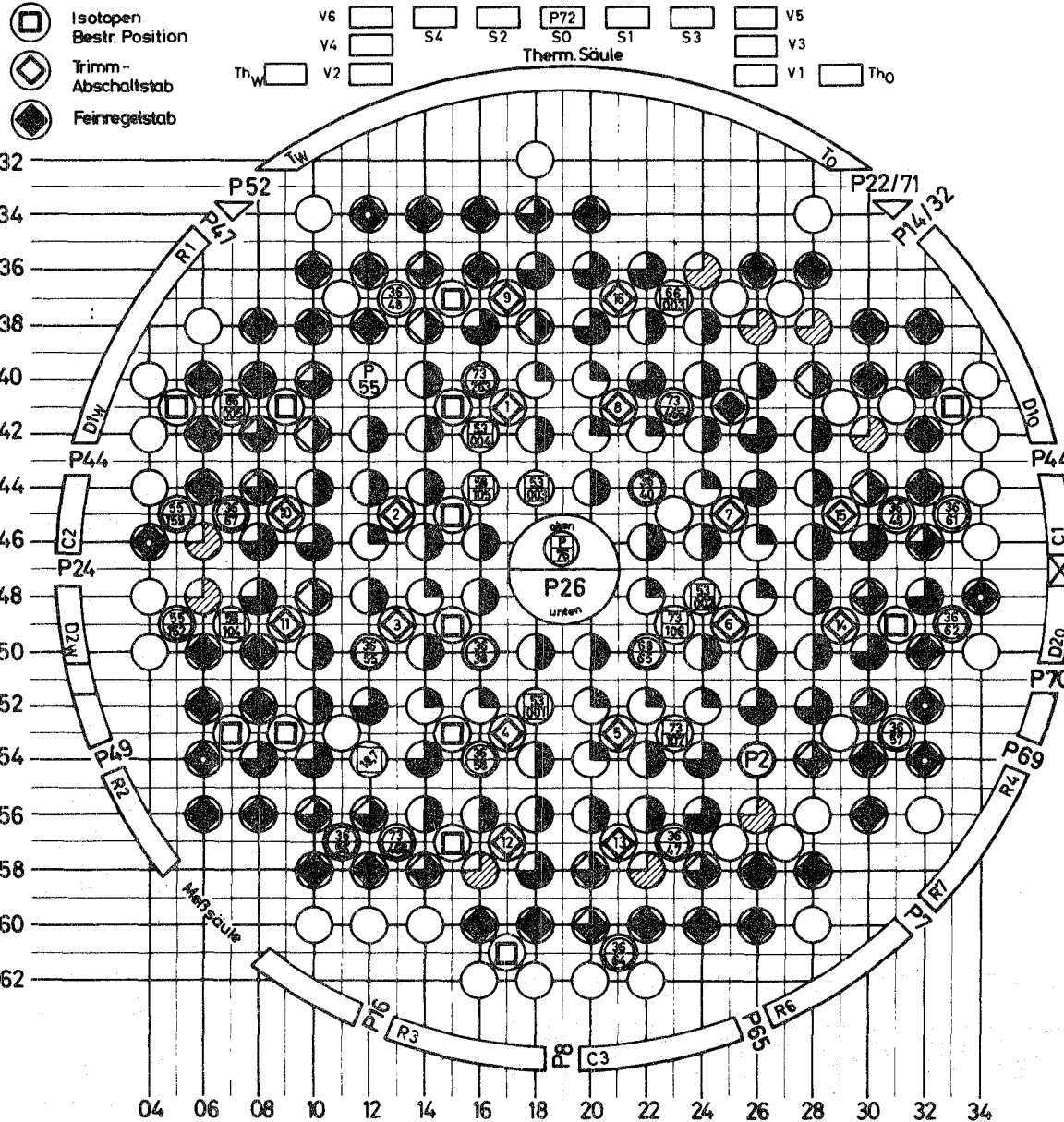


: 148/55

Reaktorleistung in Betriebsphase K (51.Wo.70 - 3.Wo.71)

Lineare Neutronenflußanzeige K3 normiert auf $\frac{\phi}{\phi_N} = 1$ bei 44 MW





1. Brennelemente :

Abbrand: ≤ 25 $25-50$ $50-75$ >75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U

-●- 23 38 16 - 77 BE 7 (1,75% anger.)
 45 15 6 - 66 BE 8 (2% anger.)
 -●- 9 - 9 BE 9 (1,86% anger.)

Summe BE im Core - 153

2. Kapselversuchseinsätze :

⊖ Proj. Nr. - 19
Ifd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen :

⊖ Proj. Nr. - 11
Ifd. Nr.

4. Kreislaufexperimente :

- Proj. FR2/2 (He-Tiefemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He-Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüfl. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
L3-30	24.11.69	16 ⁵⁶	31.12.69	3 ¹⁸
L3-13	8. 1.70	10 ¹²	8. 1.70	14 ¹²
L3- 9	9. 1.70	14 ²²	10. 1.70	14 ²²

- Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position 40/12 HDR-Prüfling Nr.2 am 19.12.69, 11²¹ Uhr eingebaut.
- Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position

5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg.v. Reaktor-Kreislauf:

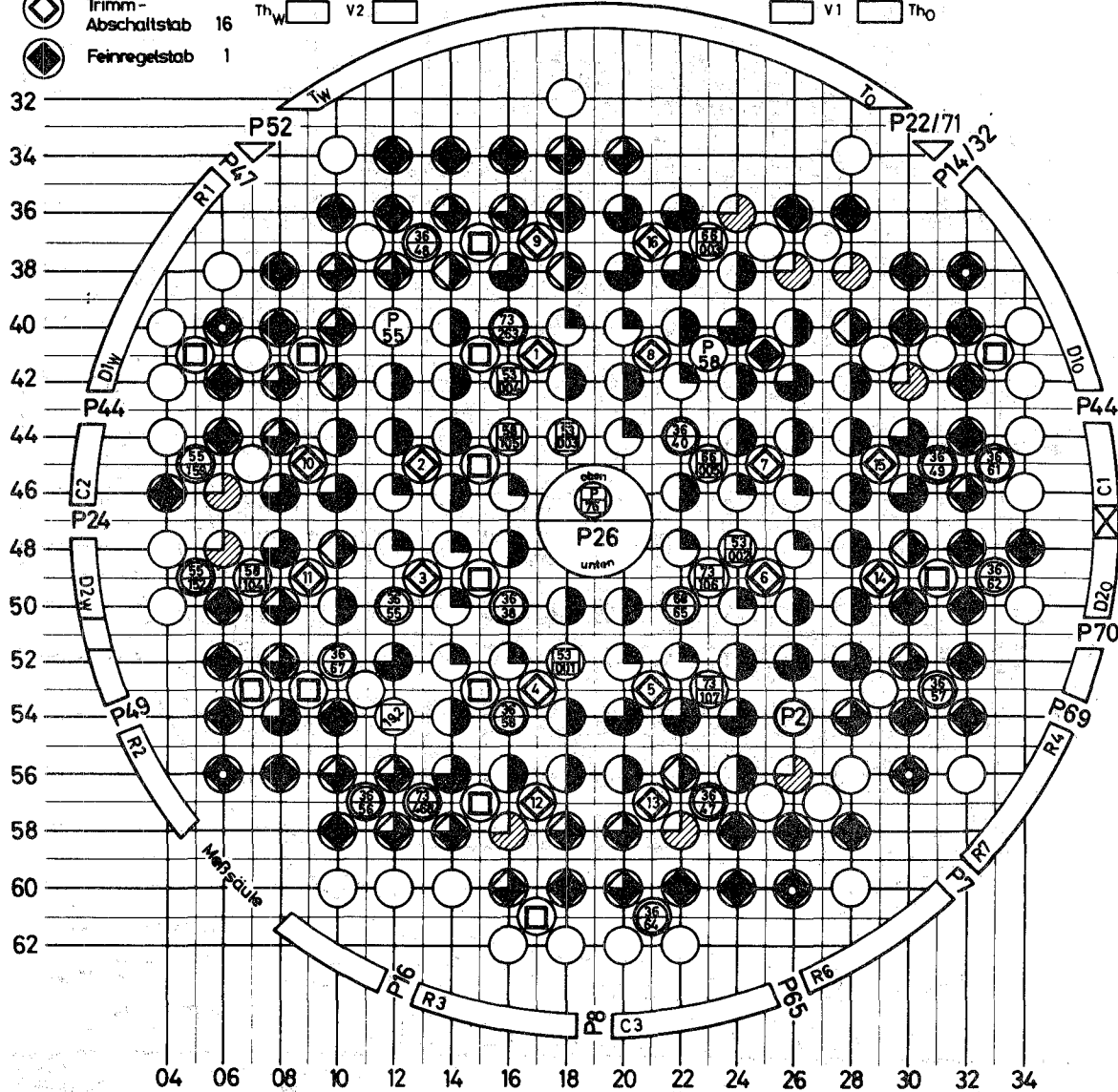
164 auf Gitterpositionen 14 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen :

● BE 8 am 18.12.69 neu einges. - ● BE 9 am - neu einges.

Falls Abbrand > 15 MWd / kp_U, Angabe in Zahlenwerten

- Isotopen
Bestr. Position 13
 - Trimm-Abschaltstab 16
 - Feinregelstab 1
- Therm. Säule
- V6 V4 V2 V1 V5 V3 V1 ThO
- S4 S2 S0 S1 S3



1. Brennelemente:

- Abbrand: <25 25-50 50-75 >75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U
- - - - 1 BE 5 (1,5% anger.)
 - - - - 71 BE 7 (1,75% anger.)
 - - - - 71 BE 8 (2% anger.)
 - - - - 9 BE 9 (1,86% anger.)
- Summe BE im Core - 152

2. Kapselversuchseinsätze:

- Proj. Nr. - 18
Ifd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

- Proj. Nr. - 11
Ifd. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR2/2 (He - Tieftemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- 4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He - Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüf. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit

- 4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschodendampfkreislauf)
Position 40/12 HDR-Prüfling Nr. 2 am 14.1.70 ausgebaut
3 am 14.1.70 eingebaut
- 4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr. - Druckwasserkreislauf)
Position 41/23

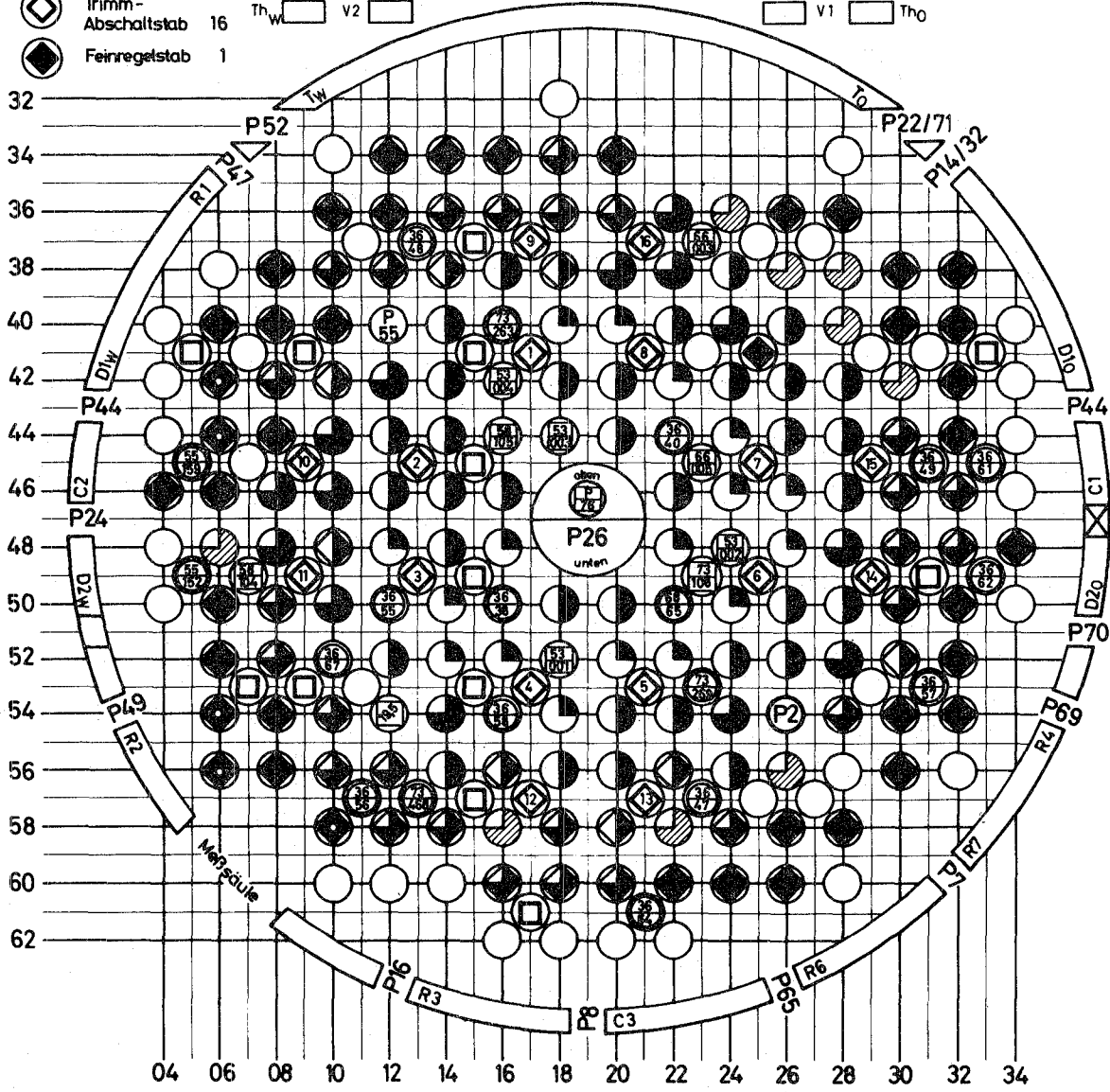
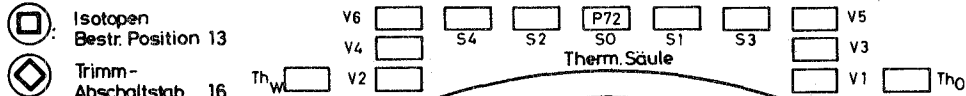
5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlung v. Reaktor-Kreislauf:

164 auf Gitterpositionen 12 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

- BE 8 am 15.1.70 neu einges. - BE 9 am - neu einges.

Falls Abbrand > 15 MWd / kp_U, Angabe in Zahlenwerten



1. Brennelemente:

Abbrand: ≤ 25 25-50 50-75 > 75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U

● - ● - ● - ● = 1 BE 5 (1,5% anger.)
● - ● - ● - ● - ● = 66 BE 7 (1,75% anger.)
● - ● - ● - ● - ● = 76 BE 8 (2% anger.)
● - ● - ● - ● = 9 BE 9 (1,86% anger.)

Summe BE im Core - 152

2. Kapselversuchseinsätze:

⊖ Proj. Nr. - 19
ifd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

⊖ Proj. Nr. - 10
ifd. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- Proj. FR2/2 (He - Tieftemperaturbestrahlungseinrichtung) Position 54/26
- Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He - Druckgaskreislauf) Position 47/19

Prüf. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
L3 - 12	6.3.70	9 ⁰⁷	9.3.70	9 ⁰⁷

- Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf) Position 40/12 HDR-Prüfling Nr.4
- Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr. - Druckwasserkreislauf) Position

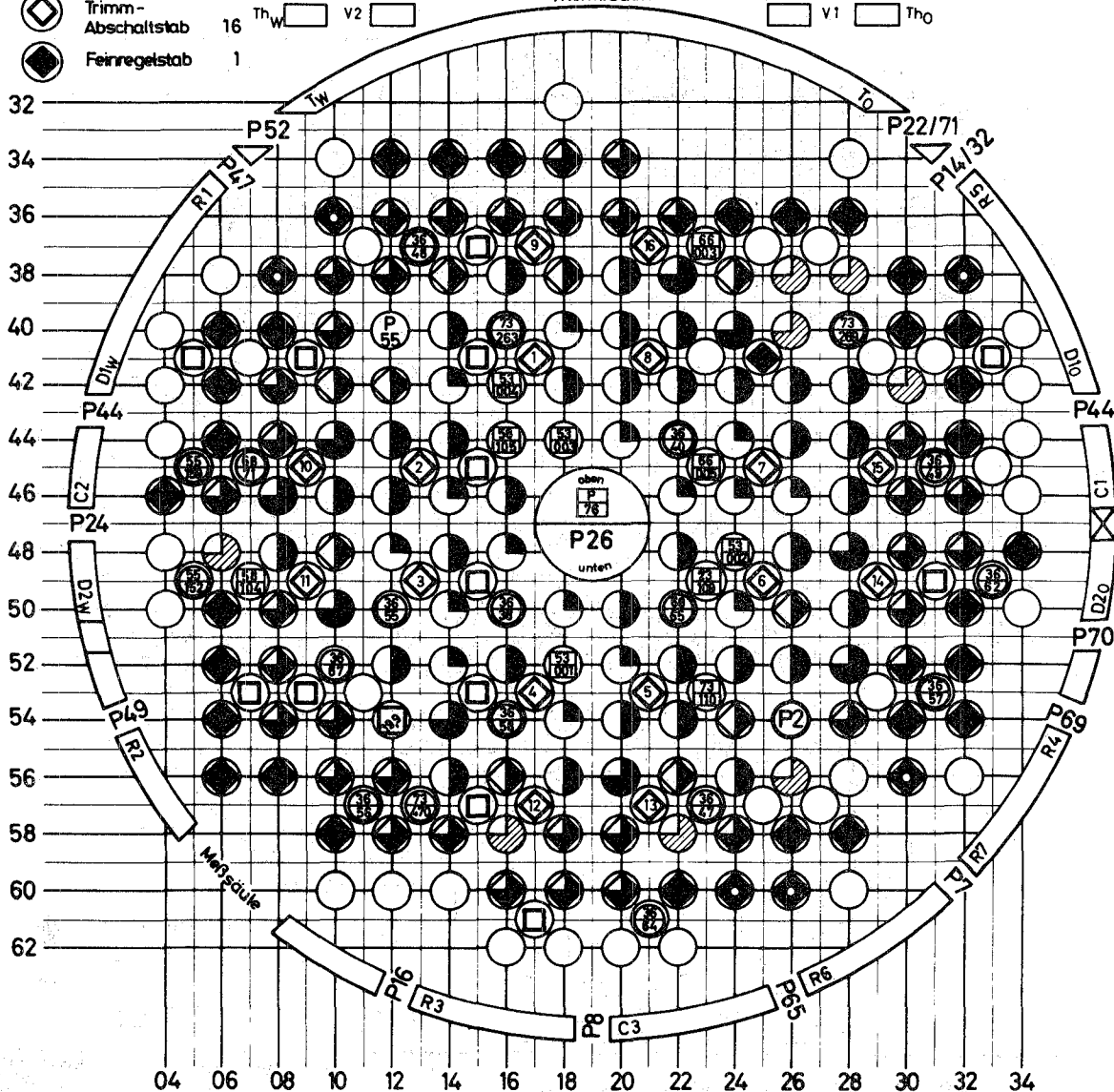
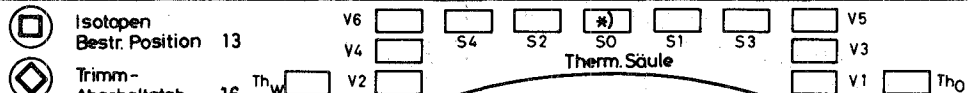
5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg.v.Reaktor-Kreislauf:

164 auf Gitterpositionen 13 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

● BE 8 am 19.2.70 neu einges. - ● BE am - neu einges.

Falls Abbrand > 15 MWd / kp_U, Angabe in Zahlenwerten.



1. Brennelemente:

Abbrand: ≤ 25 $25-50$ $50-75$ >75 [%] $100\% \Delta$ 15 MWd / kp_U

● ◐ ◑ ◒ ◓ = 1 BE 5 (1,5% anger.)
● ◐ ◑ ◒ ◓ = 60 BE 7 (1,75% anger.)
● ◐ ◑ ◒ ◓ = 82 BE 8 (2% anger.)
◔ ◕ ◖ ◗ ◘ = 8 BE 9 (1,86% anger.)

Summe BE im Core - 151

2. Kapselversuchseinsätze:

⊖ Proj. Nr. - 19
 Iff. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

⊖ Proj. Nr. - 11
 Iff. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

4.1 Proj. FR2/2 (He-Tiefemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26

4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He-Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüfl. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
L3-25	21.3.70	16 ³⁰	24.3.70	22 ⁴⁴
L3-5	26.3.70	11 ¹⁵	4.4.70	11 ¹⁵
L3-6	6.4.70	14 ⁴⁹	15.4.70	14 ⁴⁹
L3-10	17.4.70	10 ³⁷	18.4.70	10 ³⁹

4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position 40/12

4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position

5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg.v.Reaktor-Kreislauf:

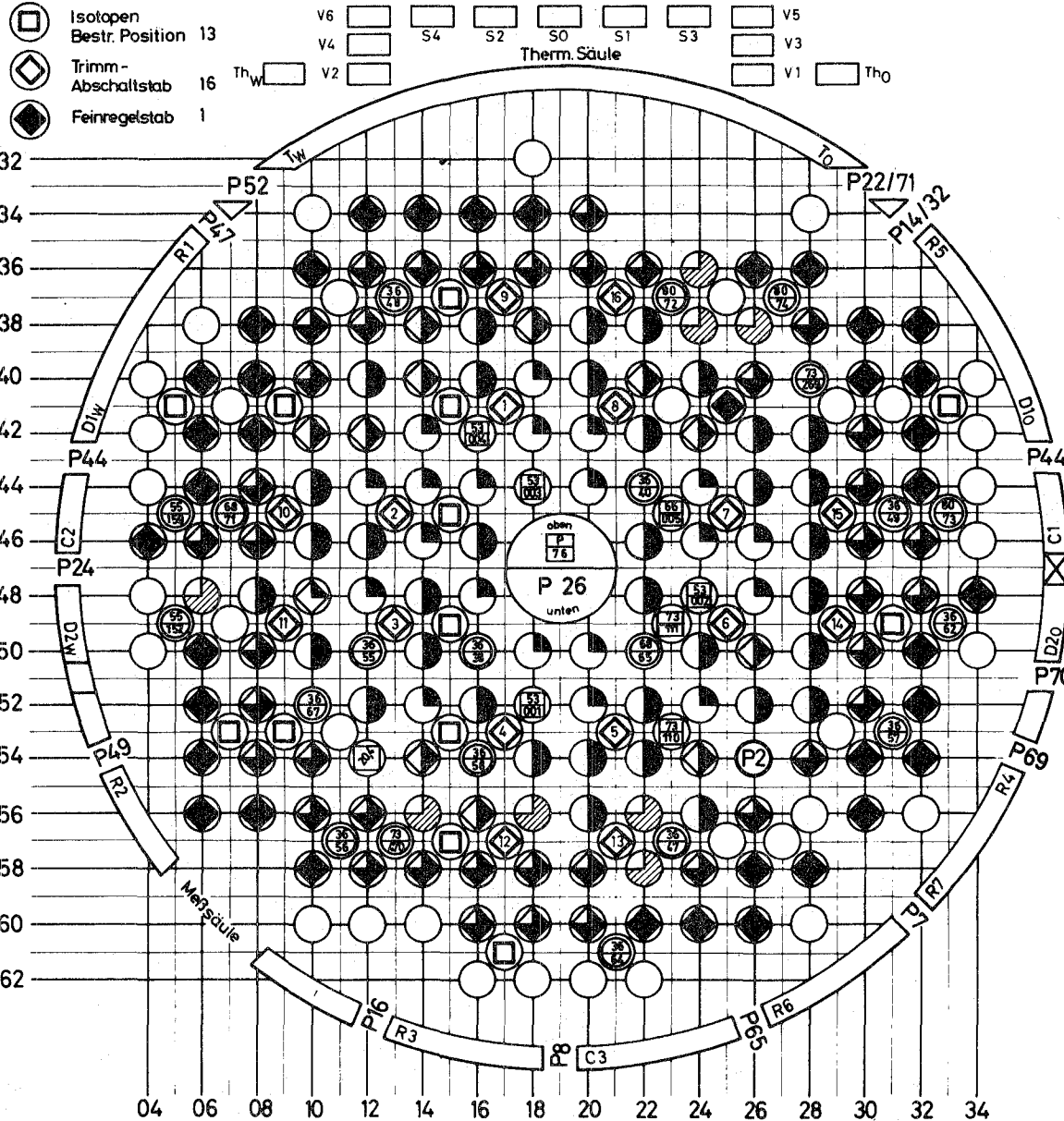
164 auf Gitterpositionen 12 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

6 ● BE 8 am 19.3.70 neu einges. ◐ BE9 am - neu einges.

Falls Abbrand > 15 MWd / kp_U, Angabe in Zahlenwerten.

*) Proj. FR2/72 am 24.3.70 aus S0-Kanal ausgebaut.



1. Brennelemente:

- Abbrand: ≤ 25 25-50 50-75 > 75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U
- - - - = 1 BE 5 (1,5% anger.)
 - - - - = 56 BE 7 (1,75% anger.)
 - 37 - - - = 89 BE 8 (2% anger.)
 - - - - = 8 BE 9 (1,86% anger.)
- Summe BE im Core - 154

2. Kapselversuchseinsätze:

Proj.Nr. - 21
ifd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

Proj.Nr. = 8
ifd. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR 2 / 2 (He - Tieftemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54 / 26
- 4.2 Proj. FR 2 / 26 (Brennstoffbestr.-He - Druckgaskreislauf)
Position 47 / 19

Prüfl. Nr.	Einbau		Ausbau		Bemerkungen
	Tag	Zeit	Tag	Zeit	
L3-7	25.5.70	9 39	25.5.70	18 57	[Fertigbestrahlung]
L3-34	26.5.70	9 35	26.5.70	17 25	
L3-35	27.5.70	11 22	27.5.70	19 22	
L3-36	29.5.70	14 30	30.5.70	14 30	

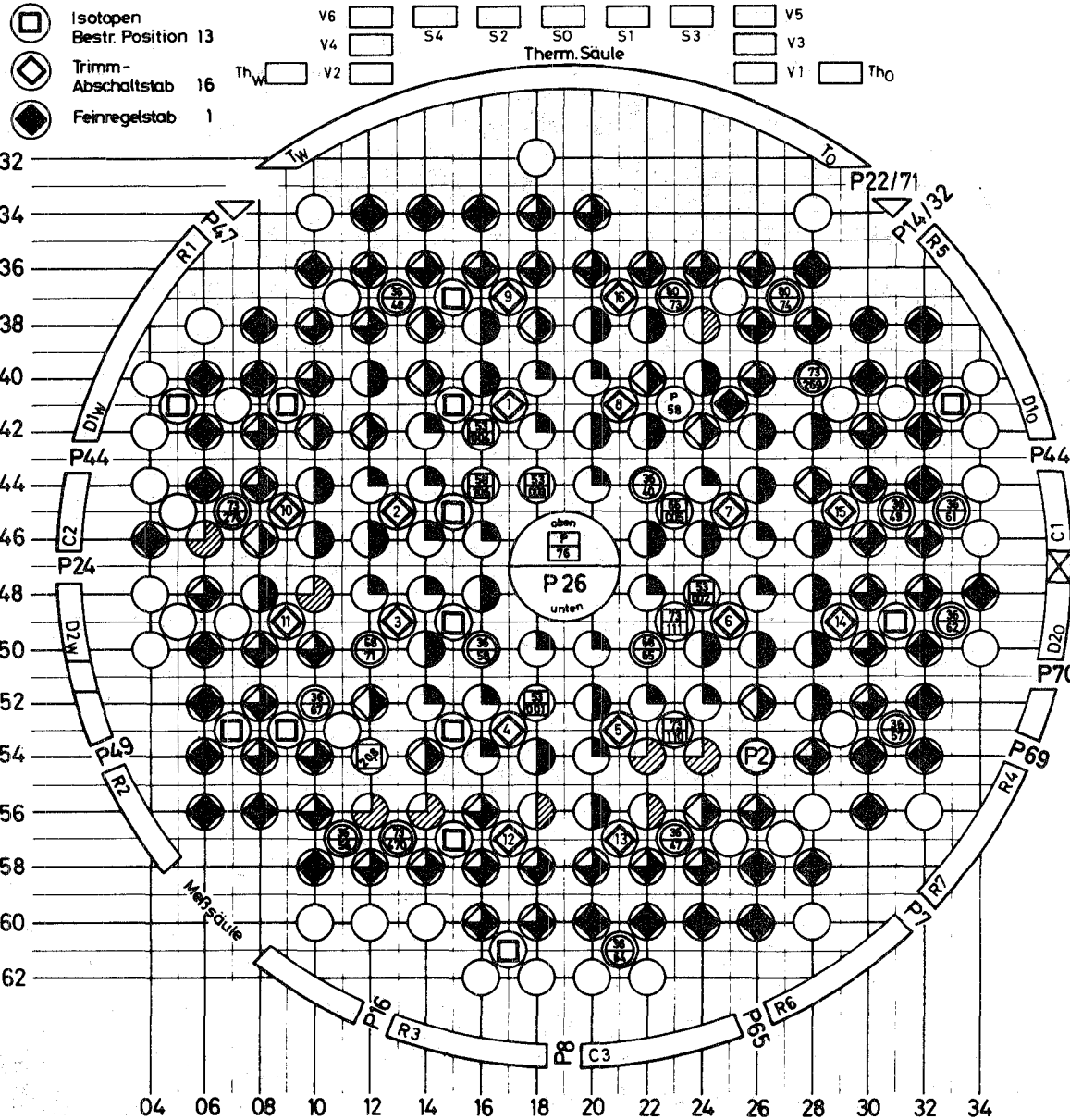
- 4.3 Proj. FR 2 / 55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position -
- 4.4 Proj. FR 2 / 58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position 41/23 am 22.5.70, 10¹⁸ ausgebaut

5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg. v. Reaktor-Kreislauf:

165 auf Gitterpositionen 14 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

- BE 8 am - neu einges. - BE 9 am - neu einges.
Falls Abbrand > 15 MWd kp_U, Angaben in Zahlenwerten



1. Brennelemente:

Abbrand: <25 25-50 50-75 >75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U

- ● - ● 28 ● 23 ● = 51 BE 7 (1,75% anger.)
 35 ● 45 ● 13 ● - ● - ● = 93 BE 8 (2% anger.)
 - ● 6 ● 3 ● - ● - ● = 9 BE 9 (1,86% anger.)

Summe BE im Core - 154

2. Kapselversuchseinsätze:

⊖ Proj.Nr. - 18
ffd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

⊖ Proj.Nr. - 9
ffd. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR2/2 (He-Tiefemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- 4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He-Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüf. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
L3-24	19.6.70	10 ²⁴	29.6.70	4 ⁵¹
L3-27	30.6.70	11 ²²	9.7.70	11 ²²
L3-37	10.7.70	10 ¹⁴	11.7.70	10 ¹⁵

- 4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position -
- 4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position 41/23 (Einsatz Le 8)

5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg.v.Reaktor-Kreislauf:

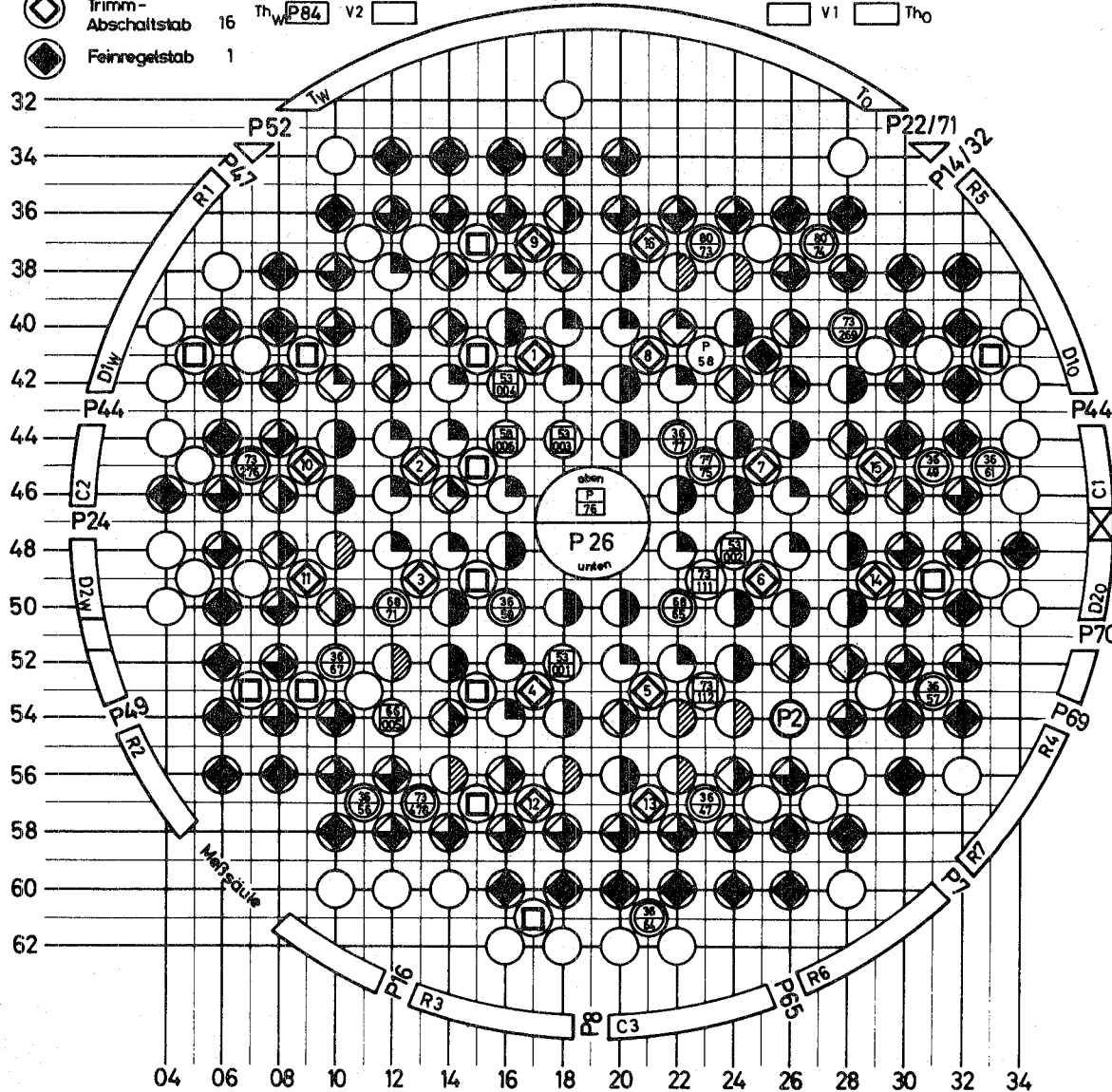
165 auf Gitterpositionen 12 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

- ● BE 8 am - neu einges. - ● BE 9 am - neu einges.

Falls Abbrand > 15 MWd / kp_U, Angaben in Zahlenwerten

- Isotopen
Bestr. Position 13
 Trimm-
Abschaltstab 16 Th_w P84
 Feinregelstab 1
 V6 V5
 V4 S4 S2 S0 S1 S3 V3
 Therm.Säule
 V2 V1 Th₀



1. Brennelemente:

- Abbrand: ≤ 25 25-50 50-75 > 75 [%] 100% Δ 15 MWd / kgU
- - - - - = 0 BE 5 (1,5% anger.)
 - - 25 19 - = 44 BE 7 (1,75% anger.)
 - 39 37 19 5 - = 100 BE 8 (2% anger.)
 - - 9 - - = 9 BE 9 (1,86% anger.)
- Summe BE im Core - 153

2. Kapselversuchseinsätze:

- Proj. Nr. - 17
Ifd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

- Proj. Nr. - 9
Ifd. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR2/2 (He- Tieftemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- 4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He- Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüf. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
-	-	-	-	-

- 4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position -
- 4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.- Druckwasserkreislauf)
Position 41/23 (Einsatz Le 8)

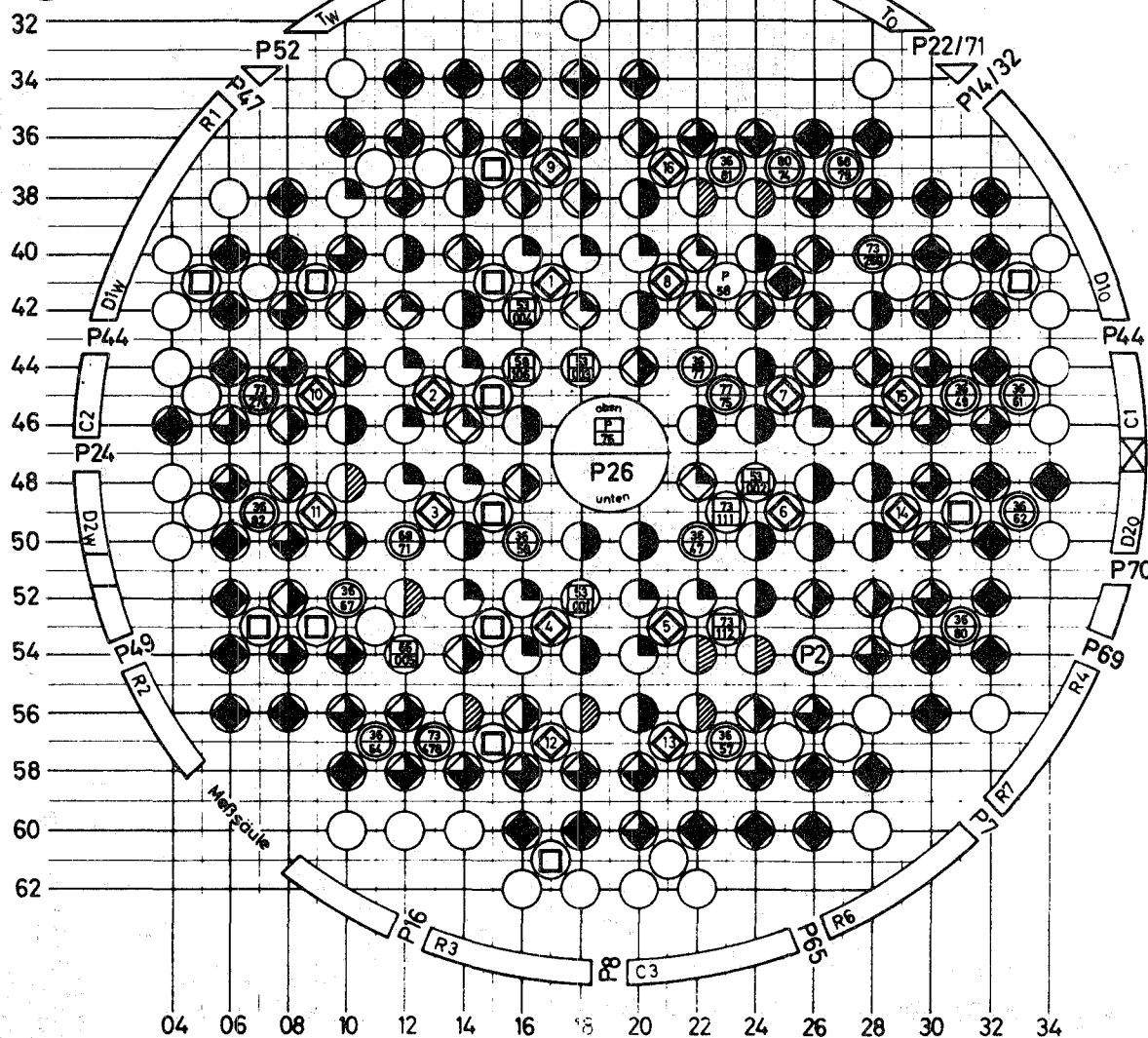
5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg. v. Reaktor-Kreislauf:

164 auf Gitterpositionen 11 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

- BE 8 am - neu einges. - BE 9 am - neu einges.

- Isotopen
Bestr. Position 13
 - Trimm-Abschaltstab 16
 - Feinregelstab 1
- V6 S4 S2 S0 S1 S3 V5
 V4 Therm.Säule V3
 V2 V1 Th₀



1. Brennelemente:

- Abbrand: <25 25-50 50-75 >75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U
- - - - = 0 BE 5 (15% anger.)
 - - 24 15 = 39 BE 7 (1,75% anger.)
 - 38 37 23 7 = 105 BE 8 (2% anger.)
 - - 9 - = 9 BE 9 (1,86% anger.)
- Summe BE im Core - 153

2. Kapselversuchseinsätze:

- Proj. Nr. - 19
Ird. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

- Proj. Nr. - 9
Ird. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR2/2 (He-Tiefemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- 4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He-Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüf. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
L3-8	25.8.70	7 ⁴⁸	25.8.70	15 ⁴⁸

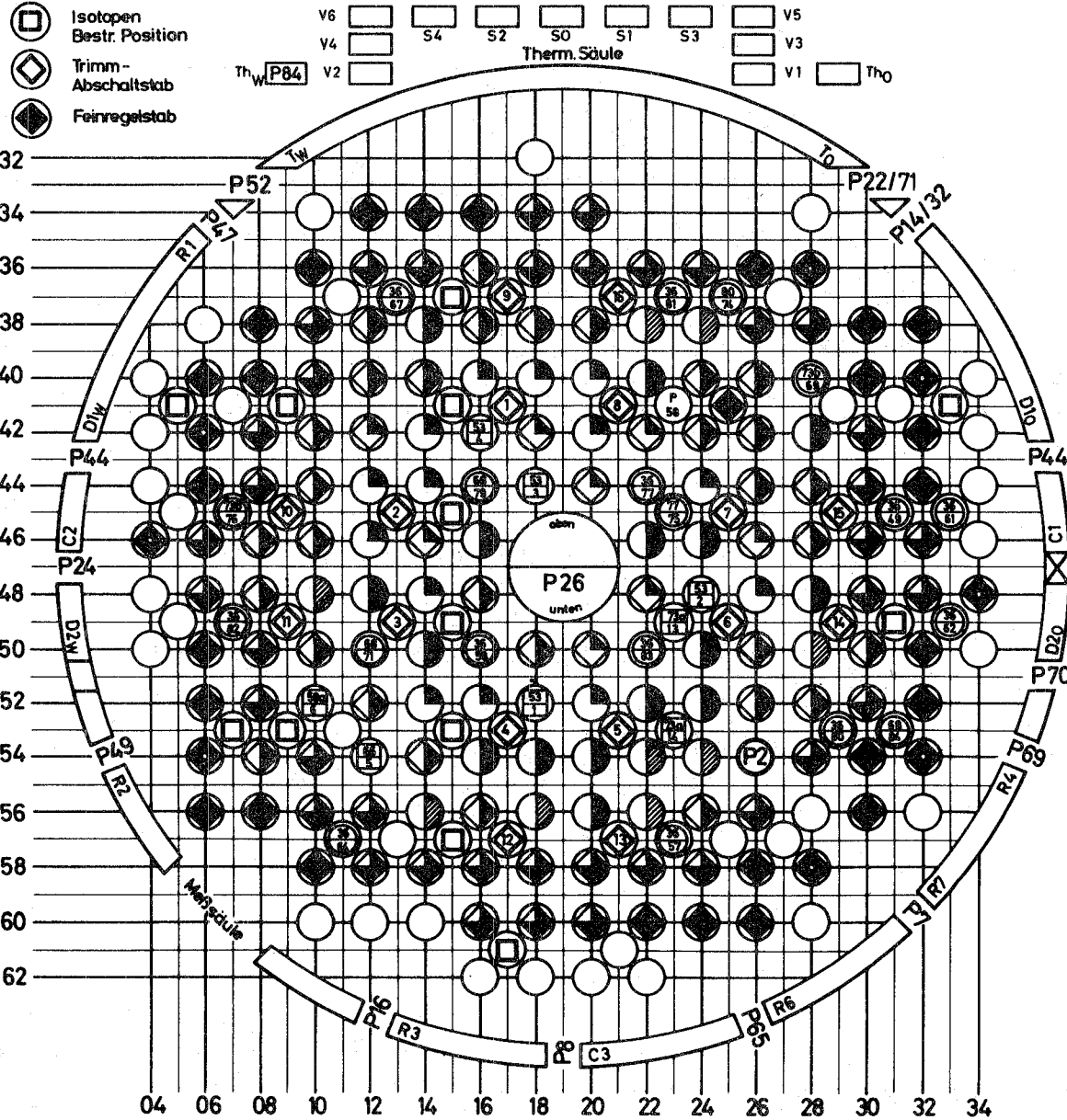
- 4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position -
- 4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position 41/23 (Einsatz Le 8)

5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg.v.Reaktor-Kreislauf:

165 auf Gitterpositionen 13 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

- BE 8 am - neu einges. - BE 9 am - neu einges.



1. Brennelemente:

Abbrand:

-25	25-50	50-75	>75 [%]	100% Δ	15 MWd / kp _U
●	●	●	●	○	BE 5 (1,5% anger.)
●	●	●	●	○	16 ● 14 ● - 30 BE 7 (1,75% anger.)
●	●	●	●	○	35 ● 40 ● 31 ● 8 ● - 114 BE 8 (2% anger.)
●	●	●	●	○	9 ● - 9 BE 9 (1,86% anger.)
					Summe BE im Core - 153

2. Kapselversuchseinsätze:

○	Proj. Nr.	- 19
○	ifd. Nr.	

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

○	Proj. Nr.	- 8
○	ifd. Nr.	

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR2/2 (He-Tiefemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- 4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He-Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüfl. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
-	-	-	-	-

- 4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position -
- 4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position 41/23 (Einsatz Le 8)

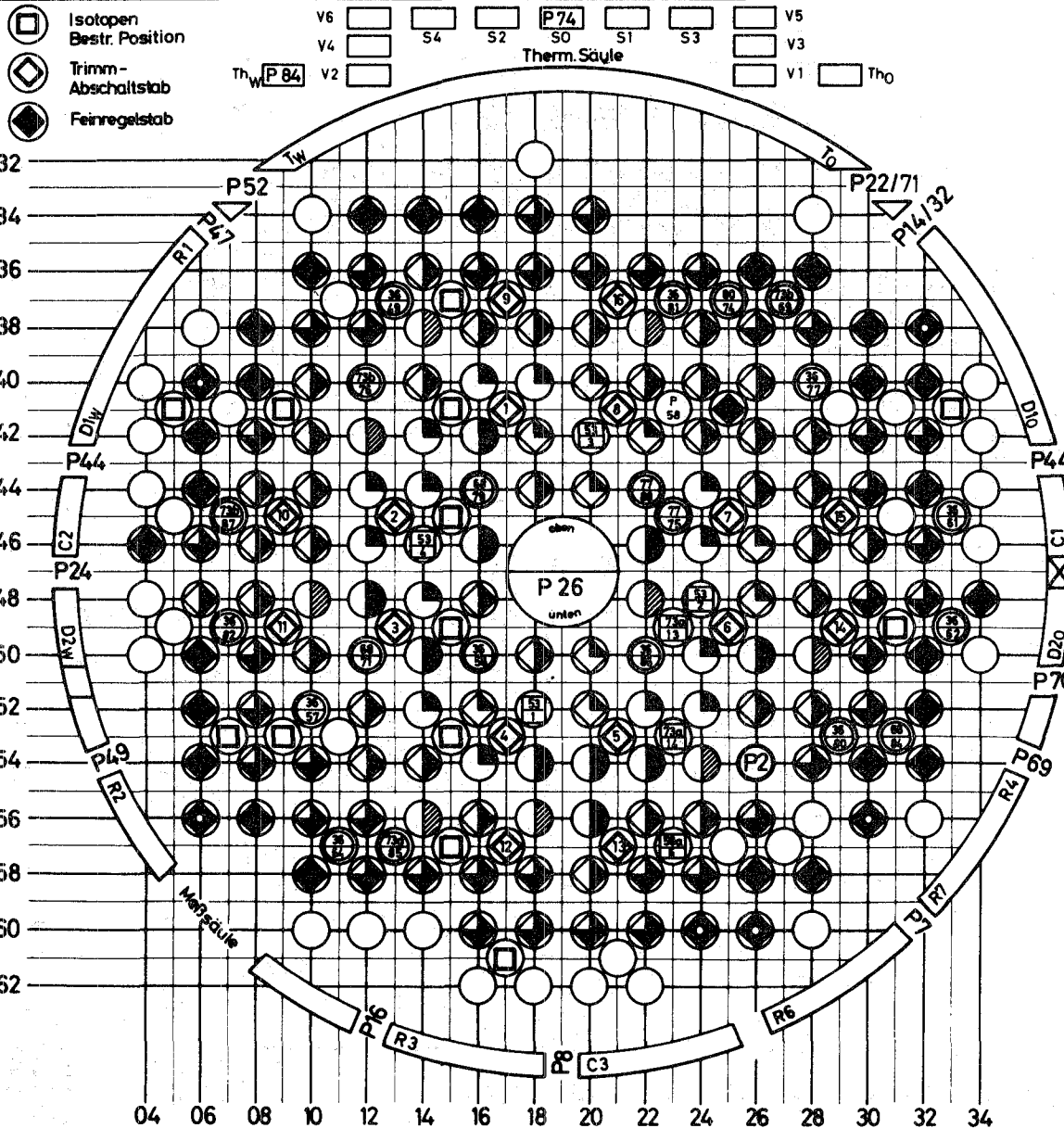
5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg. v. Reaktor-Kreislauf:

164 auf Gitterpositionen 13 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

8 ● BE 8 am 24.9.70 neu einges. - ● BE9 am - neu einges.

Die Projekte werden ab sofort entsprechend dem neuen IBM-BE-Kartei-Programm gekennzeichnet!



1. Brennelemente:

Abbrand: ≤ 25 25-50 50-75 >75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U

- ● - ● - ● - ● - ● = 0 BE 5 (1,5% anger.)

- ● - ● 10 ● 14 ● = 24 BE 7 (1,75% anger.)

33 ● 40 ● 38 ● 9 ● = 120 BE 8 (2% anger.)

- ● - ● 9 ● - ● = 9 BE 9 (1,86% anger.)

Summe BE im Core - 153

2. Kapselversuchseinsätze:

⊖ Proj. Nr. - 21
Wd. Nr.

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

⊖ Proj. Nr. - 7
Wd. Nr.

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR2/2 (He-Tiefemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54/26
- 4.2 Proj. FR2/26 (Brennstoffbestr.-He-Druckgaskreislauf)
Position 47/19

Prüf. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit
L4-1	26.11.70	10 01	29.11.70	10 01
L4-2	1.12.70	11 07	4.12.70	11 07
L4-3	8.12.70	14 40	11.12.70	14 40

- 4.3 Proj. FR2/55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position -
- 4.4 Proj. FR2/58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position 41/23 (Einsatz Le 8)

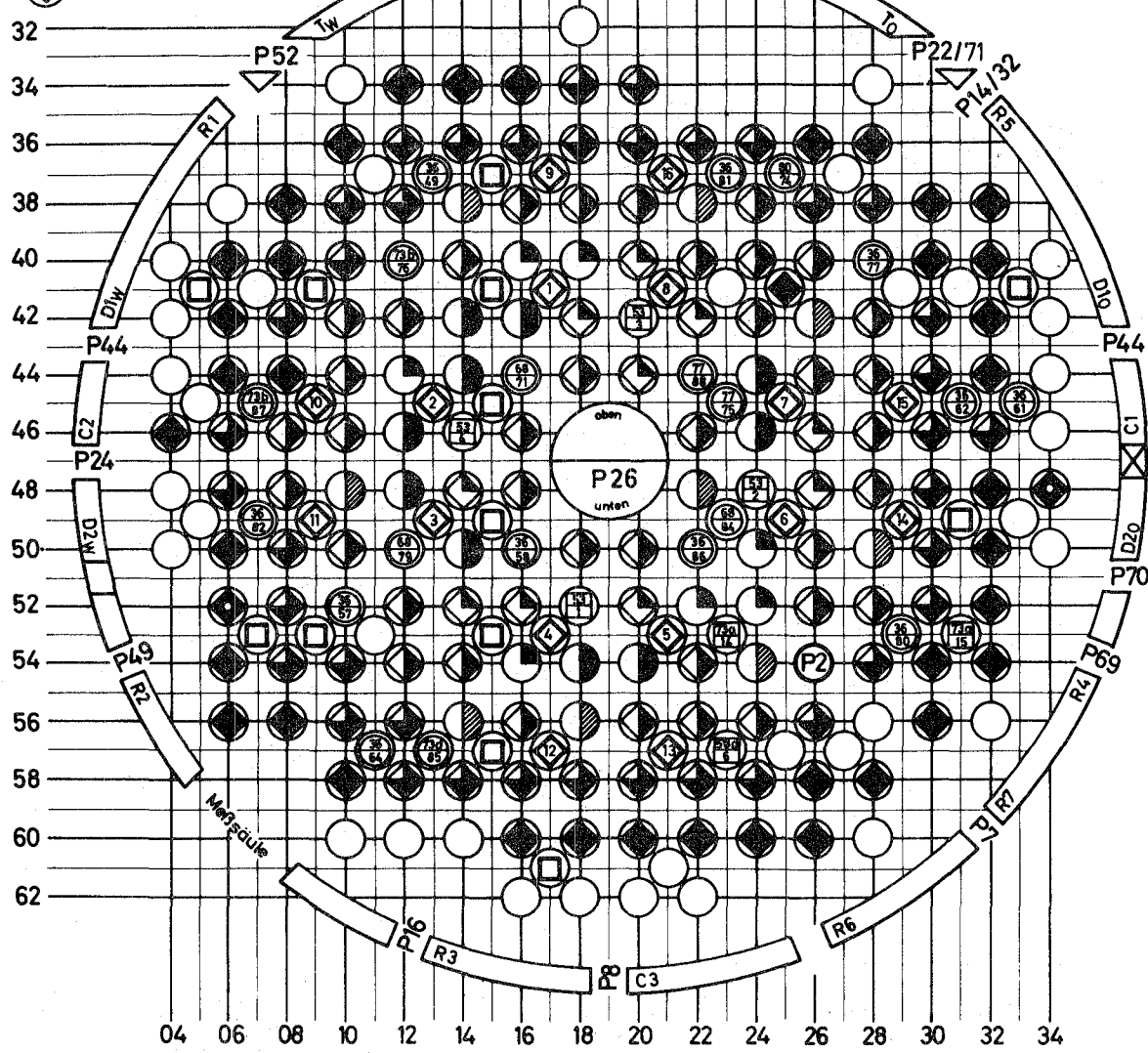
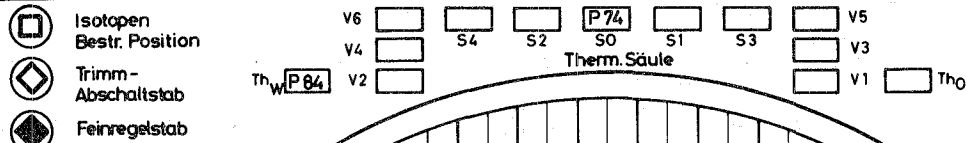
5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg. v. Reaktor-Kreislauf:

165 auf Gitterpositionen 14 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

6 ● BE 8 am 12.11.70 neu einges. - ● BE9 am - neu einges.

Proj. FR2/74 ab 47. Wo. 70 Experimentierbetrieb
Proj. FR2/85 in der 44. Wo. 70 aus R6-Kanal ausgebaut



1. Brennelemente:

Abbrand: ≤ 25 25-50 50-75 > 75 [%] 100% Δ 15 MWd / kp_U

- - - - = 0 BE 5 (15% anger.)
 - - 10 7 = 17 BE 7 (1,75% anger.)
 40 39 38 10 = 127 BE 8 (2% anger.)
 - - 9 - = 9 BE 9 (1,86% anger.)
 Summe BE im Core - 153

2. Kapselversuchseinsätze:

	Proj. Nr.	- 20
	lfd. Nr.	

3. Sonstige Einbauten mit Brennstoffen:

	Proj. Nr.	- 7
	lfd. Nr.	

4. Kreislaufexperimente:

- 4.1 Proj. FR 2 / 2 (He - Tieftemperaturbestrahlungseinrichtung)
Position 54 / 26
- 4.2 Proj. FR 2 / 26 (Brennstoffbestr.-He - Druckgaskreislauf)
Position 47 / 19

Prüfl. Nr.	Einbau		Ausbau	
	Tag	Zeit	Tag	Zeit

- 4.3 Proj. FR 2 / 55 (Hüllschadendampfkreislauf)
Position
- 4.4 Proj. FR 2 / 58 (Brennstoffplattenbestr.-Druckwasserkreislauf)
Position - Einsatz Le 8 am 18.12.70 ausgebaut

5. Summe d. besetzten Reaktorpos. m. Kühlg.v. Reaktor-Kreislauf:

165 auf Gitterpositionen 13 auf Zwischengitterpositionen

6. Bemerkungen:

2 BE 8 am 18.12.70 neu einges. - BE 9 am - neu einges.

Beladeplan erfaßt 10 MW Betrieb nach Maßgabe von Projekt FR 2 / 2

BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

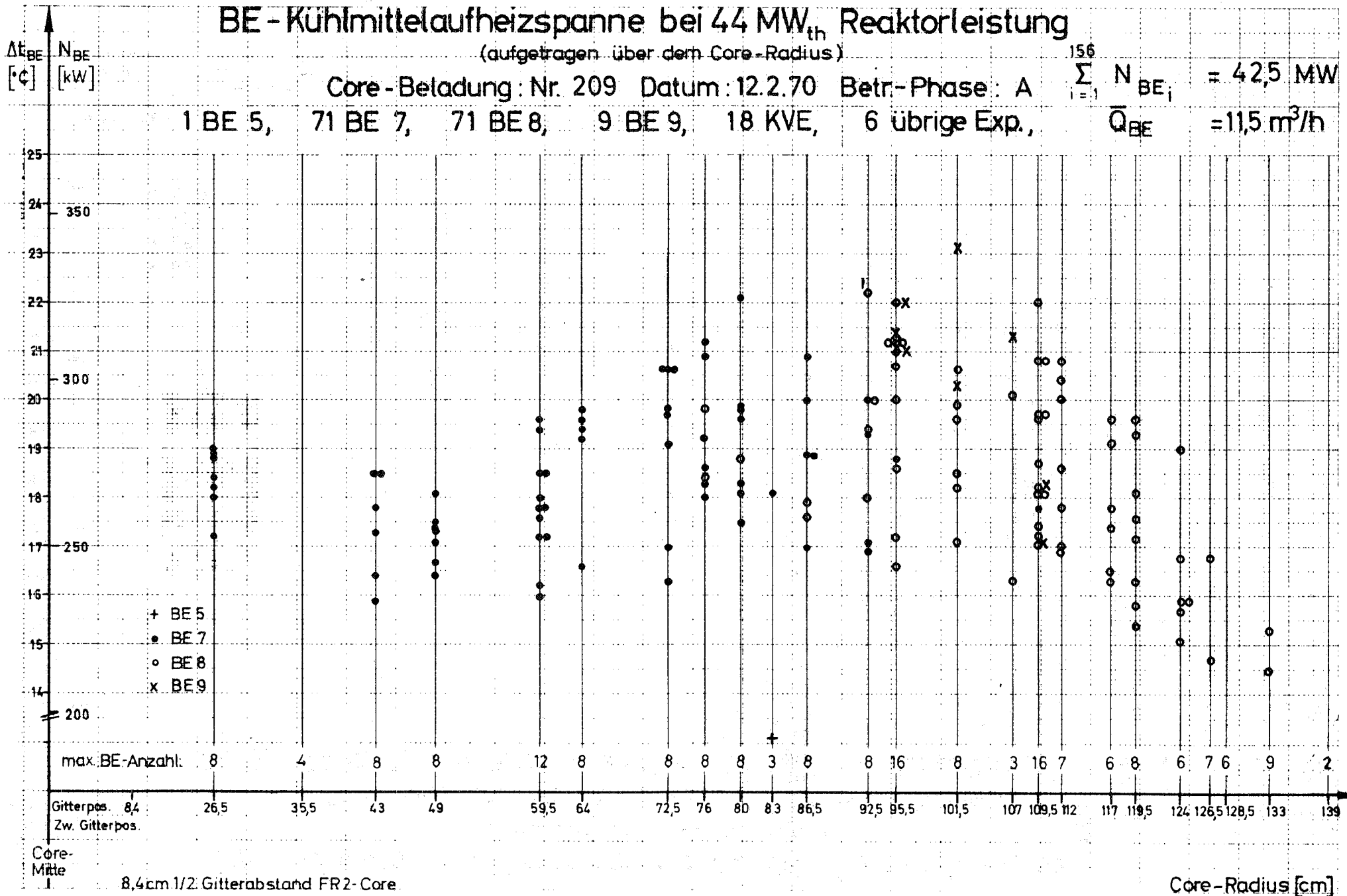
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 209 Datum: 12.2.70 Betr.-Phase: A

$\sum_{i=1}^{156} N_{BE_i} = 42,5 \text{ MW}$

1 BE 5, 71 BE 7, 71 BE 8, 9 BE 9, 18 KVE, 6 übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE} = 11,5 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

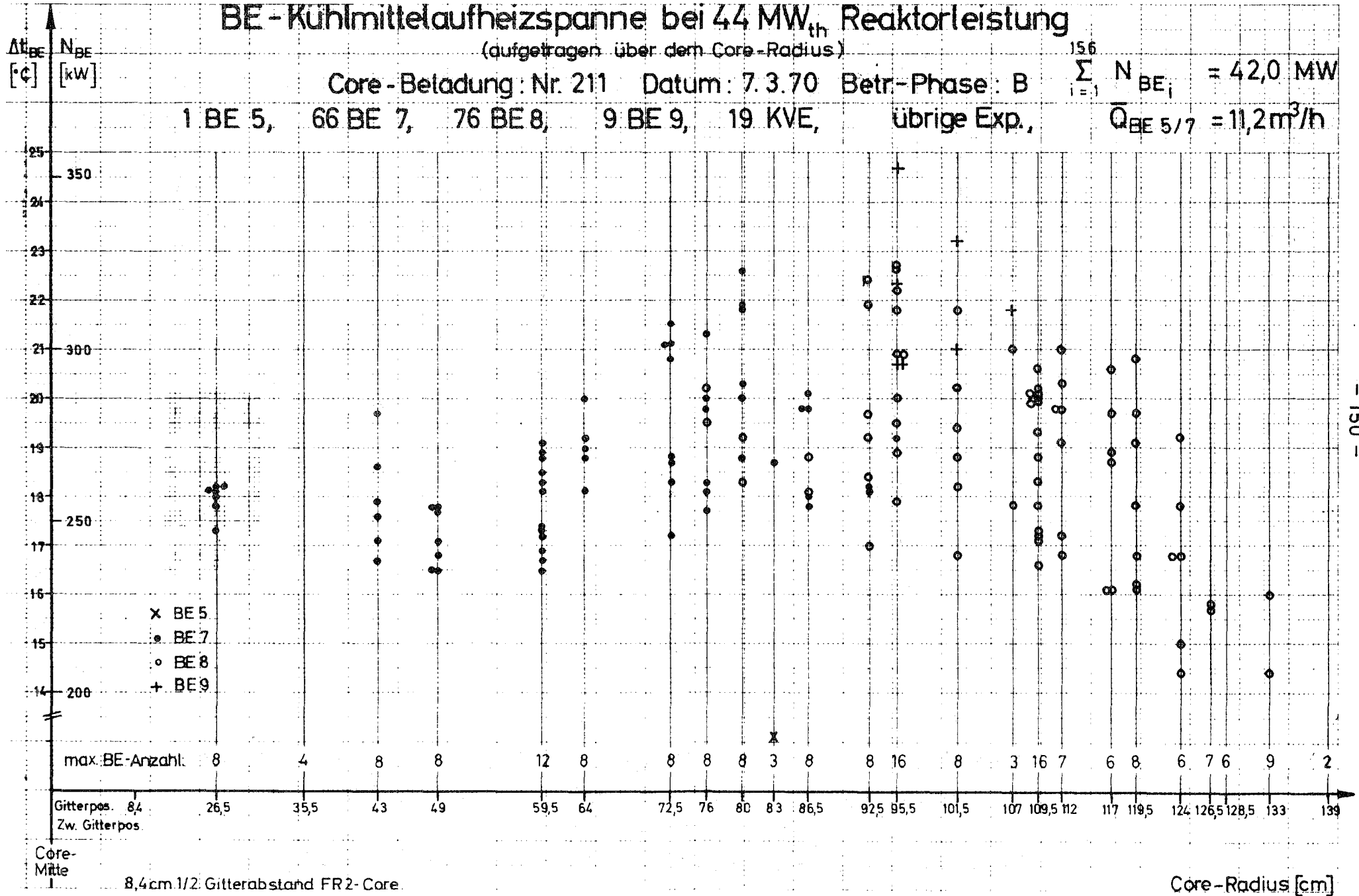
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 211 Datum: 7. 3. 70 Betr-Phase: B

$\sum_{i=1}^{156} N_{BE_i} = 42,0 \text{ MW}$

1 BE 5, 66 BE 7, 76 BE 8, 9 BE 9, 19 KVE, übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE\ 5/7} = 11,2 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

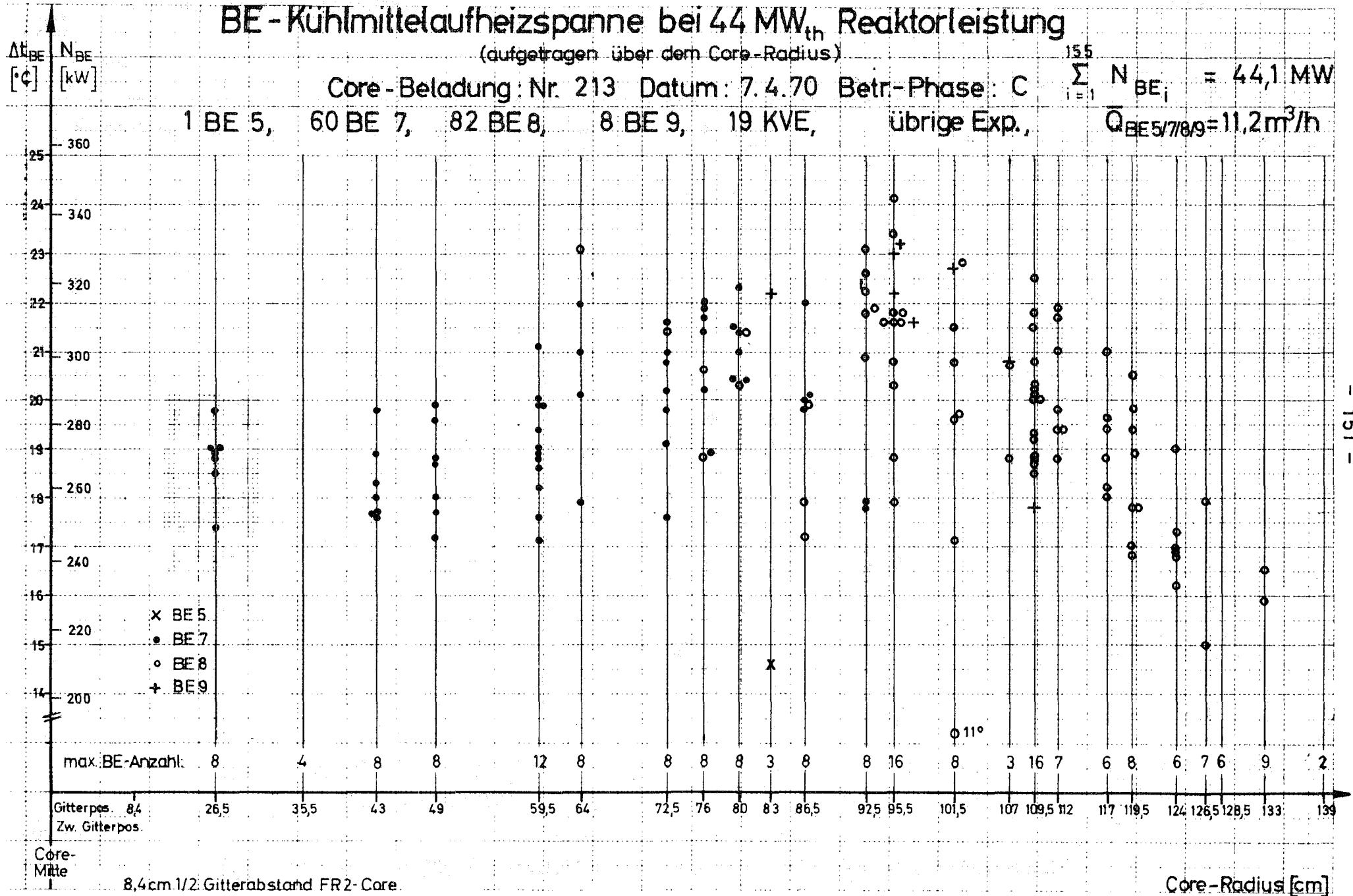
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 213 Datum: 7.4.70 Betr.-Phase: C

$\sum_{i=1}^{155} N_{BE_i} = 44,1 \text{ MW}$

1 BE 5, 60 BE 7, 82 BE 8, 8 BE 9, 19 KVE, übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE5/7/8/9} = 11,2 \text{ m}^3/\text{h}$



BE-Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

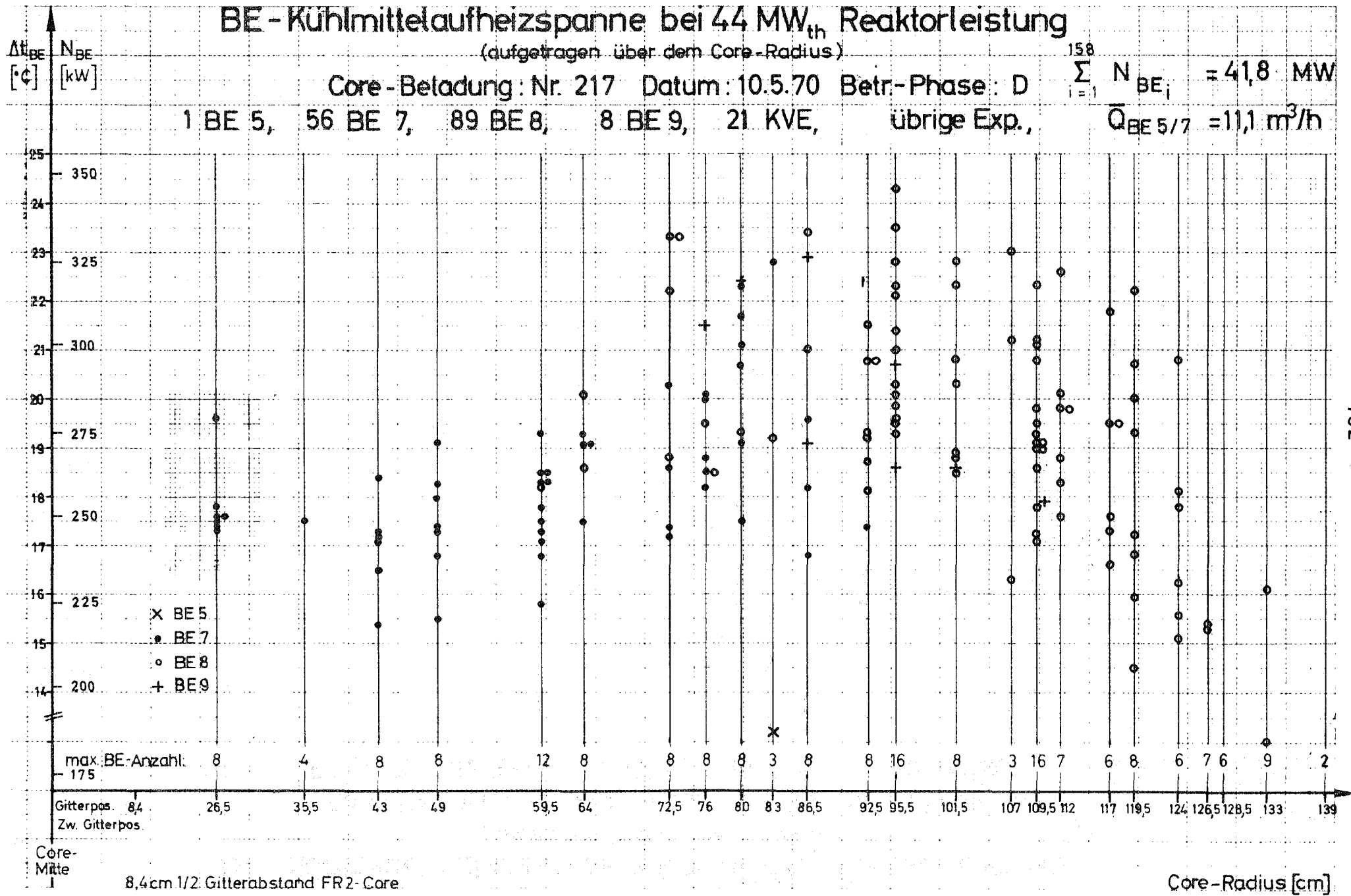
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 217 Datum: 10.5.70 Betr.-Phase: D

$\sum_{i=1}^{158} N_{BE_i} = 41,8 \text{ MW}$

1 BE 5, 56 BE 7, 89 BE 8, 8 BE 9, 21 KVE, übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE\ 5/7} = 11,1 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

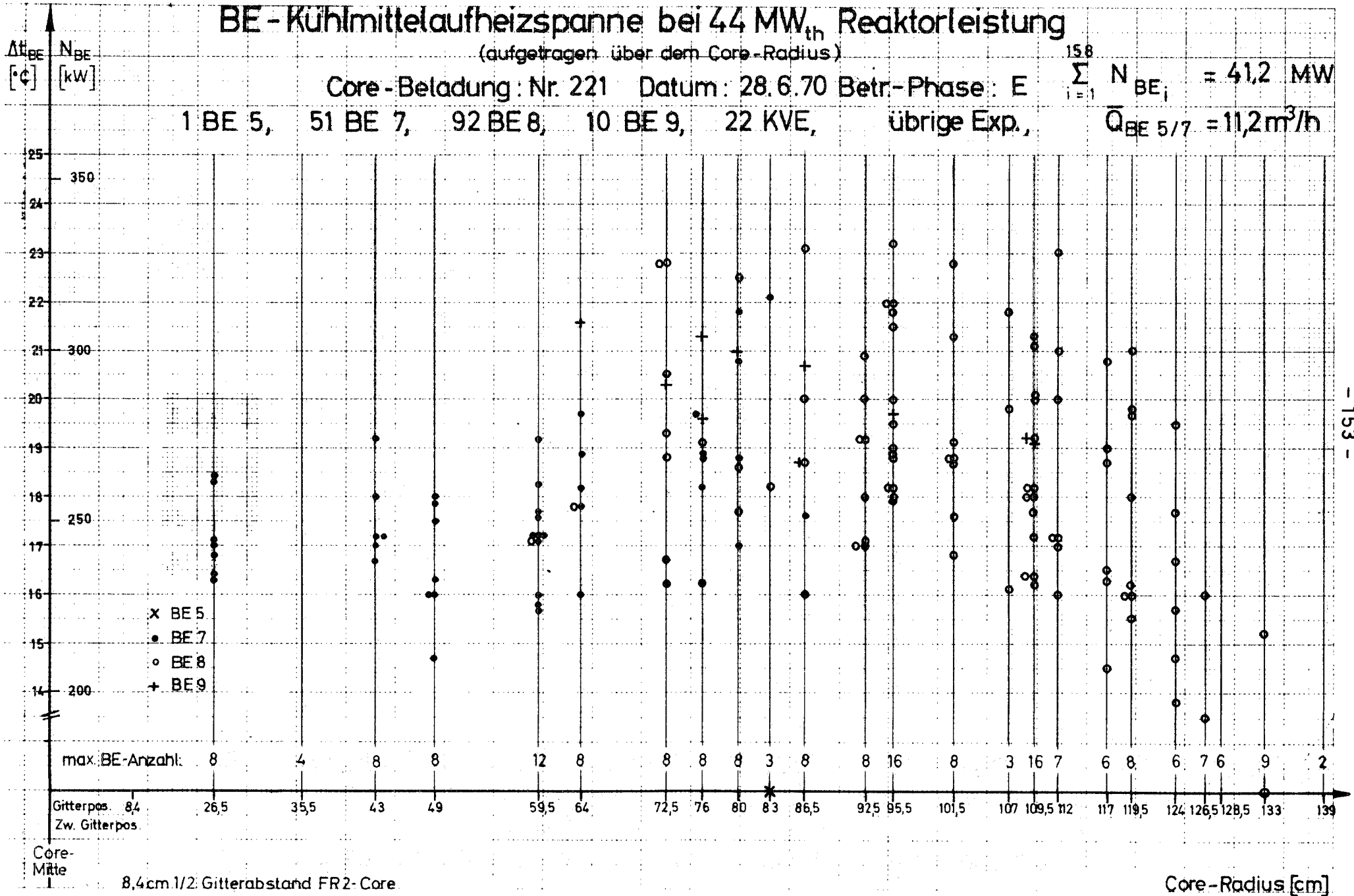
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 221 Datum: 28.6.70 Betr-Phase: E

$$\sum_{i=1}^{158} N_{BE_i} = 41,2 \text{ MW}$$

1 BE 5, 51 BE 7, 92 BE 8, 10 BE 9, 22 KVE, übrige Exp.,

$$\bar{Q}_{BE\ 5/7} = 11,2 \text{ m}^3/\text{h}$$



BE-Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

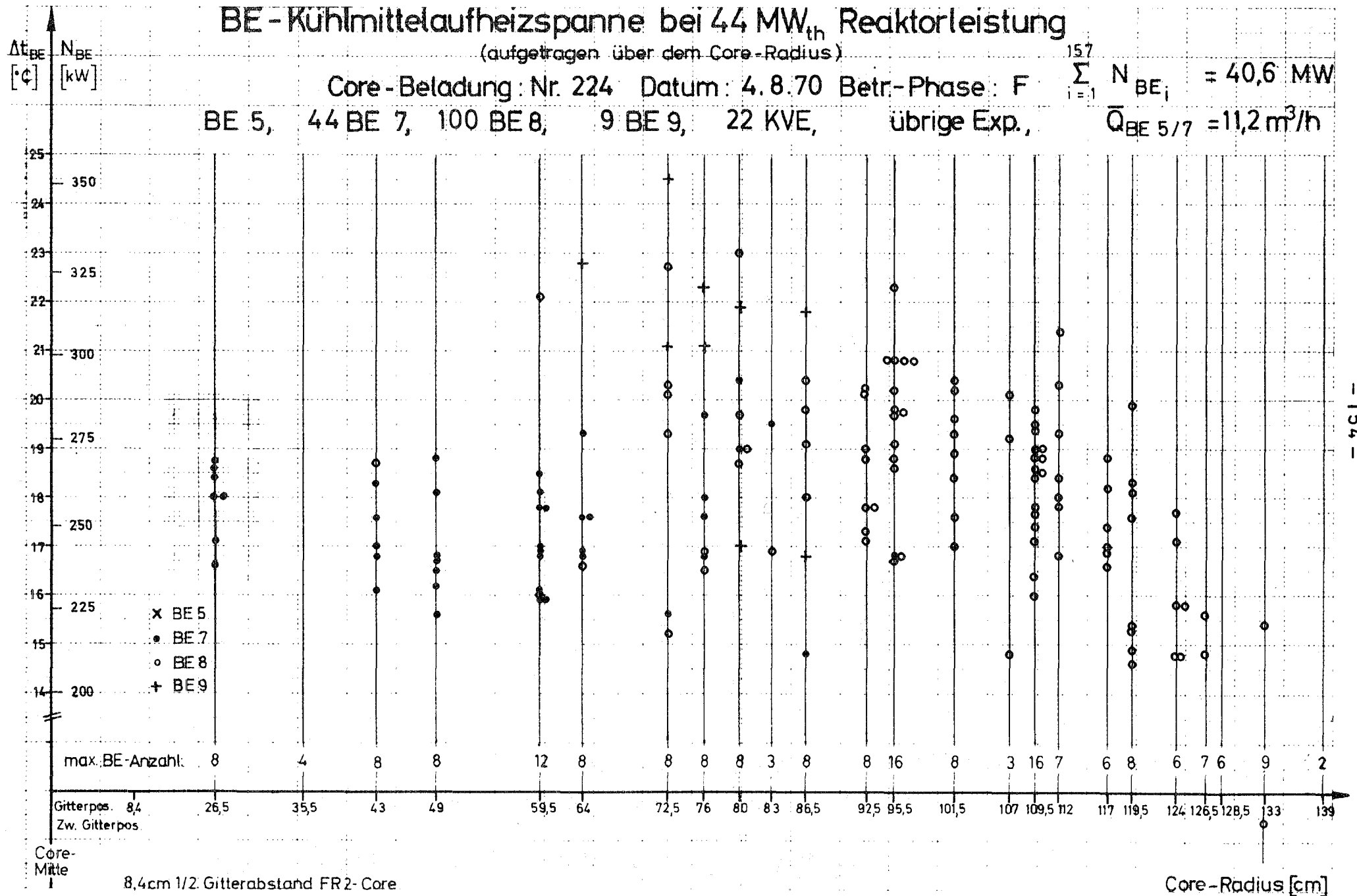
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 224 Datum: 4.8.70 Betr.-Phase: F

$\sum_{i=1}^{157} N_{BE_i} = 40,6 \text{ MW}$

BE 5, 44 BE 7, 100 BE 8, 9 BE 9, 22 KVE, übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE\ 5/7} = 11,2 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

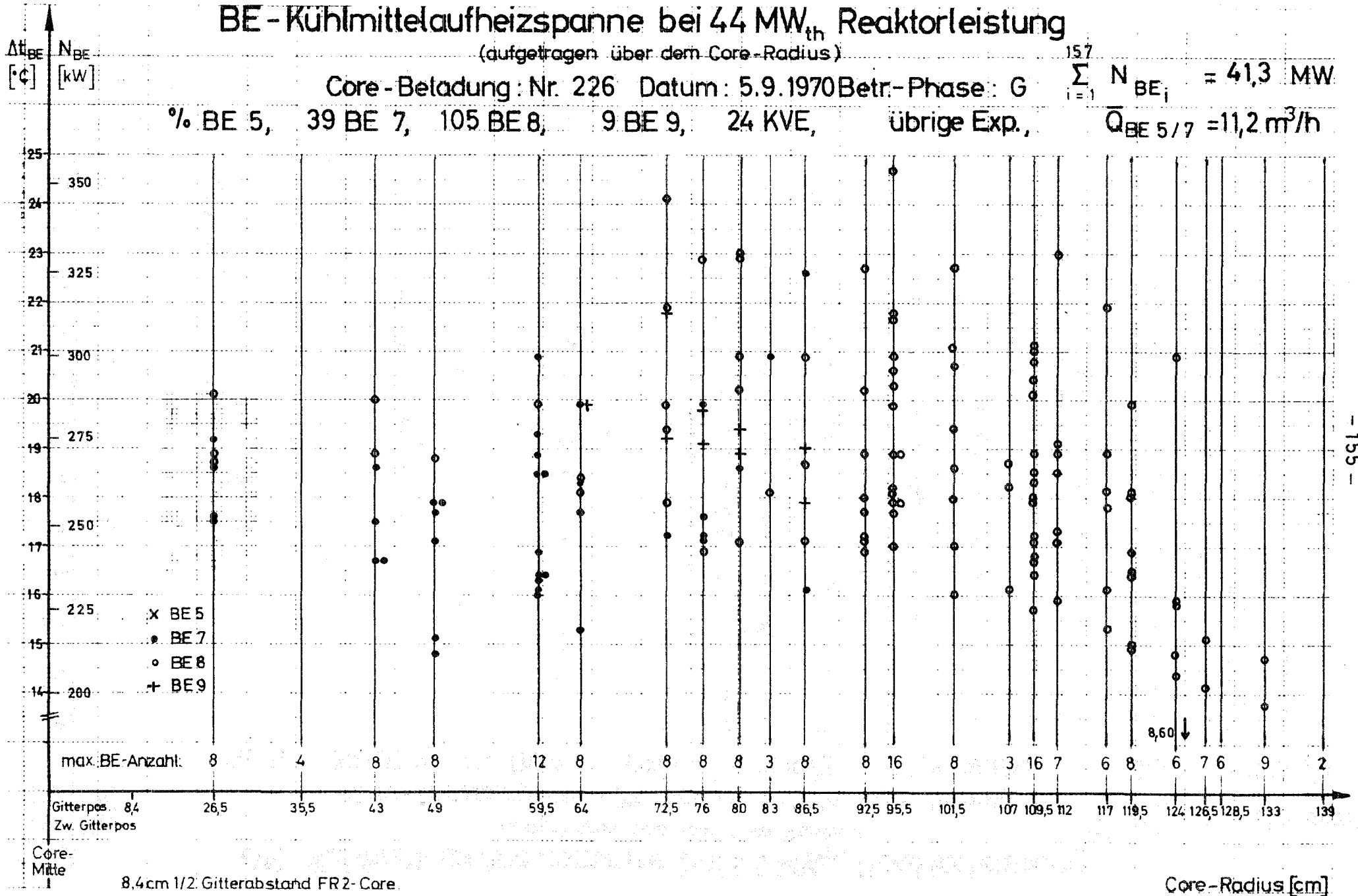
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 226 Datum: 5.9.1970 Betr.-Phase: G

$\sum_{i=1}^{157} N_{BE_i} = 41,3 \text{ MW}$

% BE 5, 39 BE 7, 105 BE 8, 9 BE 9, 24 KVE, übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE\ 5/7} = 11,2 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

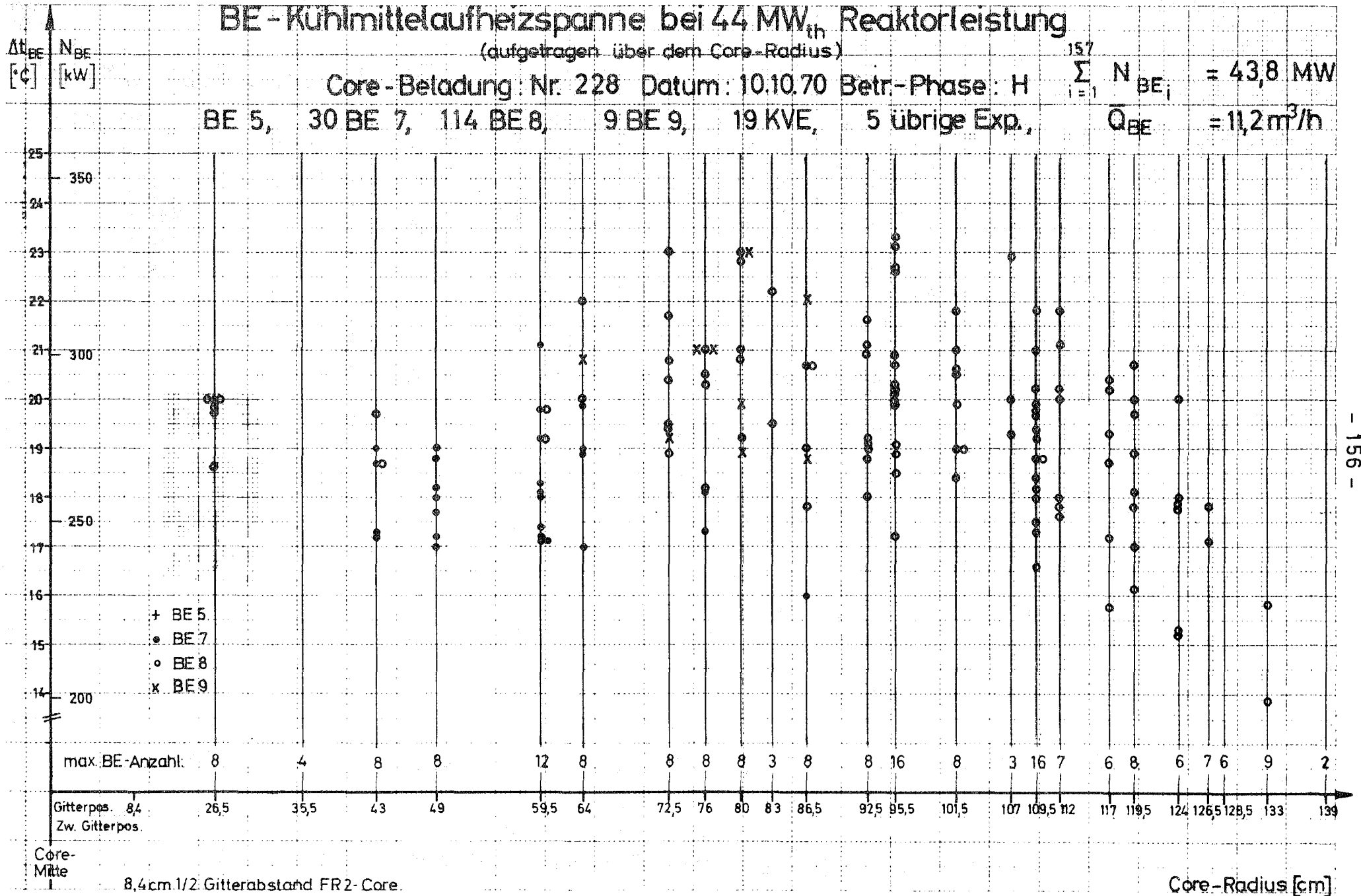
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 228 Datum: 10.10.70 Betr.-Phase: H

$\sum_{i=1}^{157} N_{BE_i} = 43,8 \text{ MW}$

BE 5, 30 BE 7, 114 BE 8, 9 BE 9, 19 KVE, 5 übrige Exp.,

$\bar{Q}_{BE} = 11,2 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelauflheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

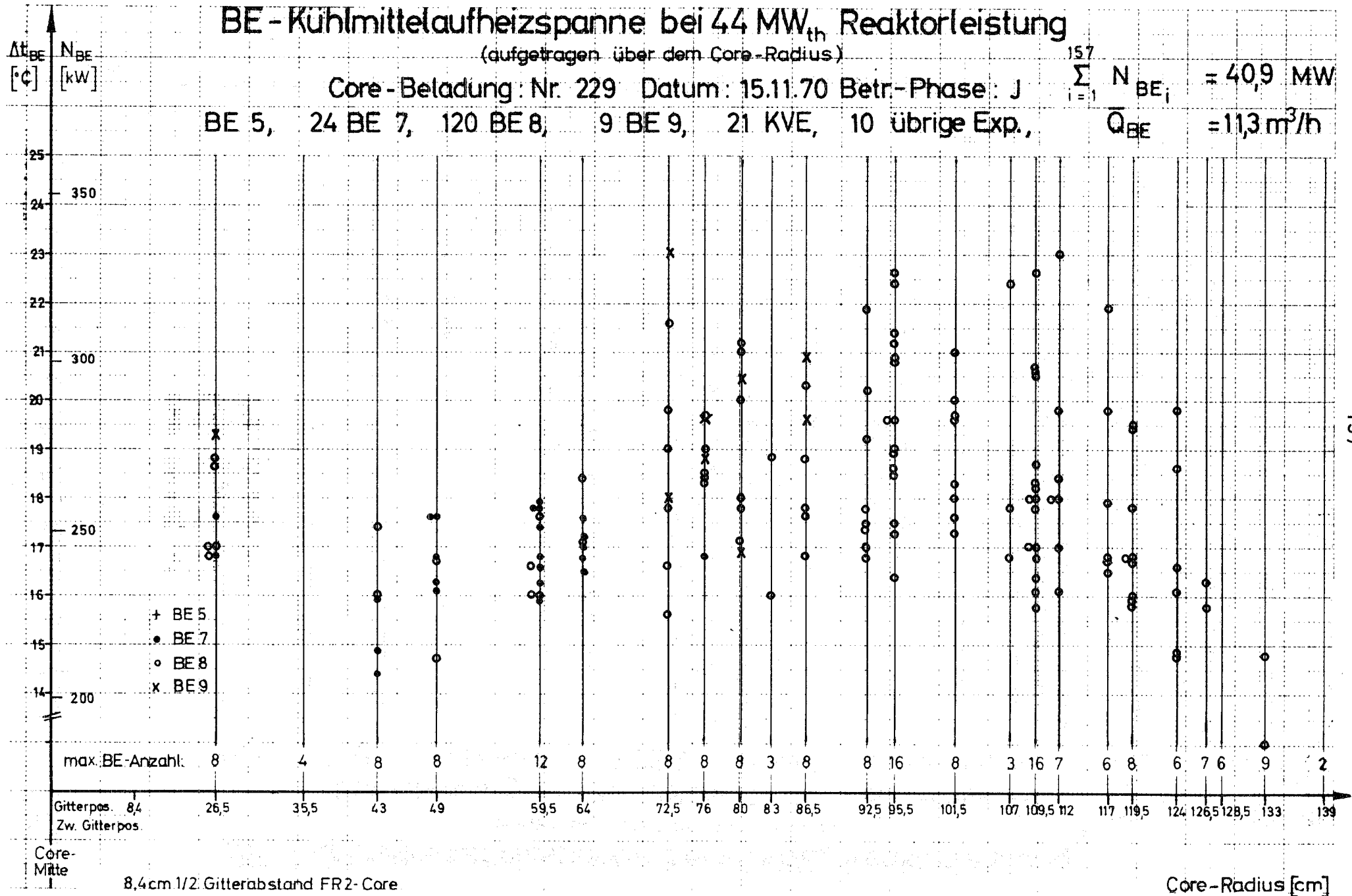
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 229 Datum: 15.11.70 Betr-Phase: J

BE 5, 24 BE 7, 120 BE 8, 9 BE 9, 21 KVE, 10 übrige Exp.,

$\sum_{i=1}^{157} N_{BE_i} = 40,9 \text{ MW}$

$\bar{Q}_{BE} = 11,3 \text{ m}^3/\text{h}$



BE - Kühlmittelaufheizspanne bei 44 MW_{th} Reaktorleistung

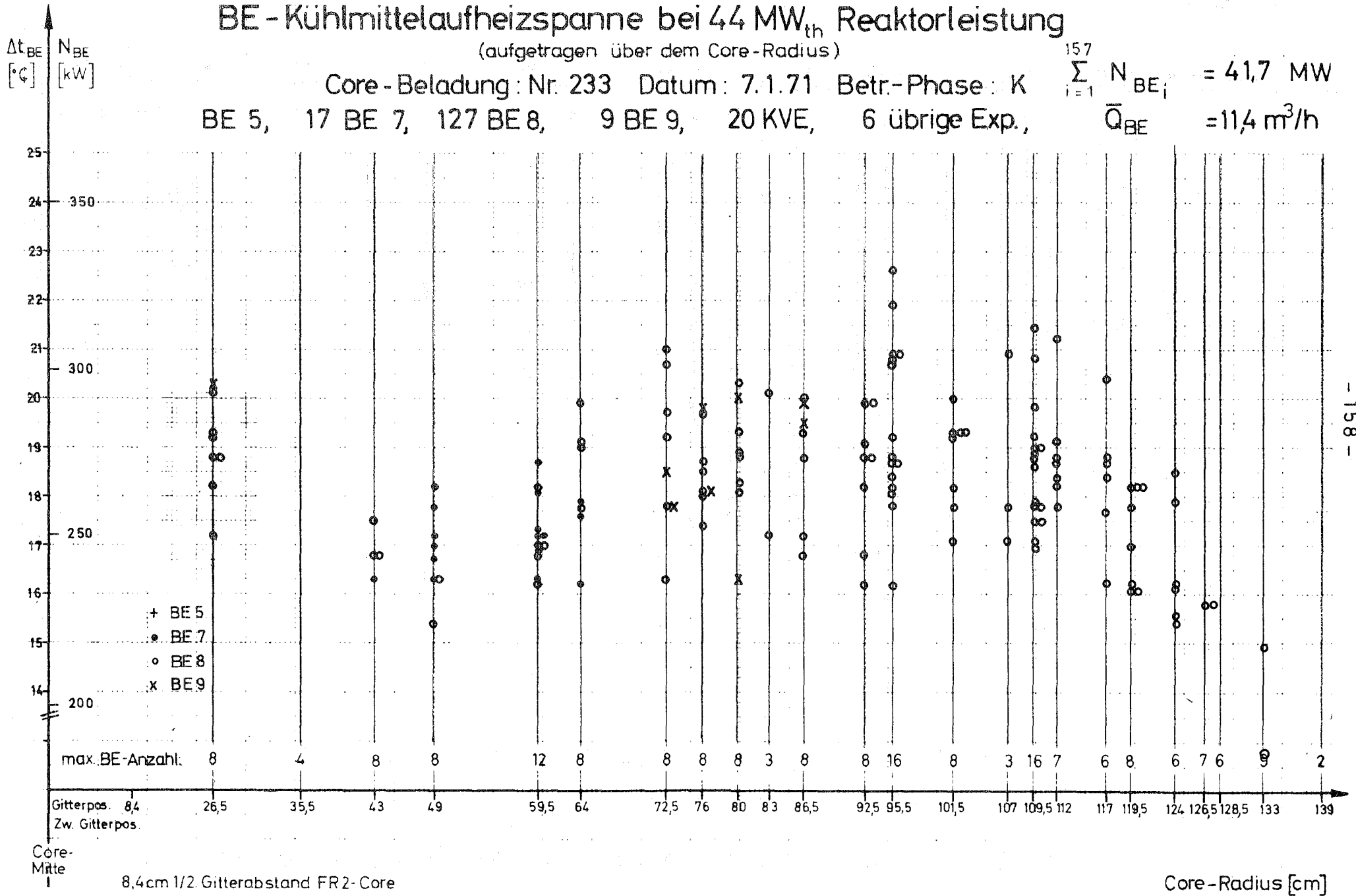
(aufgetragen über dem Core-Radius)

Core-Beladung: Nr. 233 Datum: 7.1.71 Betr.-Phase: K

BE 5, 17 BE 7, 127 BE 8, 9 BE 9, 20 KVE, 6 übrige Exp.,

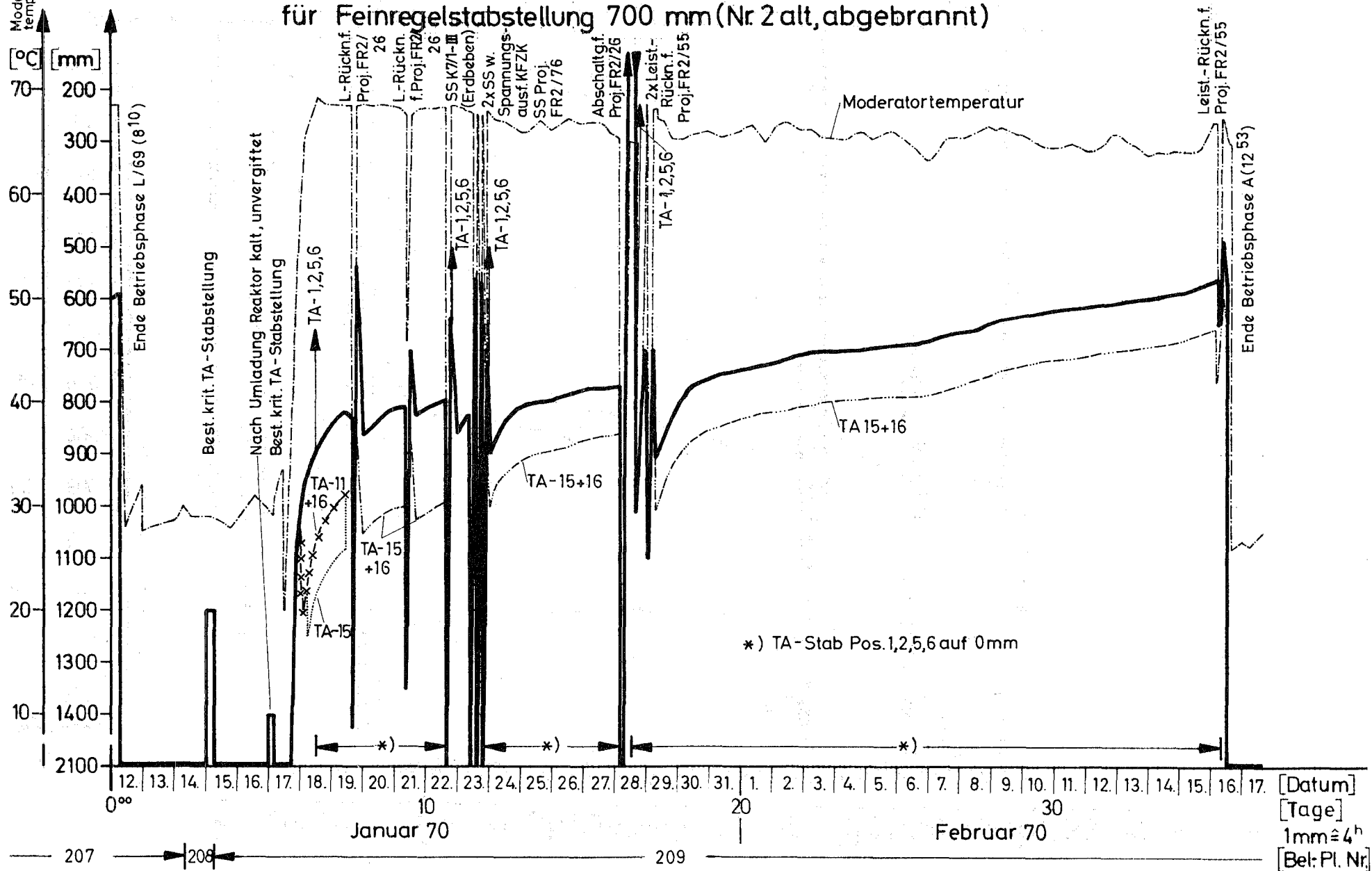
$$\sum_{i=1}^{157} N_{BE_i} = 41,7 \text{ MW}$$

$$\bar{Q}_{BE} = 11,4 \text{ m}^3/\text{h}$$



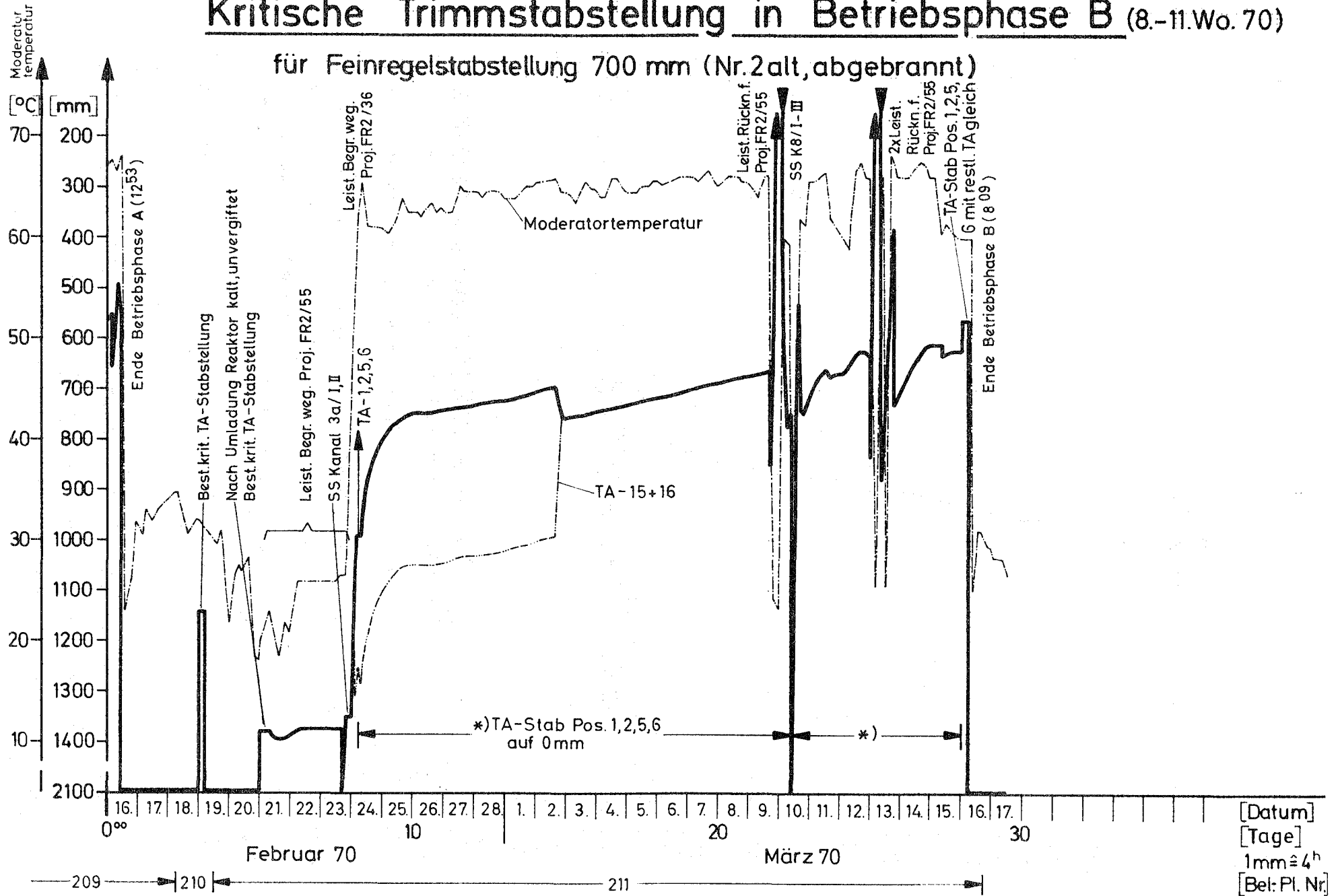
Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase A (3.-7. Wo. 70)

für Feinregelstabstellung 700 mm (Nr. 2 alt, abgebrannt)

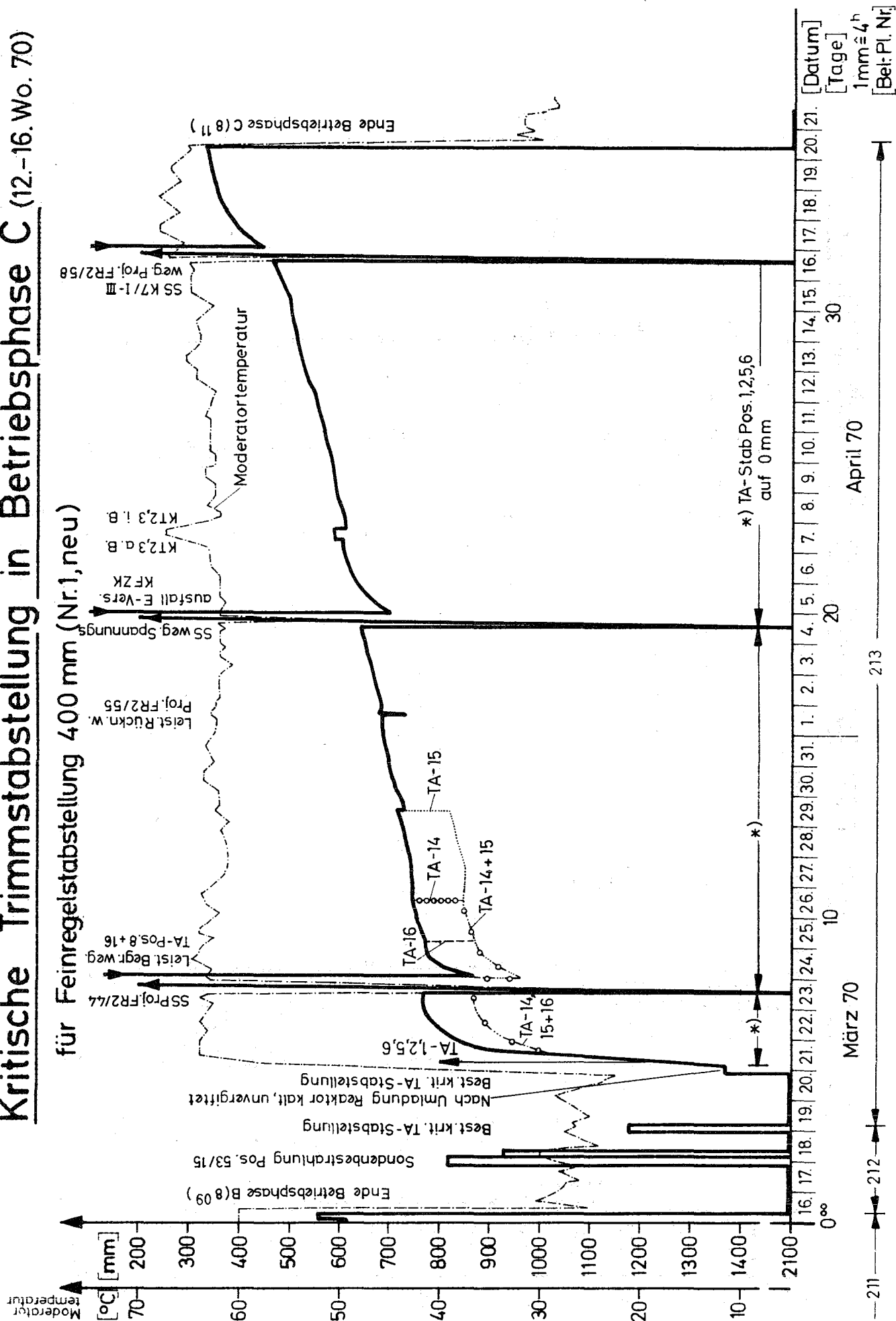


Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase B (8.-11.Wo. 70)

für Feinregelstabstellung 700 mm (Nr.2 alt, abgebrannt)

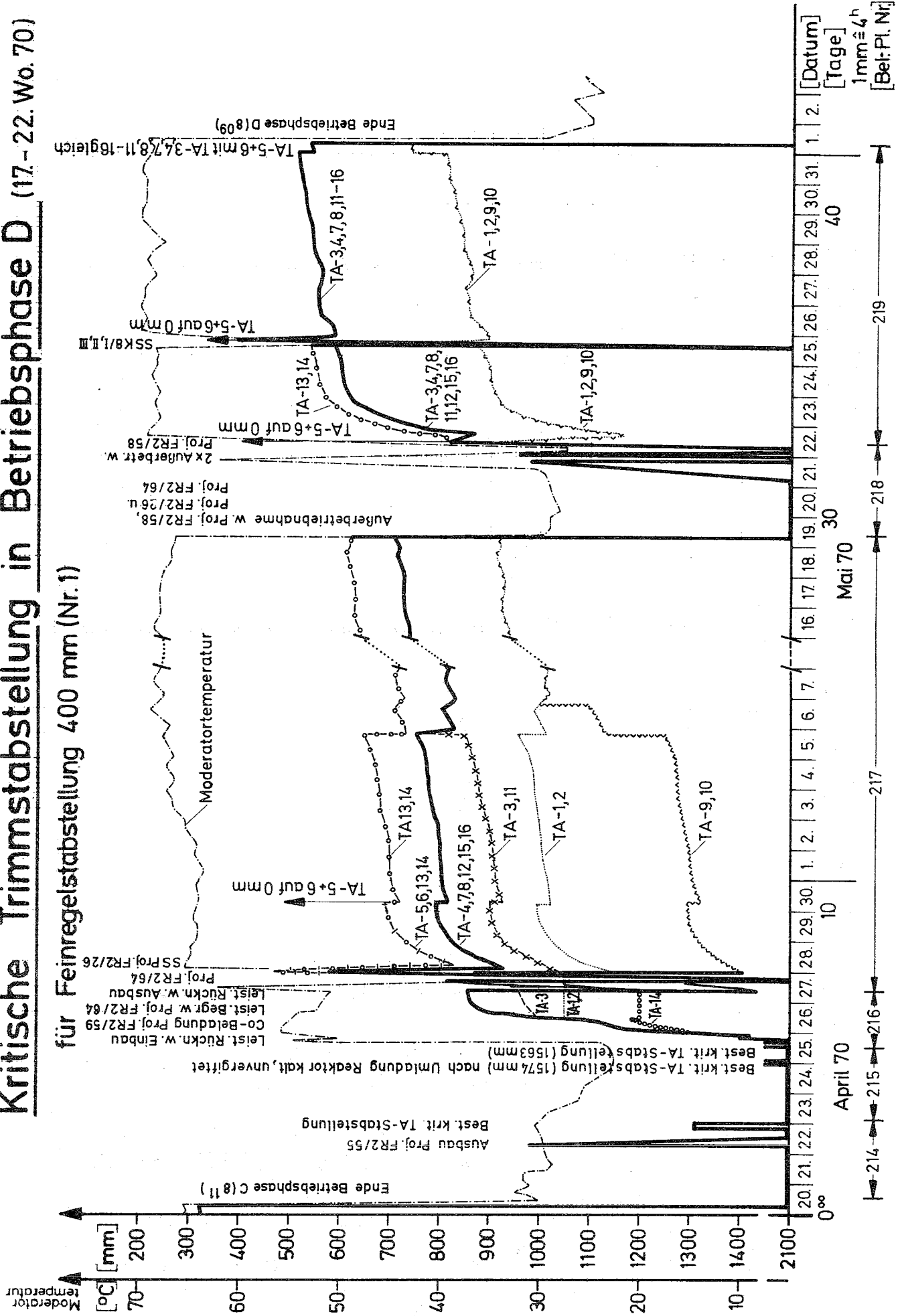


Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase C (12.-16. Wo. 70)

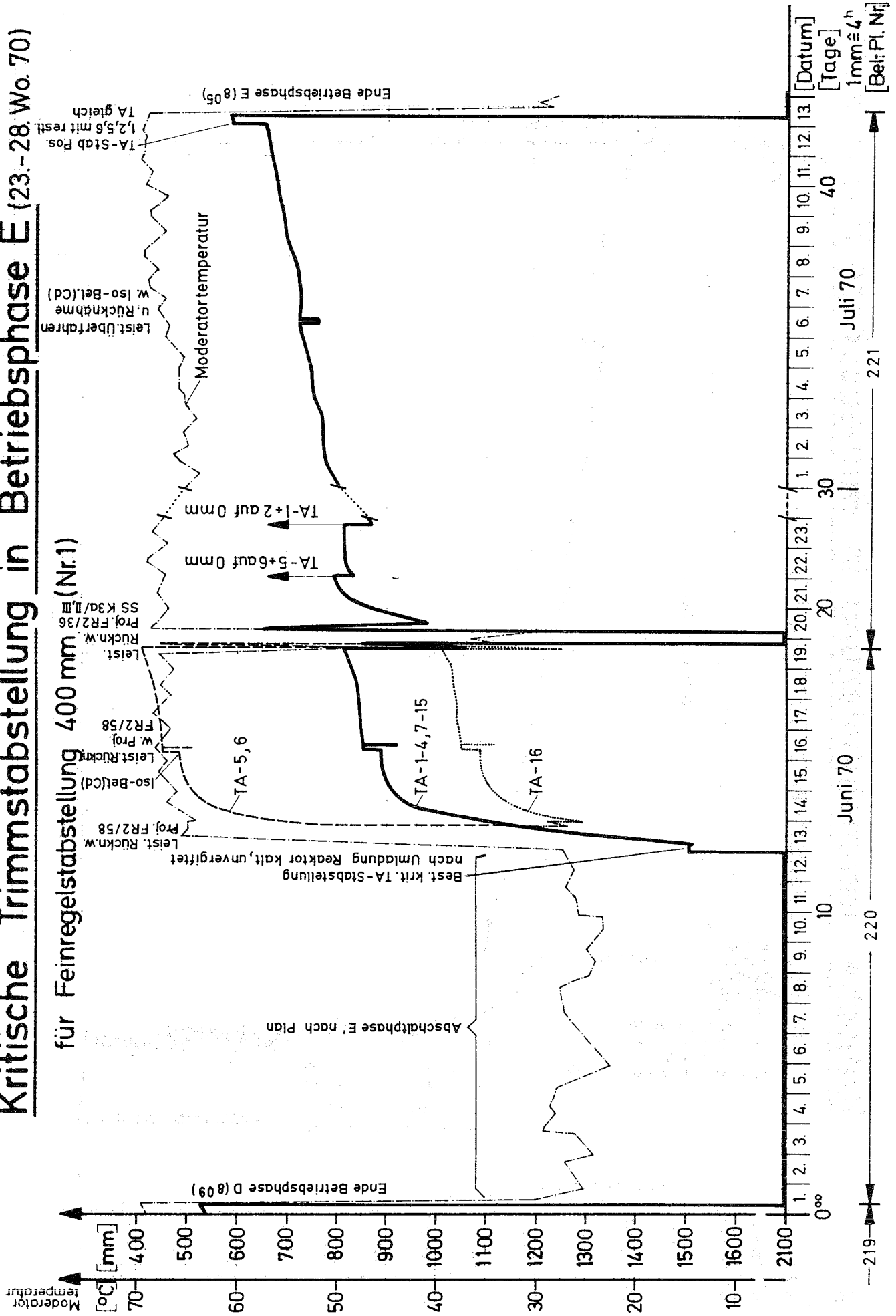


Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase D (17.-22. Wo. 70)

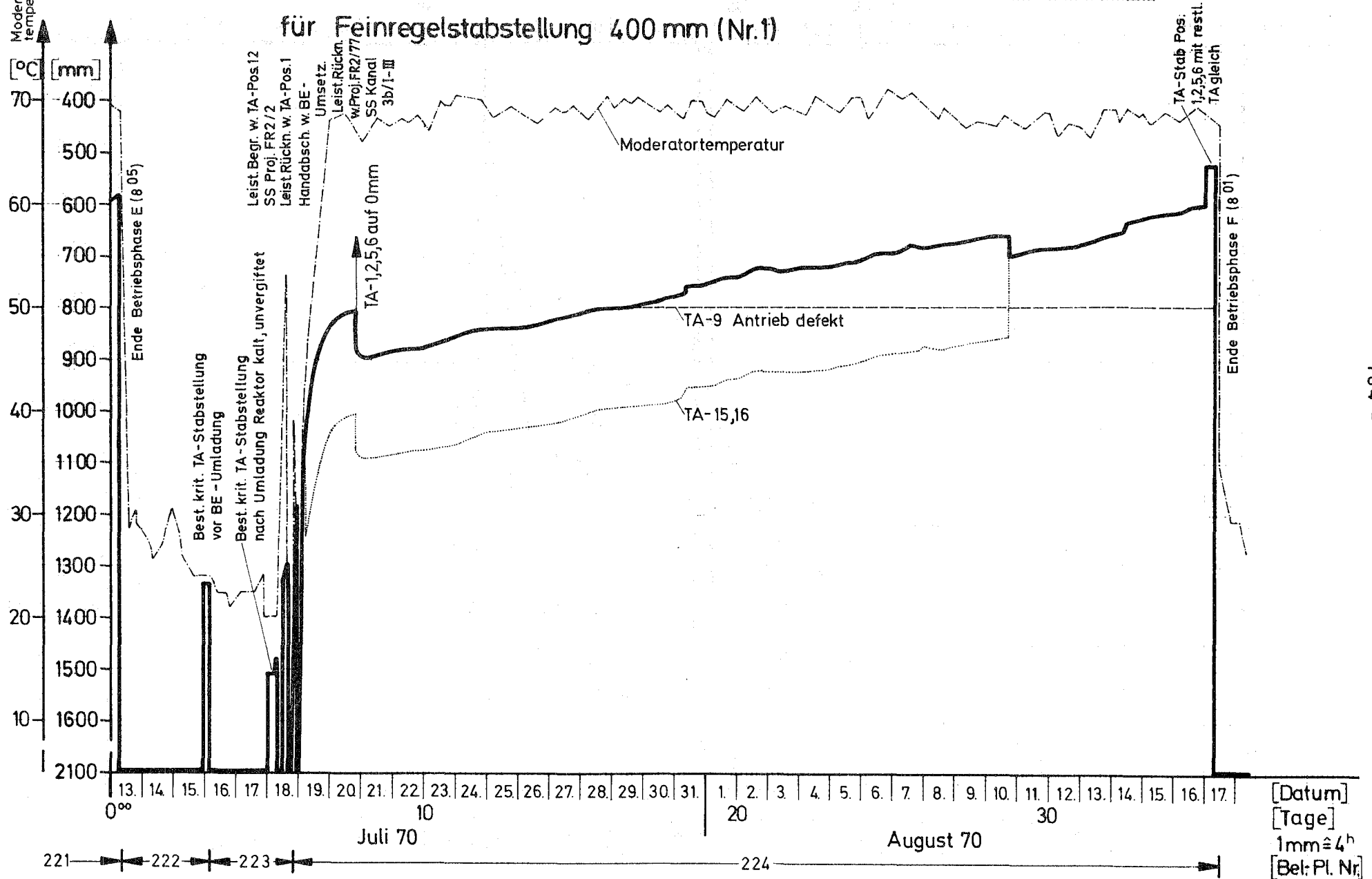
für Feinregelstabstellung 400 mm (Nr.1)



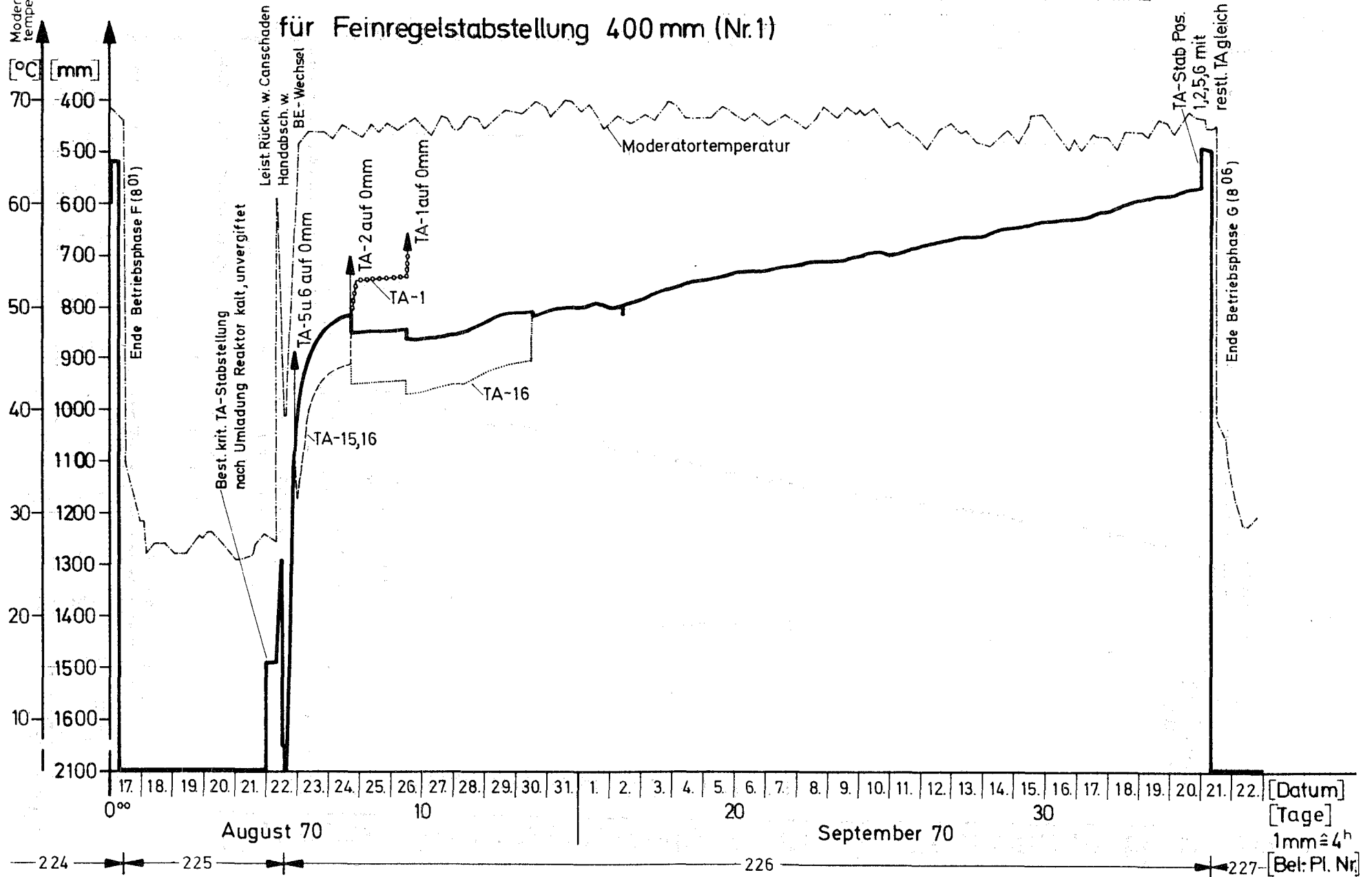
Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase E (23.-28. Wo. 70)



Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase F (29.-33. Wo. 70)

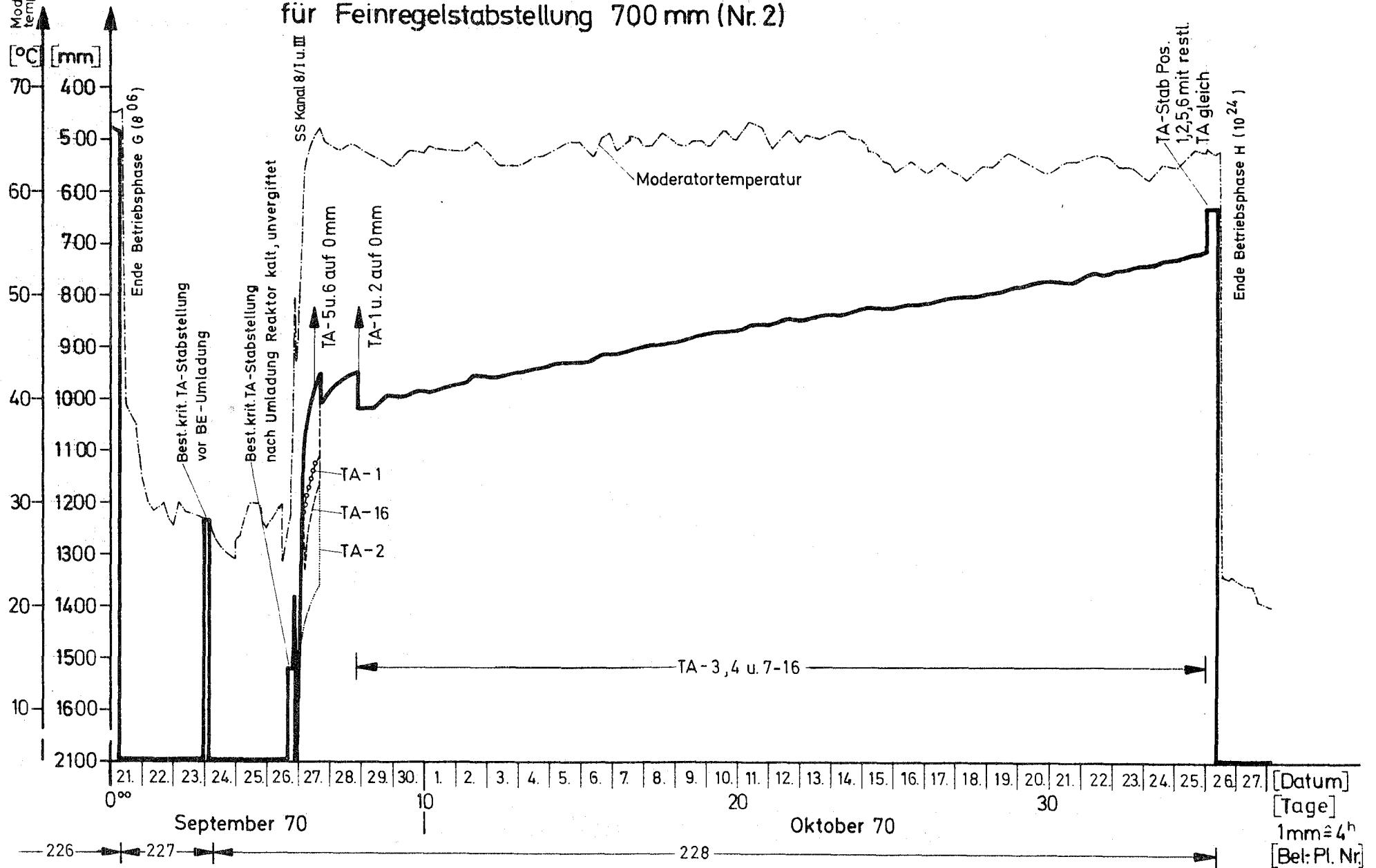


Kritische Trimmstababstellung in Betriebsphase G (34.-38. Wo. 70)

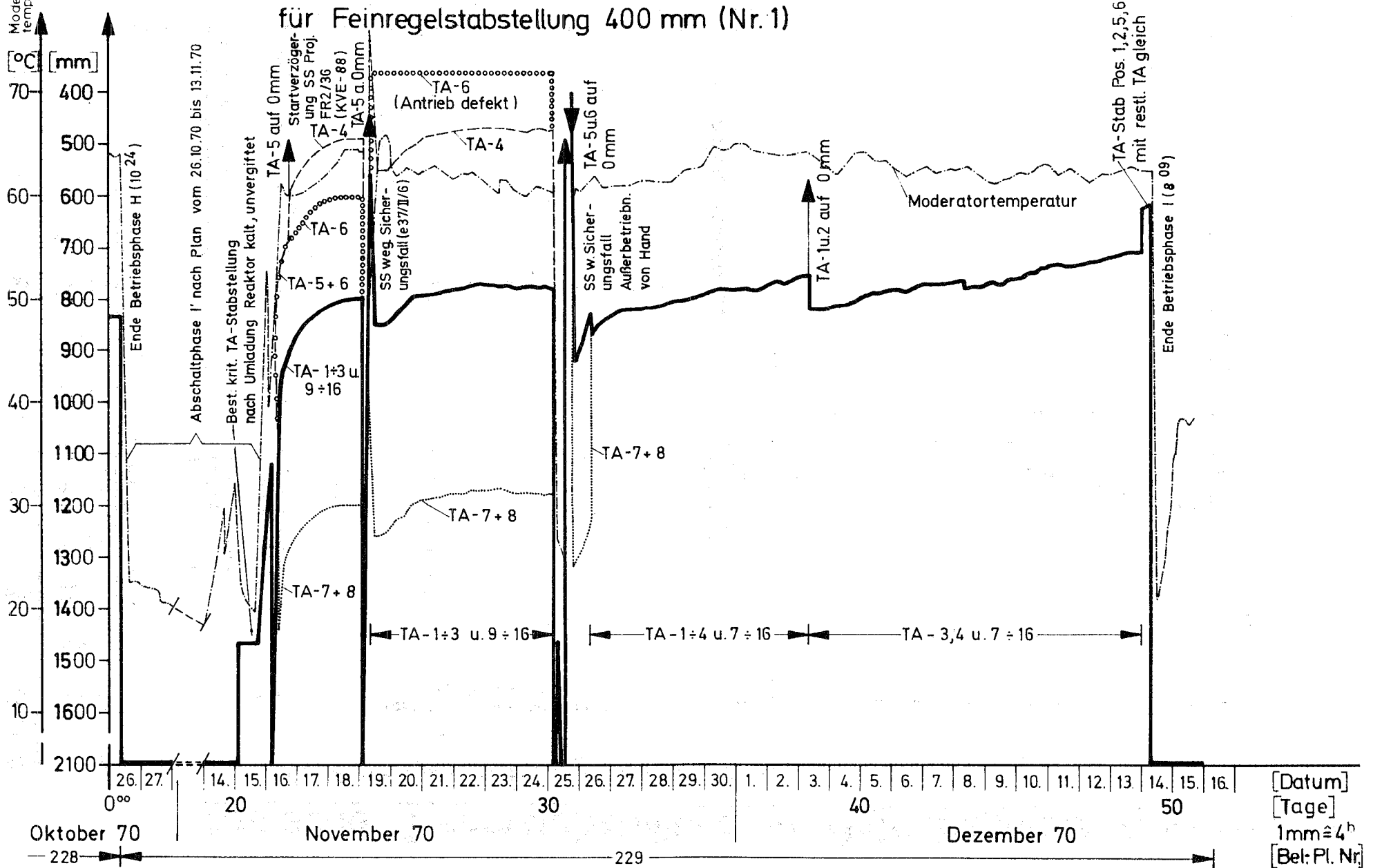


Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase H (39.-43.Wo. 70)

für Feinregelstabstellung 700 mm (Nr.2)

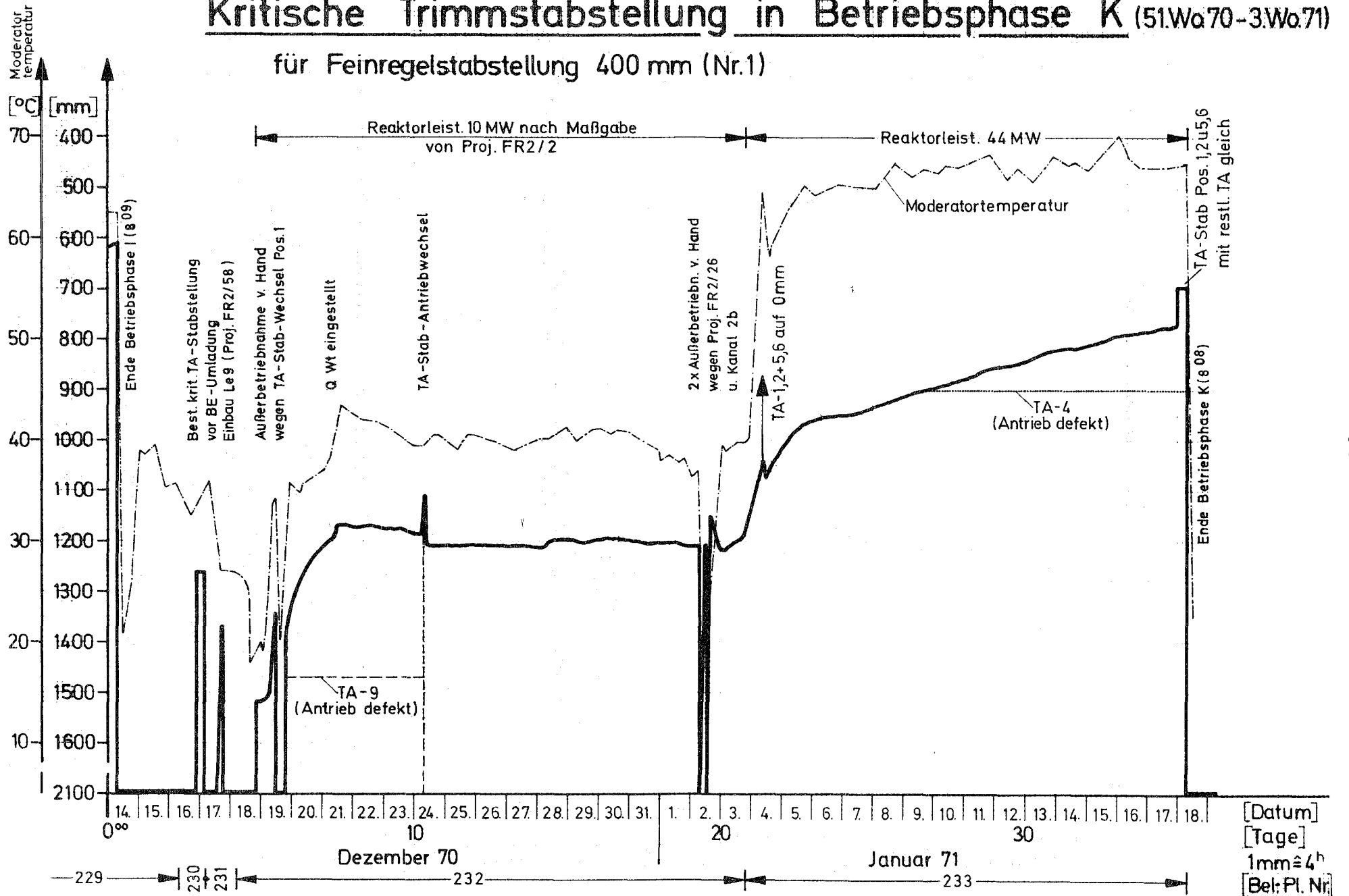


Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase I (44. - 50. Wo. 70)



Kritische Trimmstabstellung in Betriebsphase K (51.Wa70-3.Wa71)

für Feinregelstabstellung 400 mm (Nr.1)

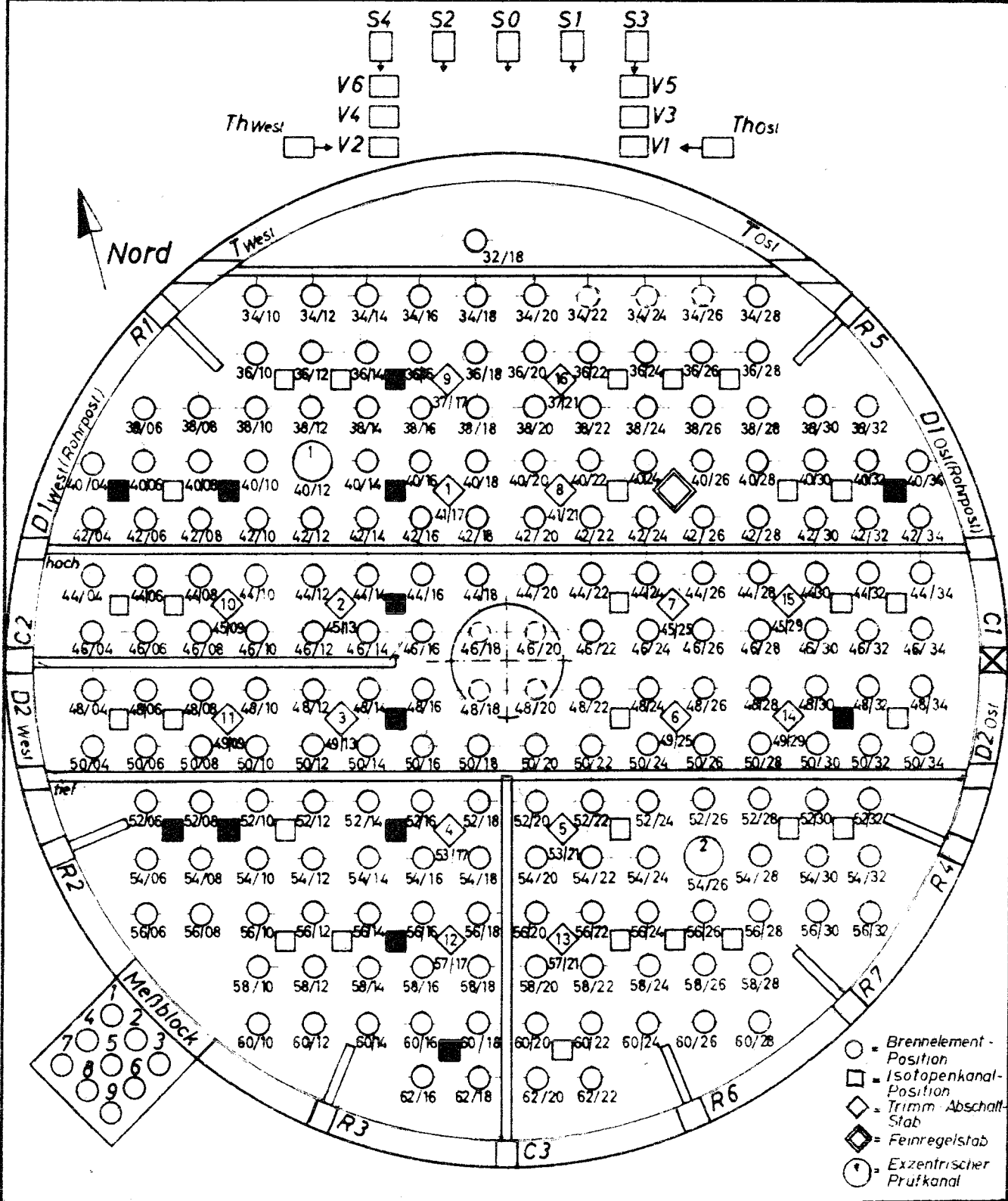


Positionskarte FR2 - Core

Beladung Nr.: Iso 10

Datum: ab 26.08.69

Standardbeladung Nr. 10 mit 13 Isotopentauchrohren einschließlich leeren Kapselträgerrohren.



9. b

