



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Zentralabteilung Brennelement- und Bestrahlungstechnologie

Ergebnisse der Neutronen-Messungen in den Spektralpositionen der Jülicher FKS-Stahlbestrahlungskapseln

von

Wolfdietrich Schneider

in Zusammenarbeit mit

Günter Borchardt

Herbert Küpper

Günther Pott

Gerd Segelhorst

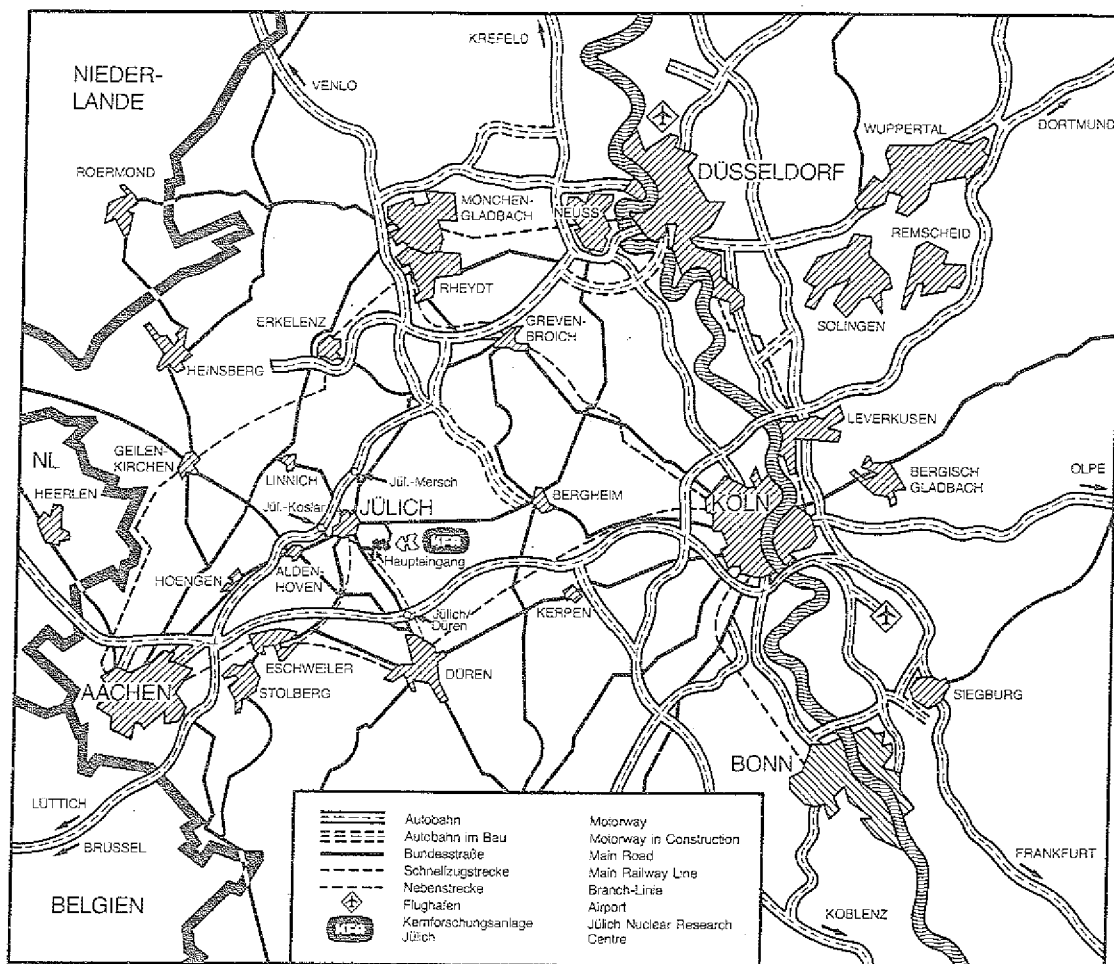
Ludwig Thöne

Lothar Weise

Jül-2087
Oktober 1986
ISSN 0366-0885

6288

[illegible]



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 2087
 Zentralabteilung Brennelement- und Bestrahlungstechnologie Jül-2087

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Ergebnisse der Neutronen-Messungen in den Spektralpositionen der Jülicher FKS-Stahlbestrahlungskapseln

von

Wolfdietrich Schneider

in Zusammenarbeit mit

Günter Borchardt

Herbert Küpper*

Günther Pott**

Gerd Segelhorst

Ludwig Thöne

Lothar Weise

* Zentralabteilung Forschungsreaktoren

** Heiße Zellen

1. $\frac{1}{x^2} = x^{-2}$
 $\frac{d}{dx} x^{-2} = -2x^{-3} = -\frac{2}{x^3}$

$\frac{d}{dx} x^2 = 2x$
 $\frac{d}{dx} x^3 = 3x^2$
 $\frac{d}{dx} x^4 = 4x^3$
 $\frac{d}{dx} x^5 = 5x^4$

$\frac{d}{dx} x^6 = 6x^5$
 $\frac{d}{dx} x^7 = 7x^6$
 $\frac{d}{dx} x^8 = 8x^7$
 $\frac{d}{dx} x^9 = 9x^8$

$\frac{d}{dx} x^{10} = 10x^9$

ZUSAMMENFASSUNG

Berichtet wird über Planung und Ergebnisse der Neutronenmonitierung in den Kapseln der Jülicher Stahlbestrahlungen zum Forschungsvorhaben Komponentensicherheit (FKS). Zusammenstellung der Ergebnisse und deren Diskussion erfolgt speziell für die Spektralpositionen (zur Charakterisierung des Neutronenspektrums) in jedem der eingesetzten Bestrahlungskapsel-Typen. Die Ergebnisse werden aufgeführt für die Reaktionsraten der verwendeten (Aktivierungs- oder Spaltungs-)Neutronenmeßreaktionen, für die daraus hergeleiteten Neutronen-Flußdichten und -Fluenzen bezogen auf ermittelte oder zumindest plausible Neutronenspektren - und schließlich für die daraus errechnete Strahlenschädigung (oder Exposition) des Bestrahlungsgutes, ausgedrückt als atomare Verlagerungsanzahl (dpa) und deren Prozentanteile in Abschnitten des Neutronenspektrums.

1. The first part of the document is a letter from the President of the United States to the Congress, dated January 3, 1862. It is a very important document, as it contains the President's message to the Congress, and is one of the most important documents in the history of the United States. It is a very long letter, and it contains a great deal of information about the state of the Union at that time. It is a very important document, and it is one of the most important documents in the history of the United States.

INHALT

	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	iii
1. <u>Einleitung</u>	1
2. <u>Beschreibung der Neutronen-Detektor-Bestrahlungen und -Messungen</u>	3
2.1 Planung der Neutronen-Monitierung	3
2.2 Das Meßverfahren	6
3. <u>Flußdichten und Fluenzen schneller Neutronen</u>	8
3.1. Auswertung der spaltspektrumäquivalenten Meßgrößen	8
3.2. Ermittlung des Neutronenspektrums	9
3.3 Die Meßgrößen bezogen auf das ermittelte Neutronenspektrum	9
3.4 Ergebnis-Zusammenstellung und Diskussion	10
4. <u>Flußdichten und Fluenzen langsamer Neutronen</u>	13
4.1. Auswertung	13
4.2. Zusammenstellung der Ergebnisse	15
4.3. Diskussion	17
5. <u>Experimentseitige Korrekturen</u>	19
5.1. Zur Behandlung der Korrekturen und Unsicherheiten für die erhaltenen Neutronenflußdichten	19
5.2. Untersuchung des Einflusses zeitlich veränderlicher Flußdichten während der Bestrahlung	21
5.2.1. Mögliche Korrekturen bei festem Bestrahlungsort	21
5.2.2. Korrekturen und Unsicherheiten bei stattgefundenem Bestrahlungsortwechsel (wegen Kapseldrehung)	28
5.3. Prüfung der Variation des Spektrums schneller Neutronen	33
5.3.1. Anmerkungen zum Prüfverfahren	33
5.3.2. Anwendung des Verfahrens und Diskussion der Ergebnisse	37
6. <u>dpa-Werte und ihre spektralen Anteile</u>	43
6.1. Die Neutronenexposition der Stahlproben ausgedrückt in dpa	43
6.2. dpa-Werte in der Referenzposition nach spektralen Anteilen	44
6.3. Diskussion	45
Referenzen	47
Abbildungen	
Tabellen zu den FKS-Messungen jeweils am Ende der Kapitel 3 bis 6	

4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It highlights the potential applications of the research in various fields and the need for further investigation. The authors conclude that the study has provided valuable insights into the phenomenon being investigated.

5. The fifth part of the document contains the conclusions and recommendations. It summarizes the key findings of the study and provides suggestions for future research. The authors recommend that further studies be conducted to explore the underlying mechanisms of the observed effects.

6. The sixth part of the document includes the references and bibliography. It lists the sources of information used in the study, including books, articles, and other relevant literature. The references are formatted according to the standard academic style.

7. The seventh part of the document contains the appendix. It includes additional information that supports the main text, such as raw data, detailed calculations, and supplementary figures. The appendix is provided for the reader's reference and to ensure the reproducibility of the study.

ABBILDUNGEN

- Abb. Kapsel-Anordnung zur FKS-Bestrahlung im FRJ-1, Phase I
- Abb. 2. Kapsel-Anordnung zur FKS-Bestrahlung im FRJ-1, Phase II
- Abb. 3. Sonden-Belegungsplan für die FKS-Prototyp-Bestrahlung in
CK100-Kapsel E 51
- Abb. 4. Sonden-Belegungsplan für die FKS-CK120-Kapseln E 53, E 54
- Abb. 5. Sonden-Belegungsplan für die FKS-CK60-Kapseln E 55, E 56
- Abb. 6. Stringer-Anordnung für das FKS-Dosimetrie-Experiment (E 57)
- Abb. 7. FRJ-1-Gitterplatzbelegung vor Absorberschild-Umbau
(d.h. bis 20.10.1979)
- Abb. 8. FRJ-1-Gitterplatzbelegung nach Absorberschild-Umbau
(d.h. ab 13.8.1980)
- Abb. 9. Sonden-Stringer und -Kapseln für FKS-Standard-Bestrahlungen
- Abb. 10. Stringer für die FKS-Prototyp-Bestrahlung (E 51)
- Abb. 11. Stringer- und Sonden-Belegungsplan für die FKS-Dosimetrie-
Experiment-Kapsel (E 57)
- Abb. 12. Spektrale Neutronenflußdichte bestimmt in FKS-Dosimetrie-
Experiment (E 57), Position 10
- Abb. 13. Schwächung der Flußdichte schneller Neutronen in Stahlblock
- Abb. 14. Benachbarte statistische Hypothesen mit Rest-Risiken abhän-
gig vom Freiheitsgrad

1. EINLEITUNG

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der Neutronenmessungen und deren Diskussion von den Jülicher FKS-Stahlbestrahlungskapseln zusammen, insbesondere für die Meßpositionen mit Neutronen-Detektorsätzen, die zur Charakterisierung des Neutronenspektrums eingesetzt wurden.

Über Ziel und Aufgabenstellung des "Forschungsvorhabens Komponentensicherheit (FKS)" findet man Unterrichtung in /1, 2/. Über das Vorgehen bei der Stahlprobenbestrahlung in der KFA Jülich als deren Beteiligung am FKS wird in /3/ berichtet. Die Planung der Messungen (oder genauer: der Bestrahlungsmonitierung) der Neutronen zu den Jülicher FKS-Stahlbestrahlungen wird in /4/ beschrieben, die Vorbereitung eines besonderen Dosimetrie-Testexperiments (zum Studium möglicher Schwankungen des Neutronenspektrums in bestrahlten großen Stahlproben) in /5/. Die Ergebnisse des letzteren Experiments und deren Diskussion werden in /6/ behandelt, mit Angabe der dpa-Anzahl und -Schwankung zur Kennzeichnung der vom Bestrahlungsgut empfangenen schädigenden Dosis oder Exposition.

Im folgenden wird zunächst - abgesehen von kurzen Hinweisen auf das gesamte Vorgehen bei den Jülicher FKS-Bestrahlungen - eine detaillierte Beschreibung derjenigen Neutronendetektor-Bestrahlungen und -Messungen gegeben, die in den sogenannten Spektralpositionen zur Charakterisierung des Neutronenspektrums eingesetzt werden. Als Neutronendetektoren wurden ausschließlich Aktivierungsdetektoren verwendet, zur Spektrumscharakterisierung Sätze aus verschiedenen Aktivierungs- oder auch Spaltungs-Detektoren. Nach Beschreibung der Detektor-Aktivitätsmessung (in Kap. 2) folgt die Angabe der Neutronen-Flußdichte- und -Fluenz-Ermittlung und eine Zusammenstellung von für die Spektralpositionen erhaltenen Ergebnisse: in Kap. 3 für schnelle, in Kap. 4 für langsame Neutronen. Neben den - mit den genannten Meßergebnissen aufgeführten - detektorseitigen treten Unsicherheiten im Zusammenhang mit experimentseitigen Korrekturen auf; in Kap. 5 wird speziell auf zeit- und neutronenspektrumsbedingte Korrekturen eingegangen. Als ein seit einigen Jahren anstelle der Fluenz eingebürgertes Maß für die Neutronenexposition von Bestrahlungsgut insbesondere in Leichtwasserreaktoren wird die dpa ("displacement per atom")-Anzahl eingeführt und ihre Darstellung bezogen auf die oben genannten Meßergebnisse angegeben (Kap. 6); erhaltene dpa-Werte und

ihre Prozentanteile im vorliegenden Neutronenspektrum werden für die Referenzposition unserer FKS-Bestrahlungen zusammengestellt und diskutiert.

Die Neutronenmonitierung stellt innerhalb eines Bestrahlungsexperiments - wie hier, für die Jülicher FKS-Bestrahlungen - nur eine beschränkte Teilaufgabe dar. Aber auch sie wäre nicht zu lösen gewesen ohne die Zusammenarbeit mit weiteren Kollegen aus den KFA-Zentralabteilungen Allgemeine Technologie (ZAT), Brennelemente und Bestrahlungstechnologie (ZBB) und Forschungsreaktoren (ZFR). Ihnen allen sei an dieser Stelle für ihren Rat und ihre Hilfe herzlich gedankt.

2. BESCHREIBUNG DER NEUTRONEN-DETEKTOR-BESTRAHLUNGEN UND -MESSUNGEN

2.1. Planung der Neutronen-Monitierung

Lage und Anbringungen der FKS-Stahlbestrahlungskapseln auf der Gitterplatte des FRJ-1 sind

- für die Prototyp-Bestrahlung in "Phase I" (bis 20.10.1979); Näheres s.u.) in Abb. 1,
- für die restliche Prototyp- und alle weiteren Bestrahlungen in "Phase II" (ab 13.8.1980) in Abb. 2

dargestellt. Zu jeder bestrahlten Kapsel liegen (vorbereitende oder auch abschließende) Bestrahlungsberichte vor, von denen sich die Berichte /7-15/ auf diejenigen Kapseln beziehen, die in besonderen Positionen mit Detektorsätzen zur Ermittlung der Neutronenfluenz mit spektralen Aussagen ausgerüstet wurden und auf die in diesem Bericht weiterhin allein eingegangen wird. Zweck, Größe und Lage dieser Kapseln sind in Tab. I (Kap. 3) zusammengestellt. Die Belegung dieser Kapseln mit Rohrstringern (und Sonden darin) sind in Abb. 3 (für E 51), 4 (für E 53 und 54), 5 (für E 55 und 56) und 6 (für E 57) eingezeichnet.

Unsere Überlegungen zur Bestückung der FKS-Kapseln mit Neutronendetektoren (oder: "Sonden") sind in /4/ wiedergegeben. Eingesetzt wurden ausschließlich Detektoren mit Aktivierungs- oder Spaltungs-Reaktionen in Form von Drahtstücken, die in kleinen Käpselchen in Rohrstringern in den Bestrahlungskapseln angebracht waren. Zur spektralen Trennung langsamer Neutronen in zwei Gruppen wurden wie geläufig Filter verwendet (aus Gadolinium, wegen der hohen Bestrahlungstemperatur); zum Verfahren s. weiter Kap. 4. Die Dicke der die Sonden umhüllenden Filter wurde für Kurzzeitbestrahlungen mit 0,1 mm, für unsere Langzeitbestrahlungen mit 0,25 mm als ausreichend gefunden.

Um zu jeder Bestrahlung den repräsentativen Fluenzwert zu liefern, müssen die Meßergebnisse der zugehörigen Detektoren in spektraler, zeitlicher (und erforderlichenfalls in räumlicher) Hinsicht korrigiert werden. Zunächst muß das Neutronenspektrum bekannt sein; dazu wurde das FKS-Dosimetrie-Experiment (E 57) /5/ ausgeführt mit einer möglichst hohen Anzahl geeigneter Neutronen-Detektoren bzw. -Meßreaktionen, die

ein Maximum an Information zur Spektrumsbestimmung liefern sollten. Die demgemäß mit Detektor-"Spektralkpaketen" bestückten Meßpunkte des Dosimetrie-Experiments sollten außer der Spektrumsbestimmung in einer repräsentativen Position (Kap. 3: gewählt wurde die Zentralposition) die Untersuchung der ortsabhängigen Änderung des Spektrums über das Bestrahlungskapselvolumen ermöglichen: in Richtung des Hauptanteils des Neutronenstroms, d.h. von der Coremitte weg, sowie senkrecht dazu in vertikaler Richtung. Mit zeitlichen Schwankungen des Neutronenspektrums während der Bestrahlung ist nicht zu rechnen. Zeitliche Korrekturen sind jedoch deshalb anzubringen, weil sich die Neutronenflußdichte während der Bestrahlung: a) sicher ändert, falls die Bestrahlungskapsel in diesem Zeitraum gedreht wird (zum Zweck dieser Drehung vgl. /16/), b) möglicherweise ändert, falls Schwankungen in den lokalen Reaktorleistungsdichten stattfinden. Als Grundlage für die zeitliche Korrektur sind in den Tabellen II-1 bis 5 (Kap. 3) Angaben zur Bestrahlungsgeschichte aufgeführt. Spektrale Korrekturen für E 57 werden in Kap. 3 und /6/, spektrale und zeitliche Korrekturen zu den übrigen Bestrahlungen in Kap. 5 behandelt.

Außer im Dosimetrie-Experiment (E 57) wurde auch in der Prototyp-Bestrahlung (E 51) eine große Anzahl Aktivierungssonden eingesetzt. Im Hinblick auf ihre Neutronenmonitierung unterscheiden sich diese beiden Bestrahlungen wie folgt: Das Dosimetrie-Experiment hatte in einer Kurzzeitbestrahlung eines mit genügend weiten Anbohrungen versehenen Stahlblocks in einer FKS-CK-100-Kapsel der Anbringung einer Anzahl von räumlich verteilten Spektralkpaketen - und damit der Ermittlung spektraler Korrekturen - zu dienen, vervollständigt durch Fe-54(n,p)-Detektoren für Flußdichteverteilungsmessungen.

Der Prototyp enthielt in einer Kapsel der für das FKS vorgesehenen Art (Nicht-Original-FKS-)Druckbehälter-Stahlproben, die wie der sie umschließende Rahmen an einigen Stellen mit schmalen Bohrungen zur Aufnahme von Neutronensonden versehen werden konnten. Diese Anordnung wurde einer (den Original-FKS-Bestrahlungen vergleichbaren) Langzeitbestrahlung ausgesetzt, neutronenmeßtechnisch zum Zweck einer möglichst umfassenden räumlichen Ermittlung der relativen Flußverdichteverteilung und damit der gemittelten Fluenz über das Bestrahlungsgut. Der Prototyp wurde jedoch - als einzige FKS-Bestrahlungsanordnung in Jülich - in einer

vorläufigen Reaktorkonfiguration bestrahlt (nämlich gemäß Abb. 7 bzw. "Phase I" in Abb. 1): v o r der Kapseldrehung mit B l e i - , d a n a c h mit S t a h l - Absorberschild. Infolgedessen konnte für das Spektralpaket im Prototyp nicht ohne weiteres dasselbe Spektrum erwartet werden wie vom Dosimetrie-Experiment, welches letzteres - wie alle weiteren FKS-Stahlkapseln - in der späteren Konfiguration (d.h. entsprechend Abb. 8 bzw. "Phase II" in Abb. 1) bestrahlt worden ist. Die notwendigerweise schmale Sondenstringer-Bauweise für den Prototyp (und alle weiteren FKS-Stahlkapseln) ermöglichte eine weniger kompakte Sonden-Lokalisierung und damit eine - auch abgesehen von der geringeren Detektorzahl - weniger genaue Spektrumsaussage als mit dem Dosimetrie-Experiment.

Die Kapseln der weiteren (sog. "Standard"-)Experimente enthalten das originale FKS-Bestrahlungsgut. In ihnen wurde eine kleinere Anzahl von Sonden eingesetzt, ohne Anbohrungen von Bestrahlungsgut oder Rahmen, zur Fluenzermittlung mit Überprüfung des Flußdichte- und Spektrums-Verlaufs in wenigen Punkten, insbesondere in der Symmetrieebene zum Reaktorkern hin und in der Kerbgegend der Rißproben.

Die in jedem Meßpunkt (einzeln oder als Paket) anzubringenden Sonden wurden für sich gekapselt: für das Dosimetrie-Experiment wie auch für den Prototyp in Aluminium; für die Standard-Bestrahlungen in Aluminiumkapseln oder Keramikröhrchen, die in Stahl-Stringer eingelassen waren (Abb. 9). Die Sondenstringer für den Prototyp (Abb. 10) bestanden aus Aluminium, die für das Dosimetrie-Experiment (Abb. 11) aus Stahl.

Die Meßergebnisse der räumlichen Neutronenmonitierung liegen für alle abgeschlossenen FKS-Bestrahlungen vor /17/. Als Meßgröße wurde dabei die spaltspektrum-äquivalente Fluenz Φ_{Fe} ($E > 1 \text{ MeV}$) entsprechend Gleichung (3.4) für die Meßreaktion $\text{Fe-54}(n,p)$ angegeben; diese Fluenz ist - wie näherungsweise in Abschnitt 3.3 geschehen - für das wahre Neutronspektrum zu korrigieren. Zum Dosimetrie-Experiment sind die räumlichen Ergebnisse hier (mit dessen spektralen Ergebnissen) zusammengestellt.

2.2. Das Meßverfahren

Die verwendeten Neutronendetektoren sind in Tab. III-1 bis 4 (Kap. 3) zusammengestellt. Als fundamentale Meßgröße - sowohl für die Neutronenspektrumsbestimmung als auch zur Herleitung der Neutronen-Flußdichten und -Fluenzen - wird zuerst die Reaktionsrate R_i der Detektor-Meßreaktionen i ermittelt. Dazu werden für die bei uns verwendeten Reaktionstypen folgende gebräuchliche Definitionen zugrundegelegt:

- Für Aktivierungsreaktionen:

$$R_i = A_{i0} \cdot h_i / N_{i0} \quad (2.1a)$$

mit

A_{i0} der Meßaktivität von Reaktion i zum Bestrahlungsende,

h_i dem Bestrahlungsgeschichte-Korrekturfaktor analog wie z.B. in /18, 19/, abhängig von der Zerfallskonstanten des Meßnuklids, der Bestrahlungszeit und ihren Unterbrechungen und der angenähert reaktorleistungsproportional angenommenen zeitabhängigen Relativ-Flußdichte am Meßort,

N_{i0} der Atomanzahl des Ausgangsnuklids der Reaktion i im Detektor zu Bestrahlungsbeginn. Dazu müssen das Detektorgewicht, die Reinheit des Ausgangselements und der molare Anteil bzw. die Isotopenhäufigkeit des Ausgangsisotops im Detektor bekannt sein.

- Für Spaltreaktionen:

$$R_i = A_{i0} \cdot h_p / N_{i0} y_{ip} \quad (2.1b)$$

mit - außer den analogen Definitionen in Gleichung (2.1a) -:

p als Index für das betrachtete Spaltprodukt,

y_{ip} der Spaltausbeute für die Erzeugung des Spaltprodukt-nuklids p bei Reaktion i .

Die nuklearen Daten zu diesen Auswertungen wurden in der Regel /20/, in Sonderfällen /21-24/ entnommen.

Da die Meßnuklide ausschließlich Gammastrahler sind, werden die Meßaktivitäten mit Hilfe von Ge-Gammaspektrometern mit kalibrierten Zähl- ausbeuten in geeigneten Meßabständen bestimmt. Für eine hinreichend zuverlässige Bestimmung werden jeweils mindestens zwei Gammastrahlen-

Gesamtabsorptionslinien gemessen, entweder gleichzeitig (wenn mehrere Linien verfügbar sind) oder mittels Wiederholung nach einem Zeitraum, der lang genug ist, um das Meßnuklid nach seiner Zerfallskonstanten identifizieren zu können. Die Größen A und h in Gleichung (2.1) wurden mittels Rechnerprogramm gemäß der Erfassung und Vorabkorrektur der Vielkanal-Analysatordaten ermittelt /25/; die in die Korrektur h eingehende Reaktor-Bestrahlungsgeschichte (Tab. II-lff) wurde der FRJ-1-Betriebs-Dokumentation bei KFA-ZFR entnommen. Zu einzelnen Meßaktivitäten anzubringende Korrekturen für Abbrand des Meßnuklids oder Störaktivitäten, die innerhalb der Meßlinien auftreten, sind in den Tab. III-lff mitaufgeführt. Weitere Korrekturen beziehen sich auf die Gamma-Absorption, die statistische Wichtung und gegebenenfalls auf meßtechnische Abnormitäten (z.B. in Linienform, Meßgeometrie oder den täglichen Kalibrierwerten).

Unsicherheitsangaben wurden in diesem Bericht (wie in /6/) aus Beiträgen von den Messungen und von den Korrekturen abgeschätzt. Bei Fehlerfortpflanzung wurden sie nach dem einfachen Varianzmodell behandelt, also ohne Untersuchung oder Berücksichtigung möglicherweise auftretender Korrelationen. Für Unsicherheitsbeiträge von Meßwerten wurde ein Signifikanztest angewendet (mit befriedigendem Ergebnis): als Ausreißer wurden dabei solche Ergebnisse verworfen, die jenseits des +99%-Vertrauensbereichs liegen. Für Korrekturen suchten wir möglichst weitgehend passende Unsicherheitsbeträge aus der Literatur oder von zusätzlichen Prüfmessungen zu nehmen. Waren solche Angaben nicht erhältlich, wurden Unsicherheitsbeträge in plausibler Weise geschätzt. Für systematische Fehler, die nicht korrigiert, sondern nur abgeschätzt werden können, wurde das in /26/ vorgeschlagene Verfahren benutzt.

3. FLUSSDICHTEN UND FLUENZEN SCHNELLER NEUTRONEN

3.1. Auswertung der spaltspektrumsäquivalenten Meßgrößen

Ohne nähere Kenntnisse des Neutronenspektrums wird die Flußdichte schneller Neutronen in Reaktoren gewöhnlich spaltspektrumäquivalent angegeben; d wäre korrekt, wenn tatsächlich ein Spaltneutronenspektrum vorläge. Man bezieht dazu die experimentell (wie nach Abschnitt 2.2) erhaltene Reaktionsrate R_i auf den Wirkungsquerschnitt σ_i^f (für die Meßreaktion i , gemittelt über das Spaltspektrum f). Wichtig ist dabei, daß die benutzten Querschnitte σ_i^f einer konsistenten Meßreihe in ein und demselben möglichst der Bestrahlungssituation angepaßten Referenzfeld entstammen; wir benutzen die Meßergebnisse von A. FABRY u.a. in einem U-235-Referenzfeld, zusammengestellt in /20/, Teil I, Tab. 4. Mit solchen Querschnitten σ_i^f würde man jedoch als wenig sinnvolle Meßgröße die spaltspektrumäquivalente Flußdichte oberhalb Energie Null, d.h. für das gesamte Spaltspektrum, erhalten. Man pflegt deshalb von der Verteilung der spektralen Spaltneutronenflußdichte $\phi_E^f(E)$ den Anteil mit derjenigen Energiegrenze E_u zu subtrahieren, oberhalb der man die "schnellen Neutronen" angeben will. Konventionsgemäß wählt man $E_u = 1$ MeV. Diese Subtraktion führt zu dem bekannten Wert:

$$\delta^f(E > 1 \text{ MeV}) \equiv 1 - \int_{E_u=1 \text{ MeV}}^{\infty} \phi_E^f(E) dE / \int_0^{\infty} \phi_E^f(E) dE \approx \frac{1}{1,45} \quad (3.1)$$

Rein formal pflegt man noch Wirkungsquerschnitte oberhalb 1 MeV einzuführen:

$$\sigma_i^f(E > 1 \text{ MeV}) \equiv \sigma_i^f / \delta^f(E > 1 \text{ MeV}) \quad (3.2)$$

Damit ergibt sich für die spaltspektrumäquivalente Neutronen-Flußdichte oberhalb 1 MeV, gemessen mit der Meßreaktion i im Punkt $\vec{r}$ zur Zeit t :

$${}_f\phi_i(E > 1 \text{ MeV}, \vec{r}, t) \equiv R_i(\vec{r}, t) / \sigma_i^f(E > 1 \text{ MeV}) \quad (3.3)$$

und für die entsprechende Fluenz, mit der (im Fall von Unterbrechungen: kumulierten) Dauer der betr. Bestrahlung t_I :

$$\phi_i(E > 1 \text{ MeV}, \vec{r}, t) \equiv t_I \cdot \phi_i(E > 1 \text{ MeV}, \vec{r}, 0 < t < t_I). \quad (3.4)$$

3.2. Ermittlung des Neutronenspektrums

Das Neutronenspektrum wurde mittels Entfaltung nach dem in /27/ beschriebenen Verfahren für das Spektralsondenpaket in Position Nr. 10 (d.h. in der zentralen Position) der Dosimetrie-Experiment-Kapsel (Abb. 6, 11) bestimmt. Die zur Entfaltung verwendeten Meßreaktionen sind - mit den gemessenen und berechneten Reaktionsraten ("Aktivierungen") und den Differenzen der letzteren sowie mit den verwendeten Selbstabschirmungs-Korrekturfaktoren - in Tab. IV (Kap. 3) zusammengestellt.

Für die Eingangsnäherung wurde eine eindimensionale Rechnung des gesamten Neutronenspektrums in 171 Energiegruppen zugrundegelegt /28/ aufgrund unserer experimentellen Angaben.

Das entfaltete Spektrum ist in Abb. 12 dargestellt. Berechnete Werte für die Neutronenflußdichte oberhalb der Energie E werden in Tab. V (Kap. 3) wiedergegeben.

3.3. Die Meßgrößen bezogen auf das ermittelte Neutronenspektrum

Ist nun das Neutronenspektrum in einer Position $\vec{r}_c$ bekannt - und damit auch die "korrigierte Neutronenflußdichte oberhalb 1 MeV" $\phi_i(E > 1 \text{ MeV})$ (wie in unserem Fall nach Abschnitt 3.2 in der Zentralposition des Dosimetrie-Experiments), dann lassen sich analog zu den σ_i^f rein formal über das korrigierte Spektrum in $\vec{r}_c$ gemittelte Wirkungsquerschnitte σ_i^c für die benutzten Meßreaktionen i angeben:

$$\sigma_i^c(E > 1 \text{ MeV}, \vec{r}_c) \equiv R_i(\vec{r}_c) / \phi_i(E > 1 \text{ MeV}, \vec{r}_c). \quad (3.5)$$

Wir wollen hier (im Unterschied zu /6/ und Kap. 5) zunächst annehmen, daß das Neutronenspektrum und damit die entsprechend Gleichung (3.5) korrigierten gemittelten Wirkungsquerschnitte für alle hier betrachteten Meßpositionen $\vec{r}$ gleich ist bzw. sind:

$$\sigma_i^c(\vec{r}) \approx \sigma_i^c(\vec{r}_c) \quad \text{für alle Reaktionen } i. \quad (3.6)$$

Dann können wir die korrigierten Neutronenflußdichten in allen Punkten $\vec{r}$ für jede Reaktion i näherungsweise wie folgt angeben:

$${}_c\phi_i(E > 1\text{MeV}, \vec{r}) \approx R_i(\vec{r}) / \sigma_i^c(E > 1\text{MeV}, \vec{r}_c) \quad (3.7a)$$

und entsprechend die korrigierten Fluenzen:

$${}_c\phi_i(E > 1\text{MeV}, \vec{r}, t_I) \approx t_I \cdot {}_c\phi_i(E > 1\text{MeV}, \vec{r}). \quad (3.7b)$$

Tabelle VI (Kap. 3) enthält korrigierte Wirkungsquerschnitte ${}_c\sigma_i(E > 1\text{MeV})$, gemittelt über das gemäß Abschnitt 3.2 bestimmte Neutronenspektrum, für die benutzten Meßreaktionen für schnelle Neutronen entsprechend den Gleichungen (3.5,6) unter Benutzung der "Berechneten Aktivierungen" aus Tab. IV (Kap. 3) für die $R_i(\vec{r}_c)$. Für die bei der Entfaltung nicht verwendete Reaktion Cu-63(n,α) Co-60 wurde σ_i^c intrapoliert, s. Tab. VIa (Kap. 3). Die Tabellen VI und VIa enthalten ferner gemäß Gleichung (3.2) über das Spaltspektrum gemittelte Wirkungsquerschnitte $\sigma_i^f(E > 1\text{MeV})$ nach /20/.

3.4 Ergebnis-Zusammenstellung und Diskussion

In den Tabellen VII (Kap. 3) sind für die Spektralpositionen in den FKS-Bestrahlungskapseln folgende Daten enthalten:

- Detektor-Nr. als Positionsbezeichnung,
- Meßreaktion,
- Reaktionsrate nach Messung und deren $\pm(1\sigma)$ -Unsicherheiten,
- Spaltspektrumäquivalente Flußdichte entsprechend Gleichung (3.3); die dazu angegebene Unsicherheit berücksichtigt nur die Beiträge, die zu erwarten sind, falls die Flußdichte zeitlich konstant und das Spektrum tatsächlich ein Spaltspektrum wäre,
- die nach den Gleichungen (3.7a,b) - d.h. gemäß Abschnitt 3.2 - korrigierten Flußdichten ${}_c\phi_i$ und Fluenzen ${}_c\phi_i$. Die Unsicherheiten für diese Größen sind in der Regel höher zu erwarten als die zur spaltspektrumäquivalenten Flußdichte angegebenen.

Für die in Tab. IV (Kap. 3) als Reaktionsraten benutzten "Gemessenen Aktivierungen" erhält man die in Tab. VII-1, für die "Berechneten Aktivierungen" die in Tab. VII-2 zusammengestellten Werte. Als maximale relative Abweichung unter den korrigierten Flußdichte-Werten "Gemäß Gleichung (7)" - d.i. Gl. (3.7) - ergibt sich

- mit den "Gemessenen Aktivierungen" in Tab. VII-1:
erwartungsgemäß rund 13 %, entsprechend den Differenzen DELTA I in Tab. IV;
- mit den "Berechneten Aktivierungen" in Tab. VII-2: von Rundungsfehlern abgesehen definitionsgemäß nichts. Für die Langzeitbestrahlungen mit Kapseldrehung - vgl. Tab. II (Kap. 3) - sind die in Tab. VII angegebenen Flußdichten natürlich keine lokalen, sondern über die Drehung gemittelte Werte; in jedem Fall sind die Werte auf die Position in der Kapsel bezogen, die durch die "Detektor-Nr." in Tab. VII gekennzeichnet ist.

Allgemein zeigen sich in den Tab. VII die festgestellten Abweichungen der korrigierten von den spaltspektrumäquivalenten Flußdichten für die einzelnen Reaktionen als beträchtlich, jedoch nicht unerwartet; so war für die Ni-Reaktion nach Entfaltung vom Vorversuch eine um 85 % höhere korrigierte Flußdichte vorhergesagt worden /16, 29/, während hier 134 % Erhöhung erhalten wurde. Bei diesem Unterschied in der Korrektur ist zu berücksichtigen, daß der Absorberschild neuerdings (vgl. Kap. 2) aus Stahl besteht, beim Vorversuch damals jedoch aus Blei bestand; außerdem ist die hier benutzte Eingangsnäherung nach /28/ den experimentellen Bedingungen besser angepaßt als es die damalige war. Grundsätzlich ist mit einer Korrektur des Spektrums in der Größe wie der erhaltenen auch nach internationalen Erwartungen /30, 31/ zu rechnen.

TABELLEN

- Tab. I. FKS-Stahlbestrahlungskapseln mit Neutronen-Spektral-Fluenz-Monitierung
- Tab. II-1 bis 5. Bestrahlungsgeschichte der FKS-Stahlbestrahlungskapseln E 51, E 53 bis E 57
- Tab. III-1 bis 4. Beschreibung der eingesetzten Neutronendetektoren mit den zur Auswertung angewendeten Korrekturen für die FKS-Bestrahlungen E 51, E 53 bis E 57
- Tab. IV. Zur Neutronenspektrumsbestimmung (in E 57, Position 10) verwendete Meßreaktionen, Reaktionsraten und Selbstabschirmungskoeffizienten
- Tab. V. Neutronen-Flußdichte oberhalb Energie E (Ergebnis der Bestimmung in E 57, Pos. 10)
- Tab. VI. Korrigierte Wirkungsquerschnitte gemittelt über das gemäß Abschnitt 3.2 bestimmte Neutronenspektrum (in E 57, Pos. 10)
- Tab. VI A. Korrigierter Wirkungsquerschnitt intrapoliert nach Tab. VI.
- Tab. VII-1 bis 16. Flußdichte- und Fluenz-Werte für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung E 57
- Tab. VII-17 bis 21: Flußdichte- und Fluenz-Werte für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung E 51
- Tab. VII-22 bis 23. Flußdichte- und Fluenz-Werte für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung E 54
- Tab. VII-24 bis 25. Flußdichte- und Fluenz-Werte für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung E 55
- Tab. VII-26 bis 27. Flußdichte- und Fluenz-Werte für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung E 56
- Tab. VII-28 bis 29. Flußdichte- und Fluenz-Werte für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung E 53

Kap. 3

Bestrahlung		Kapsel	
Bezeichnung	Zweck	Typ	Positionierung im FRJ-1-Gitter
E 51	Prototyp	CK100	C8 bis G10
E 53	Standard	CK120	I3 bis I7
E 54	Standard	CK120	A3 bis A7
E 55	Standard	CK 60	C8 bis G10
E 56	Standard	CK 60	C8 bis G10
E 57	Dosimetrie- Experiment	CK100	C8 bis G10

T a b e l l e I : FKS-Stahlbestrahlungskapseln mit
Neutronen-Spektral-Fluenz-Monitierung

Kap. 3

Tab: II-1

BEGINN?	2	8	79	18	0	ENDE?	10	8	79	17	0	L?	
BEGINN	10	8	79	17	0	ENDE?	16	8	79	17	0	L?	← ohne L: Unterbrechung
BEGINN	16	8	79	17	0	ENDE?	24	8	79	17	0	L?	
BEGINN	24	8	79	17	0	ENDE?	1	9	79	17	0	L?	
BEGINN	1	9	79	17	0	ENDE?	8	9	79	17	0	L?	
BEGINN	8	9	79	17	0	ENDE?	14	9	79	15	0	L?	
BEGINN	14	9	79	15	0	ENDE?	20	9	79	8	0	L?	
BEGINN	20	9	79	8	0	ENDE?	28	9	79	19	0	L?	
BEGINN	28	9	79	19	0	ENDE?	6	10	79	19	0	L?	
BEGINN	6	10	79	19	0	ENDE?	11	10	79	15	0	L?	
BEGINN	11	10	79	15	0	ENDE?	20	10	79	21	0	L?	← inzwischen Kapsel- drehung(und für E51: Absorberschild- Umbau)
BEGINN	20	10	79	21	0	ENDE?	13	8	80	13	0	L?	
BEGINN	13	8	80	13	0	ENDE?	1	9	80	9	0	L?	
BEGINN	1	9	80	9	0	ENDE?	4	9	80	16	0	L?	
BEGINN	4	9	80	16	0	ENDE?	6	10	80	3	0	L?	
BEGINN	6	10	80	3	0	ENDE?	15	10	80	12	0	L?	
BEGINN	15	10	80	12	0	ENDE?	10	11	80	19	0	L?	
BEGINN	10	11	80	19	0	ENDE?	14	11	80	18	0	L?	
BEGINN	14	11	80	18	0	ENDE?	9	12	80	8	0	L?	
BEGINN	9	12	80	8	0	ENDE?	11	12	80	10	0	L?	
BEGINN	11	12	80	10	0	ENDE?	12	12	80	17	0	L?	
BEGINN	12	12	80	17	0	ENDE?	12	12	80	17	0	L?	

GESAMT - BESTRAHLUNGSZEIT = 1.281940000000E+07 SEC ← kumulierte Dauer

Bestrahlungsgeschichte der
FKS-Stahlbestrahlungskapsel E51 (Prototyp)
(lokale Flußdichten L hier nicht spezifiziert)

Kap. 3

Tab. II-2

BEGINN	ENDE	LEISTUNG	ZEIT	
08.10.81.18.27	14.10.81.15.57	10	589400	
14.10.81.15.57	16.10.81.19.33	0	185760	
16.10.81.19.33	22.10.81.16.09	10	506160	
22.10.81.16.09	28.10.81.18.51	0	528120	
28.10.81.18.51	13.11.81.16.50	10	1375140	
13.11.81.16.50	16.11.81.18.02	0	263520	
16.11.81.18.02	22.11.81.14.50	10	506880	
22.11.81.14.50	25.11.81.16.55	0	266700	
25.11.81.16.55	01.12.81.16.22	10	516420	
01.12.81.16.22	04.12.81.21.10	0	276480	
04.12.81.21.10	12.12.81.16.15	10	673500	
12.12.81.16.15	17.12.81.18.02	0	438420	
17.12.81.18.02	16.01.82.16.00	10	2584600	
16.01.82.16.00	23.01.82.20.35	0	621300	Bestrahlungsgeschichte
23.01.82.20.35	24.01.82.20.35	10	86400	der
24.01.82.20.35	25.01.82.16.26	0	71460	
25.01.82.16.26	19.02.82.16.26	10	2160000	FKS-Standard-Stahlbe-
19.02.82.16.26	25.02.82.16.12	0	517560	strahlungs-Kapsel E53.
25.02.82.16.12	27.03.82.16.17	10	2592300	
27.03.82.16.17	31.03.82.11.36	0	328740	"Leistung" (in MW):
31.03.82.11.36	31.03.82.14.51	10	11700	Nominale Reaktor-
31.03.82.14.51	05.04.82.16.14	0	436980	leistung
05.04.82.16.14	01.05.82.17.40	10	2251560	
01.05.82.17.40	10.05.82.16.53	0	774780	"LM" (in MW):
10.05.82.16.53	05.06.82.16.53	8.9	2246400	Mittlere Leistung wäh-
05.06.82.16.53	16.06.82.20.53	0	964800	rend der Bestrahlung
16.06.82.20.53	12.07.82.12.36	9.3	2216580	
12.07.82.12.36	26.08.82.15.32	0	3898560	LEISTUNG = Ø*:
26.08.82.15.32	24.09.82.11.54	9.3	2492520	In diesem Zeitraum
24.09.82.11.54	30.09.82.17.45	0	539460	Drehung der Kapsel
30.09.82.17.45	09.10.82.14.00	9.8	764100	
09.10.82.14.00	19.10.82.16.41	0	873660	"TB":
19.10.82.16.41	31.10.82.16.41	10	1036800	Kumulierte Bestrah-
31.10.82.16.41	04.11.82.18.43	0 *	352920	lungsdauer
04.11.82.18.43	04.12.82.17.50	10	2588820	
04.12.82.17.50	12.12.82.17.50	0	691200	Lokale Flußdichten
12.12.82.17.50	08.01.83.17.50	10	2332800	hier nicht spezifi-
08.01.83.17.50	13.01.83.21.01	0	443460	ziert
13.01.83.21.01	12.02.83.16.20	10	2575140	
12.02.83.16.20	17.02.83.17.00	0	434400	
17.02.83.17.00	20.03.83.17.00	10	2678400	
20.03.83.17.00	25.03.83.14.25	0	422700	
25.03.83.14.25	24.04.83.16.25	10	2599260	
24.04.83.16.26	29.04.83.14.30	0	425040	
29.04.83.14.30	29.05.83.16.12	10	2598120	
29.05.83.16.12	03.06.83.18.40	0	440880	
03.06.83.18.40	03.07.83.18.46	9	2592360	
03.07.83.18.46	18.08.83.13.19	0	3954780	
18.08.83.13.19	18.09.83.06.00	8.7	2652060	
18.09.83.06.00	22.09.83.15.00	0	378000	
22.09.83.15.00	07.10.83.10.40	8.6	1280400	
07.10.83.10.40	07.10.83.10.40	0	0	

TB = 44427900 SEC

LN = 9.69045

Tab. II-3

BEGINN	8	10	81	18	27	ENDE?	:14	:10	:81	:15	:51	L?
BEGINN	14	10	81	15	51	ENDE?	:16	:10	:81	:19	:33	
BEGINN	16	10	81	19	33	ENDE?	:22	:10	:81	:16	:09	L?
BEGINN	22	10	81	16	9	ENDE?	:28	:10	:81	:18	:51	
BEGINN	28	10	81	18	51	ENDE?	:13	:11	:81	:16	:50	L?
BEGINN	13	11	81	16	50	ENDE?	:16	:11	:81	:18	:02	
BEGINN	16	11	81	18	2	ENDE?	:22	:11	:81	:14	:50	L?
BEGINN	22	11	81	14	50	ENDE?	:25	:11	:81	:16	:55	
BEGINN	25	11	81	16	55	ENDE?	:1	:12	:81	:16	:22	L?
BEGINN	1	12	81	16	22	ENDE?	:4	:12	:81	:21	:10	
BEGINN	4	12	81	21	10	ENDE?	:12	:12	:81	:16	:15	L?
BEGINN	12	12	81	16	15	ENDE?	:17	:12	:81	:18	:2	
BEGINN	17	12	81	18	2	ENDE?	:16	:1	:82	:16	:0	L?
BEGINN	16	1	82	16	0	ENDE?	:23	:1	:82	:20	:35	
BEGINN	23	1	82	20	35	ENDE?	:24	:1	:82	:20	:35	L?
BEGINN	24	1	82	20	35	ENDE?	:25	:1	:82	:16	:26	
BEGINN	25	1	82	16	26	ENDE?	:19	:2	:82	:16	:26	L?
BEGINN	19	2	82	16	26	ENDE?	:25	:2	:82	:16	:12	
BEGINN	25	2	82	16	12	ENDE?	:27	:3	:82	:16	:12	L?
BEGINN	27	3	82	16	12	ENDE?	:5	:4	:82	:16	:14	
BEGINN	5	4	82	16	14	ENDE?	:1	:5	:82	:16	:35	L?
BEGINN	1	5	82	16	35	ENDE?	:10	:5	:82	:16	:53	
BEGINN	10	5	82	16	53	ENDE?	:5	:6	:82	:16	:53	L?
BEGINN	5	6	82	16	53	ENDE?	:16	:6	:82	:20	:53	
BEGINN	16	6	82	20	53	ENDE?	:12	:7	:82	:12	:36	L?
BEGINN	12	7	82	12	36	ENDE?	:12	:7	:82	:12	:36	

↖ ← Kapseldrehung

(kumulierte Dauer)

Bestrahlungsgeschichte der
FKS-Standard-Stahlbestrahlungskapsel E54
(lokale Flußdichten L hier nicht spezifiziert)

Kap. 3

Tab. II-4

BEGINN?	5	:4	:82	:16	:14						
BEGINN	5	4	82	16	14	ENDE?	:1	:5	:82	:17	:40
										L?:	ohne L?:
BEGINN	1	5	82	17	40	ENDE?	:10	:5	:82	:16	:53
										←	Unterbrechung
BEGINN	10	5	82	16	53	ENDE?	:5	:6	:82	:16	:53
										L?:	
BEGINN	5	6	82	16	53	ENDE?	:16	:6	:82	:20	:53
BEGINN	16	6	82	20	53	ENDE?	:12	:7	:82	:12	:36
										L?:	
BEGINN	12	7	82	12	36	ENDE?	:26	:8	:82	:15	:32
BEGINN	26	8	82	15	32	ENDE?	:24	:9	:82	:11	:54
										L?:	
BEGINN	24	9	82	11	54	ENDE?	:30	:9	:82	:17	:45
BEGINN	30	9	82	17	45	ENDE?	:9	:10	:82	:14	:0
										L?:	
BEGINN	9	10	82	14	0	ENDE?	:19	:10	:82	:16	:41
										L?:	
BEGINN	19	10	82	16	41	ENDE?	:31	:10	:82	:16	:41
										←	Kapseldrehung
BEGINN	31	10	82	16	41	ENDE?	:4	:11	:82	:18	:43
										L?:	
BEGINN	4	11	82	18	43	ENDE?	:4	:12	:82	:15	:43
										L?:	
BEGINN	4	12	82	15	43	ENDE?	:10	:12	:82	:17	:50
BEGINN	10	12	82	17	50	ENDE?	:8	:1	:83	:17	:50
										L?:	
BEGINN	8	1	83	17	50	ENDE?	:13	:1	:83	:21	:1
BEGINN	13	1	83	21	1	ENDE?	:12	:2	:83	:16	:20
										L?:	
BEGINN	12	2	83	16	20	ENDE?	:17	:2	:83	:17	:0
BEGINN	17	2	83	17	0	ENDE?	:20	:3	:83	:17	:0
										L?:	
BEGINN	20	3	83	17	0	ENDE?	:20	:3	:83	:17	:0

GESAMT - BESTRAHLUNGSZEIT = 2,134830000000E+07 SEC

(kumulierte Dauer)

Bestrahlungsgeschichte der
FKS-Standard-Stahlbestrahlungskapsel E55
(Lokale Flußdichten L hier nicht spezifiziert)

Kap. 3

Bestrahlung

Bezeichnung	Dauer/s	Ende	Unterbrechung
E 56	2,652E+06	18.09.83, 06h00	keine
E 57	8,640E+04	24.01.82, 20h35	keine

T a b e l l e II- 5 : Bestrahlungsgeschichte von
FKS-Stahlbestrahlungskapseln

Tab. III-1

Neutronendetektoren-Beschreibung mit Korrektur-Angabe zu:

Experiment: FKS

Bestrahlung: E 51

<u>Detektor-</u> <u>Meßreaktion</u>	<u>Material</u> <u>u. Reinheit</u>	<u>Maße</u> <u>mm</u>	<u>Angebrachte Korrekturen</u>	
			<u>Meß-Element</u> <u>(-Nuklid)</u>	<u>Verunrei-</u> <u>nigungen</u>
58 Fe(n,γ) 59Fe	s. 54Fe			
58 Ni(n,p) 58Co	Ni met. 99,995%	0,5 Øx5,0	Co58(n,γ)	-
45 Sc(n,γ) 46Sc	Sc met. 99,9 %	1,2 Øx2,5		
Ti(n,x) 46Sc	Ti met. 99,917%	3x[0,3 Øx5,0]	-	Ta 182
109Ag(n,γ) 110Ag ^m	Ag met. 99,999%	0,5 Øx5,0		
54 Fe(n,p) 54Mn	Fe met. 99,999%	0,5 Øx5,0	-	-
59 Co(n,γ) 60Co	Co met. 99,99 %	0,1 Øx5,0		
63 Cu(n,a) 60Co	Cu met. 99,999%	1,0 Øx5,0	-	Co 59
232Th(n,f)F.P.	ThO ₂ *1) 100%Th-232	1,27Øx6,7	Als Ausreißer nicht auswertbar	
235 U(n,f)F.P.				
238 U(n,f)F.P.	UO ₂ *1) 99,999%U-238	1,27Øx8,8	U238(n,γ)Abbrand (γ,f) vernachlässigt	

*1) Preßling, vanadiumgekapselt

Tab. III-2

Neutronendetektoren-Beschreibung mit Korrektur-Angabe zu:

Experiment: FKS Bestrahlung: E 53/54

<u>Detektor-</u> <u>Meßreaktion</u>	<u>Material</u> <u>u. Reinheit</u>	<u>Maße</u> <u>mm</u>	<u>Angebrachte Korrekturen</u>	
			<u>Meß-Element</u> <u>(-Nuklid)</u>	<u>Verunrei-</u> <u>nigungen</u>
58 Fe(n,γ) 59Fe	s. 54Fe			
58 Ni(n,p) 58Co	Ni met. 99,995%	0,5 Ø x 5,0	Co58(n,γ)	-
45 Sc(n,γ) 46Sc	Sc met. 99,9 %	1,2 Ø x 2,5		
Ti(n,x) 46Sc	Ti met. 99,917%	3x[0,3 Ø x 5,0]	-	Ta 182
54 Fe(n,p) 54Mn	Fe met. 99,999%	0,5 Ø x 5,0	-	-
59 Co(n,γ) 60Co	Co met. 99,99 %			
63 Cu(n,a) 60Co	Cu met. 99,999%	0,5 Ø x 5,0	-	Co 59

Tab. III-3

Neutronendetektoren-Beschreibung mit Korrektur-Angabe zu:

Experiment: FKS

Bestrahlung: E 55/56

<u>Detektor- Meßreaktion</u>	<u>Material u. Reinheit</u>		<u>Maße mm</u>	<u>Angebrachte Korrekturen</u>	
				<u>Meß-Element (-Nuklid)</u>	<u>Verunrei- nigungen</u>
58 Fe(n,γ) 59Fe	s. 54Fe				
58 Ni(n,p) 58Co	Ni met. 99,995%		0,5 Ø x 5,0	Co58(n,γ)	-
45 Sc(n,γ) 46Sc	Sc met. 99,9 %		1,2 Ø x 2,5		
Ti(n,x) 46Sc	Ti met. 99,917%		3x [0,3 Ø x 5,0]	-	Ta 182
54 Fe(n,p) 54Mn	Fe met. 99,999%		0,5 Ø x 5,0	-	-
59 Co(n,γ) 60Co	Co met. 99,99 %		0,1 Ø x 5,0		
63 Cu(n,α) 60Co	Cu met. 99,999%		0,5 Ø x 5,0	-	Co 59

Tab. III-4

Neutronendetektoren-Beschreibung mit Korrektur-Angabe zu:

Experiment: FKS Bestrahlung: E 57

Detektor- Meßreaktion	Material u. Reinheit	Maße mm	Angebrachte Korrekturen Meß-Element Verunrei- (-Nuklid) nigungen	
$^{115}\text{In}(n,n)^{115}\text{In}^m$	In met. 99,97 %	0,4 $\emptyset$ x 5,0		
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	Al met. 99,999%	0,5 $\emptyset$ x 1,0		
$^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$	Cu met. 99,999%	0,5 $\emptyset$ x 5,0		
$^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$	W met. 99 %?	Folie ~ 8mm ² x 0,1		
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	Ti met. 99,917%?	3x [0,3 $\emptyset$ x 5,0]		
$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$	Au met. 99,99 %	0,5 $\emptyset$ x 5,0		
$^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$	s. ^{48}Ti			
$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$	s. ^{54}Fe			
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	Ni met. 99,995%	0,5 $\emptyset$ x 5,0	Co58(n, γ)	-
$^{45}\text{Sc}(n,\gamma)^{46}\text{Sc}$	Sc met. 99,9 %	1,2 $\emptyset$ x 2,5		
$\text{Ti}(n,x)^{46}\text{Sc}$	Ti met. 99,917%?	3x [0,3 $\emptyset$ x 5,0]	-	Ta 182
$^{109}\text{Ag}(n,\gamma)^{110}\text{Ag}^m$	Ag met. 99,999%	0,5 $\emptyset$ x 5,0		
$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	Fe met. 99,999%	0,5 $\emptyset$ x 5,0	-	-
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	Co met. 99,99 %	0,1 $\emptyset$ x 5,0		
$^{232}\text{Th}(n,f)\text{F.P.}$	ThO ₂ ^{*1)} 100%Th-232	1,27 $\emptyset$ x 7,5	U233(n,f) und (γ ,f) vernachlässigt	
$^{235}\text{U}(n,f)\text{F.P.}$	UO ₂ ^{*1)} 99,89 %U-235	1,27 $\emptyset$ x 8,0		
$^{238}\text{U}(n,f)\text{F.P.}$	U ₃ O ₈ ^{*2)} 99,999%U-238	1,27 $\emptyset$ x 7,0	U238(n, γ) Abbrand + (γ ,f) vernachlässigt	U235 (n,f)
$^{237}\text{Np}(n,f)\text{F.P.}$	NpO ₂ ^{*1)} 99,99%Np-237	1,27 $\emptyset$ x 8,5	Np237(n, γ) Abbrand + (γ ,f) vernachlässigt	
$^{239}\text{Pu}(n,f)\text{F.P.}$	PuO ₂ ^{*1)} 99,1 %Pu-239	1,27 $\emptyset$ x 6,9		

*1) Preßling, vanadium-gekapselt		*2) Preßling, edelstahl-gekapselt		

TAB. IV

FKS-Dosimetrie-Experiment, Bestr.23.1.82, Stringer Nr. 3, Position Nr. 10

Verw.Reaktion	Gemess. Aktivierung (1/S)	Berechnete Aktivierung (1/S)	Berechnete Differenz Delta I in %
U 235 (n,f)	2.5937D-10 +- 10 %	2.6023D-10	- 0.3
Au 197 (n,g)	1.9036D-10 +- 4 %	1.9017D-10	0.1
Co 59 (n,g)	4.7761D-11 +- 10 %	4.7800D-11	- 0.1
Fe 58 (n,g)	1.0386D-12 +- 10 %	1.0221D-12	1.6
W 186 (n,g)	1.7462D-10 +- 10 %	1.7450D-10	0.1
Cu 63 (n,g)	3.6322D-12 +- 10 %	3.6345D-12	- 0.1
Np 237 (n,f)	1.2654D-11 +- 3 %	1.2425D-11	1.8
In 115 (n,n')	7.9648D-13 +- 3 %	8.1664D-13	- 2.5
U 238 (n,f)	1.0892D-12 +- 2 %	1.1057D-12	- 1.5
Th 232 (n,f)	2.7131D-13 +- 5 %	2.6305D-13	3.0
Ti 47 (n,p)	4.5325D-14 +- 5 %	4.3960D-14	3.0
Ni 58 (n,p)	2.3206D-13 +- 3 %	2.3769D-13	- 2.4
Fe 54 (n,p)	1.6173D-13 +- 5 %	1.5443D-13	4.5
Ti 46 (n,p)	1.8289D-14 +- 3 %	1.8945D-14	- 3.6
Al 27 (n,a)	1.2365D-15 +- 3 %	1.3207D-15	- 6.8
Ti 48 (n,p)	5.4095D-16 +- 3 %	5.0682D-16	6.3

Quadratwurzel aus Summe Delta I zum Quadrat durch (NDETEC-1) = 3.249 %

Selbstabschirmungs-Korrekturfaktoren KABS:

für U 235 (n,f)	KABS = 1.00000D+00
für Au 197 (n,g)	KABS = 1.28400D-01
für Co 59 (n,g)	KABS = 6.65641D-01
für Fe 58 (n,g)	KABS = 9.18365D-01
für W 186 (n,g)	KABS = 3.67483D-01
für Cu 63 (n,g)	KABS = 7.79987D-01
für Np 237 (n,f)	KABS = 1.00000D+00
für In 115 (n,n')	KABS = 1.00000D+00
für U 238 (n,f)	KABS = 1.00000D+00
für Th 232 (n,f)	KABS = 1.00000D+00
für Ti 47 (n,p)	KABS = 1.00000D+00
für Ni 53 (n,p)	KABS = 1.00000D+00
für Fe 54 (n,p)	KABS = 1.00000D+00
für Ti 46 (n,p)	KABS = 1.00000D+00
für Al 27 (n,a)	KABS = 1.00000D+00
für Ti 48 (n,p)	KABS = 1.00000D+00

Zur Neutronenspektrumsbestimmung in FKS-E57, Pos. 10 verwendete Meßreaktionen und benutzte Reaktionsraten (Aktivierungen) und Selbstabschirmungskoeffizienten

TAB. V

E (MEV)	Int. Fluß 1/(cm ² s)	E (MEV)	Int. Fluß 1/(cm ² s)	E (MEV)	Int. Fluß 1/(cm ² s)
1.00D-07	3.559D+13	5.00D-04	3.058D+13	3.00D-01	1.327D+13
5.00D-07	3.546D+13	1.00D-03	2.986D+13	4.00D-01	1.148D+13
1.00D-06	3.529D+13	5.00D-03	2.786D+13	5.00D-01	9.770D+12
5.00D-06	3.446D+13	1.00D-02	2.719D+13	6.00D-01	7.842D+12
1.00D-05	3.395D+13	5.00D-02	2.311D+13	6.90D-01	5.872D+12
5.00D-05	3.268D+13	1.00D-01	2.001D+13	8.00D-01	4.812D+12
1.00D-04	3.204D+13	2.00D-01	1.608D+13	8.80D-01	4.250D+12
1.00D+00	3.531D+12	8.00D+00	1.191D+10		
2.00D+00	1.091D+12	9.00D+00	6.526D+09		
3.00D+00	3.940D+11	1.00D+01	3.611D+09		
4.00D+00	1.886D+11	1.10D+01	1.933D+09		
5.00D+00	8.311D+10	1.20D+01	1.079D+09		
6.00D+00	4.218D+10	1.30D+01	5.506D+08		
7.00D+00	2.198D+10	1.40D+01	2.226D+08		

Phi größer 0.1 MEV / Phi größer 1.0 MEV = 5.666D+0

Über das Gesamte Lösungsspektrum gemittelte Neutronenenergie = 3.833D-01 MEV

Neutronenflußdichte ("PHI") oberhalb Energie E (MeV) als Ergebnis der Bestimmung
in FKS-E 57, Pos. 10

Kap. 3

Tabelle VI: Korrigierte Wirkungsquerschnitte
gemittelt über das gemäß Abschnitt 3.2 bestimmte Neutronenspektrum

Meßreaktion	Berechnete Reaktionsrate 1/s	Wirkungsquerschnitt in cm ² spaltspektrum-gemittelter		korrigierter E>1 MeV
		E>0	E>1 MeV	
Np-237(n,f)	1.2425E-11	1.312E-24	1.9824E-24	3.51883E-24
In-115(n,n')	8.1664E-13	1.89E-25	2.7405E-25	2.31277E-25
U-238(n,f)	1.1057E-12	3.05E-25	4.4225E-25	3.13141E-25
Th-232(n,f)	2.6305E-13	8.1E-26	1.1745E-25	7.44973E-26
Ti-47(n,p)	4.396E-14	1.9E-26	2.755E-26	1.24497E-26
Ni-58(n,p)	2.3769E-13	1.085E-25	1.57325E-25	6.73152E-26
Fe-54(n,p)	1.5443E-13	7.97E-26	1.15565E-25	4.37355E-26
Ti(n,x)Sc-46	1.8945E-14	1.18E-26	1.711E-26	5.36533E-27
Ti-48(n,p)	5.0682E-16	3E-28	4.35E-28	1.43534E-28
Al-27(n,a)	1.3207E-15	7.05E-28	1.02225E-27	3.7403E-28

Meßreaktion	Me E i.MTR-Spektrum MeV /20/	Je f ü r E > 1 MeV		
		Intra- pola- tion	Wirkungsquerschnitt /20/	cm ²
Cu-63(n,α)	8,2	3,0	7,25x E-28	2,4x E-28

T a b e l l e VI a : Korrigierter Wirkungsquerschnitt
gemittelt über das Neutronenspektrum
intrapoliert nach Tabelle VI

Tabelle VII - 1 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate		Spaltspektrumäqu.		Ges. Gl. (7):	
		1/s	+/- Unsich.	Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)	+/- Unsich.	Flußdichte 1/(cm ² s)	Fluenz 1/cm ²
10	Np237(n,f)	1.2654E-11	.0231	6.6516E+12	.046932	3.59608E+12	3.10702E+17
10	In115(n,n')	7.9648E-13	.0315	2.90633E+12	5.46008E-02	3.44384E+12	2.97547E+17
10	U238(n,f)	1.0092E-12	.0185	2.46286E+12	4.06971E-02	3.47831E+12	3.00526E+17
10	Th232(n,f)	2.7131E-13	.0537	2.31E+12	0.71647E-02	3.64188E+12	3.14658E+17
10	Ti47(n,p)	4.5325E-14	.0434	1.64519E+12	8.70894E-02	3.64865E+12	3.14552E+17
10	Ni58(n,p)	2.3206E-13	.032	1.47504E+12	6.12291E-02	3.44736E+12	2.97852E+17
10	Fe54(n,p)	1.6173E-13	.045	1.39947E+12	7.72723E-02	3.69791E+12	3.195E+17
10	Ti(n,x)Sc46	1.0289E-14	.0323	1.06091E+12	7.32413E-02	3.40874E+12	2.94515E+17
10	Ti48(n,p)	5.4095E-16	.0255	1.24356E+12	6.68973E-02	3.76879E+12	3.25624E+17
10	Al27(n,a)	1.2365E-15	.0272	1.20959E+12	6.49141E-02	3.30589E+12	2.85628E+17

Kap. 3

Tabelle VII - 2 :
für Neutronen oberhalb 1 MeV

Flußdichte- und Fluenz-Werte berechnet
zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	NeBreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)	+/- Unsich.	Gen. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)	Fluenz 1/cm ²
10	Np237(n,f)	1.2425E-11	.0231	6.53122E+12	.046932	3.531E+12	3.05079E+17
10	In115(n,n')	8.1664E-13	.0315	2.97989E+12	5.46008E-02	3.531E+12	3.05079E+17
10	U238(n,f)	1.1057E-12	.0185	2.50017E+12	4.06971E-02	3.531E+12	3.05078E+17
10	Th232(n,f)	2.6305E-13	.0537	2.23968E+12	8.71647E-02	3.531E+12	3.05078E+17
10	Ti47(n,p)	4.396E-14	.0434	1.59564E+12	8.70094E-02	3.53101E+12	3.05079E+17
10	Ni58(n,p)	2.3769E-13	.032	1.51002E+12	6.12291E-02	3.531E+12	3.05078E+17
10	Fe54(n,p)	1.5443E-13	.045	1.3363E+12	7.72723E-02	3.531E+12	3.05078E+17
10	Ti(n,x)Sc46	1.8945E-14	.0323	1.10725E+12	7.32413E-02	3.531E+12	3.05079E+17
10	Ti48(n,p)	5.0602E-16	.0255	1.1651E+12	6.68973E-02	3.53101E+12	3.05079E+17
10	Al27(n,a)	1.3207E-15	.0272	1.29195E+12	6.49141E-02	3.531E+12	3.05078E+17

Bemerkung: Als Reaktionsraten berechnete Werte

Kap. 3

Tabelle VII - 3 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumsäqu. Flußdichte >1MeV		Gen. Gl. (7): Flußdichte		Fluenz 1/cm ²
				1/(cm ² s)	+/- Unsich.	1/(cm ² s)		
3	Mp237(n,f)	1.4033E-11	.023	7.37647E+12	4.68828E-02	3.98797E+12		3.44561E+17
3	In115(n,n')	9.3906E-13	.032	3.4266E+12	5.48908E-02	4.86033E+12		3.50812E+17
3	U238(n,f)	1.3345E-12	.0184	3.01752E+12	4.06517E-02	4.26166E+12		3.68207E+17
3	Ti47(n,p)	5.6058E-14	.0433	2.03477E+12	0.70396E-02	4.50276E+12		3.89038E+17
3	Ni58(n,p)	2.9872E-13	.032	1.09874E+12	6.12291E-02	4.43763E+12		3.83411E+17
3	Fe54(n,p)	2.0971E-13	.047	1.01465E+12	7.84538E-02	4.79496E+12		4.14285E+17
3	Ti(n,x)Sc46	2.3336E-14	.0329	1.36388E+12	7.35079E-02	4.34941E+12		3.75789E+17
3	Ti48(n,p)	6.6029E-16	.0243	1.5363E+12	6.64492E-02	4.65597E+12		4.02276E+17
3	Al27(n,a)	1.6054E-15	.0268	1.57046E+12	6.47475E-02	4.29217E+12		3.70844E+17

Tabelle VII - 4 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Geo. Bl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
			+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
17	Np237(n,f)	1.0441E-11	.0231		5.48833E+12	.046932	2.96718E+12		2.56364E+17
17	In115(n,n')	6.5117E-13	.0315		2.3761E+12	5.46888E-02	2.81554E+12		2.43263E+17
17	U238(n,f)	8.5325E-13	.0186		1.92934E+12	4.87426E-02	2.72481E+12		2.35424E+17
17	Ti47(n,p)	3.1508E-14	.0435		1.14367E+12	8.71393E-02	2.53882E+12		2.18663E+17
17	Ni58(n,p)	1.8251E-13	.032		1.16888E+12	6.12291E-02	2.71127E+12		2.34254E+17
17	Fe54(n,p)	1.289E-13	.051		1.04616E+12	8.09136E-02	2.76434E+12		2.38839E+17
17	Ti(n,x)Sc46	1.4212E-14	.0331		8.38625E+11	7.35976E-02	2.64886E+12		2.28861E+17
17	Ti48(n,p)	4.198E-16	.025		9.65857E+11	6.67884E-02	2.92474E+12		2.52698E+17
17	Al27(n,a)	9.7626E-16	.0269		9.55811E+11	.064789	2.61011E+12		2.25514E+17

Tabelle VII - 5 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	NeBreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektrusaäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Geo.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
			+/-	Unsic.	+/-	Unsic.	+/-	Unsic.	
6	Np237(n,f)	6.8162E-12	.0232		3.58295E+12	4.69813E-02	1.93786E+12		1.67362E+17
6	In115(n,n')	5.3771E-13	.0316		1.96289E+12	5.46586E-02	2.32496E+12		2.00877E+17
6	U238(n,f)	7.4791E-13	.0187		1.69115E+12	4.87884E-02	2.38841E+12		2.06359E+17
6	Th232(n,f)	1.855E-13	.0539		1.5794E+12	8.72881E-02	2.49002E+12		2.15138E+17
6	Ti47(n,p)	3.8881E-14	.0435		1.12891E+12	8.71393E-02	2.48046E+12		2.14312E+17
6	Ni58(n,p)	1.6027E-13	.032		1.01872E+12	6.12291E-02	2.38089E+12		2.05789E+17
6	Fe54(n,p)	1.0678E-13	.0535		9.23982E+11	8.25122E-02	2.4415E+12		2.10945E+17
6	Ti(n,x)Sc46	1.3152E-14	.0358		7.68673E+11	7.48508E-02	2.45129E+12		2.11792E+17
6	Ti48(n,p)	3.6274E-16	.0253		8.33885E+11	6.68214E-02	2.52721E+12		2.18351E+17
6	Al27(n,a)	8.4239E-16	.0268		8.24055E+11	6.47475E-02	2.2522E+12		1.9459E+17

Kap. 3

Tabelle VII - 6 Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumsäqu. FluBdichte >1MeV 1/(cm ² s)	+/- Unsich.	Ges. Gl. (7): FluBdichte 1/(cm ² s)	Fluenz 1/cm ²
14	Np237(n,f)	7.2138E-12	.0232	3.79195E+12	4.69813E-02	2.05006E+12	1.77125E+17
14	In115(n,n')	5.0905E-13	.0315	1.86043E+12	5.46008E-02	2.2045E+12	1.90469E+17
14	U238(n,f)	6.7104E-13	.0180	1.51733E+12	4.08343E-02	2.14293E+12	1.85149E+17
14	Th232(n,f)	1.6766E-13	.0547	1.4275E+12	8.77844E-02	2.25055E+12	1.94448E+17
14	Ti47(n,p)	2.7142E-14	.0435	9.85191E+11	8.71393E-02	2.18013E+12	1.88363E+17
14	Ni58(n,p)	1.4427E-13	.032	9.17019E+11	6.12291E-02	2.1432E+12	1.85173E+17
14	Fe54(n,p)	9.7752E-14	.0453	8.45862E+11	7.74474E-02	2.23507E+12	1.9311E+17
14	Ti(n,x)Sc46	1.1466E-14	.0336	6.70134E+11	7.38238E-02	2.13705E+12	1.84641E+17
14	Ti48(n,p)	3.1924E-16	.0366	7.33805E+11	7.18649E-02	2.22414E+12	1.92166E+17
14	Al27(n,a)	8.0102E-16	.027	7.83585E+11	6.48306E-02	2.14159E+12	1.85034E+17

Tabelle VII - 7 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Kernreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektruaäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Ges. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
			+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
1	Np237(n,f)	1.36222E-11	.0231		7.16053E+12	.046932	3.07123E+12		3.34474E+17
1	In115(n,n')	9.19771E-13	.0314		3.35622E+12	5.45432E-02	3.97692E+12		3.43606E+17
1	U238(n,f)	1.29769E-12	.0236		2.93429E+12	4.32546E-02	4.14411E+12		3.50051E+17
1	Th232(n,f)	3.11078E-13	.0555		2.6406E+12	8.82851E-02	4.1757E+12		3.6078E+17
1	Ti47(n,p)	5.44126E-14	.0433		1.97505E+12	8.70396E-02	4.3706E+12		3.7762E+17
1	Ni58(n,p)	2.90256E-13	.0321		1.84495E+12	6.12814E-02	4.31189E+12		3.72548E+17
1	Fe54(n,p)	2.8036E-13	.0335		1.73374E+12	7.11917E-02	4.58110E+12		3.95014E+17
1	Ti(n,x)Sc46	2.35702E-14	.0343		1.37757E+12	7.41451E-02	4.39306E+12		3.7956E+17
1	Ti48(n,p)	6.59558E-16	.028		1.51623E+12	6.70897E-02	4.59513E+12		3.9702E+17
1	Al27(n,a)	1.53831E-15	.0269		1.50403E+12	.064789	4.1120E+12		3.55346E+17

Kap. 3

Tabelle VII - B : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	±/- Unsich.	Spaltspektrunäqu. FluBdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Bea. Gl. (7): FluBdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
				±/-	Unsich.	±/-	Unsich.	
5	Np237(n,f)	1.1484E-11	.0231	6.03659E+12	.046932	3.26358E+12		2.81974E+17
5	In115(n,n')	7.86313E-13	.0315	2.86923E+12	5.46008E-02	3.39987E+12		2.93747E+17
5	U238(n,f)	1.03163E-12	.0186	2.33269E+12	4.07426E-02	3.29446E+12		2.84641E+17
5	Th232(n,f)	2.54164E-13	.0534	2.16402E+12	8.69802E-02	3.41172E+12		2.94773E+17
5	Ti47(n,p)	4.44672E-14	.0433	1.61405E+12	9.78396E-02	3.57175E+12		3.08599E+17
5	Ni58(n,p)	2.36086E-13	.0321	1.50063E+12	6.12014E-02	3.50717E+12		3.0302E+17
5	Fe54(n,p)	1.67122E-13	.0421	1.44613E+12	7.56202E-02	3.8212E+12		3.30152E+17
5	Ti (n,x)Sc46	1.09967E-14	.036	1.11027E+12	7.49467E-02	3.54064E+12		3.05911E+17
5	Ti48(n,p)	5.36109E-16	.0253	1.23243E+12	6.68214E-02	3.73507E+12		3.2271E+17
5	Al27(n,a)	1.29002E-15	.0269	1.26194E+12	.064709	3.44897E+12		2.97991E+17

Kap. 3

Tabelle VII - 9 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor-Nr.	Kernreaktion	Reaktionsrate 1/s	±/- Unsich.	Spaltspektrumaqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Gen. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
				±/-	Unsich.	±/-	Unsich.	
15	Np237(n,f)	1.00524E-11	.0231	5.28406E+12	.046932	2.85675E+12		2.46823E+17
15	In115(n,n')	6.14766E-13	.0315	2.24326E+12	5.46008E-02	2.65814E+12		2.29663E+17
15	U238(n,f)	8.18924E-13	.0237	1.85172E+12	4.33093E-02	2.61519E+12		2.25953E+17
15	Th232(n,f)	2.01713E-13	.0542	1.71744E+12	8.74737E-02	2.78766E+12		2.33941E+17
15	Ti47(n,p)	3.35359E-14	.0435	1.21727E+12	8.71393E-02	2.69371E+12		2.32737E+17
15	Ni58(n,p)	1.76625E-13	.0321	1.12268E+12	6.12814E-02	2.62385E+12		2.26781E+17
15	Fe54(n,p)	1.22588E-13	.0426	1.06877E+12	7.58997E-02	2.88294E+12		2.42174E+17
15	Ti(n,x)Sc46	1.39507E-14	.0333	8.15354E+11	7.36878E-02	2.68816E+12		2.24654E+17
15	Ti48(n,p)	3.81497E-16	.0346	8.77005E+11	7.08672E-02	2.65789E+12		2.29641E+17
15	Al27(n,a)	1.06185E-15	.0273	1.03874E+12	6.49561E-02	2.83894E+12		2.45285E+17

Kap. 3

Tabelle VII - 10 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s	±/- Unsich.	Spaltspektrusaqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Gem. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
				±/-	Unsich.	±/-	Unsich.	
19	Np237(n,f)	7.87278E-12	.0232	4.13834E+12	4.69813E-02	2.23733E+12		1.93305E+17
19	In115(n,n')	5.13547E-13	.0316	1.87392E+12	5.46586E-02	2.22048E+12		1.9185E+17
19	U238(n,f)	6.73657E-13	.0188	1.52325E+12	4.08343E-02	2.15129E+12		1.85871E+17
19	Th232(n,f)	1.60841E-13	.0575	1.36944E+12	8.95559E-02	2.15902E+12		1.86539E+17
19	Ti47(n,p)	2.74685E-14	.0434	9.97042E+11	8.70894E-02	2.20636E+12		1.90629E+17
19	Ni58(n,p)	1.45402E-13	.0323	9.24214E+11	6.13864E-02	2.16002E+12		1.86626E+17
19	Fe54(n,p)	9.57861E-14	.0336	8.2885E+11	7.12388E-02	2.19012E+12		1.89227E+17
19	Ti(n,x)Sc46	1.09901E-14	.0336	6.4232E+11	7.38238E-02	2.04836E+12		1.76978E+17
19	Ti48(n,p)	3.18104E-16	.0213	7.31273E+11	6.54117E-02	2.21623E+12		1.91482E+17
19	Al27(n,a)	7.60944E-16	.0269	7.44382E+11	.064789	2.03445E+12		1.75776E+17

Tabelle VII - 11 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrunäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)	+/- Unsich.	Gen.Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)	Fluenz 1/cm ²
1	Fe54(n,p)	2.8836E-13	.0335	1.73374E+12	7.11917E-02	4.58118E+12	3.95814E+17
2	Fe54(n,p)	2.16733E-13	.0386	1.87542E+12	.073729	4.95554E+12	4.28159E+17
3	Fe54(n,p)	2.09713E-13	.0475	1.81468E+12	7.87544E-02	4.79503E+12	4.14291E+17
4	Fe54(n,p)	2.00517E-13	.0387	1.7351E+12	7.37814E-02	4.58477E+12	3.96124E+17
5	Fe54(n,p)	1.67122E-13	.0421	1.44613E+12	7.56282E-02	3.8212E+12	3.30152E+17

Bemerkung: Stringer 1

2

Tabelle VII - 12 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrunäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)	+/- Unsich.	Gen.Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)	Fluenz 1/cm ²
15	Fe54(n,p)	1.22588E-13	.0426	1.86877E+12	7.58997E-02	2.88294E+12	2.42174E+17
16	Fe54(n,p)	1.35715E-13	.0568	1.17436E+12	8.46891E-02	3.18389E+12	2.68187E+17
17	Fe54(n,p)	1.20896E-13	.051	1.84613E+12	8.89136E-02	2.76425E+12	2.38831E+17
18	Fe54(n,p)	1.14319E-13	.052	9.89184E+11	8.15475E-02	2.61378E+12	2.25831E+17
19	Fe54(n,p)	9.57861E-14	.0336	8.2885E+11	7.12388E-02	2.19812E+12	1.89227E+17

Bemerkung: Stringer 9

2

Kap. 3

Tabelle VII - 13 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Kernreaktion	Reaktionsrate 1/s	±/- Unsich.	Spaltspektrusaqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Gen. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
				±/-	Unsich.	±/-	Unsich.	
20	Fe54(n,p)	9.9721E-14	.0394	8.629E+11	7.41509E-02	2.28009E+12		1.97E+17
21	Fe54(n,p)	1.2487E-13	.0392	1.08052E+12	7.40449E-02	2.85512E+12		2.46882E+17
22	Fe54(n,p)	1.4286E-13	.039	1.23619E+12	7.39392E-02	3.26646E+12		2.82222E+17
23	Fe54(n,p)	1.4769E-13	.0391	1.27798E+12	.073992	3.37689E+12		2.91763E+17
24	Fe54(n,p)	1.4004E-13	.0387	1.21871E+12	7.37814E-02	3.22027E+12		2.78231E+17
25	Fe54(n,p)	1.3112E-13	.0391	1.1346E+12	.073992	2.99802E+12		2.59029E+17
26	Fe54(n,p)	1.1402E-13	.0393	9.93553E+11	7.40979E-02	2.62533E+12		2.26828E+17
27	Fe54(n,p)	9.4999E-14	.0395	8.2204E+11	7.42041E-02	2.17213E+12		1.87672E+17

Bemerkung: Stringer 2

8

Kap. 3

Tabelle VII - 14 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektrunäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)		Gen.61.(7): Flußdichte 1/(cm ² *s)		Fluenz 1/cm ²
			+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
6	Fe54(n,p)	1.0677E-13	.0535		9.23896E+11	8.25122E-02	2.44127E+12		2.10925E+17
7	Fe54(n,p)	1.4531E-13	.0391		1.25739E+12	.073992	3.32247E+12		2.87062E+17
8	Fe54(n,p)	1.6325E-13	.0387		1.41262E+12	7.37814E-02	3.73267E+12		3.22502E+17
9	Fe54(n,p)	1.6039E-13	.0385		1.4571E+12	7.36767E-02	3.85019E+12		3.32657E+17
10	Fe54(n,p)	1.6173E-13	.0449		1.39947E+12	7.72141E-02	3.69791E+12		3.195E+17
11	Fe54(n,p)	1.4688E-13	.0386		1.27097E+12	.073729	3.35837E+12		2.98163E+17
12	Fe54(n,p)	1.2888E-13	.0386		1.18829E+12	.073729	2.92851E+12		2.53024E+17
14	Fe54(n,p)	9.7751E-14	.0453		8.45053E+11	7.74474E-02	2.23505E+12		1.93108E+17

Bemerkung: Stringer 3

8

Tabelle VII - 15 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s	±/- Unsich.	Spaltspektruaäqu. Flußdichte >1MeV		Gen. 61. (7): Flußdichte		Fluenz 1/cm ²
				1/(cm ² s)	±/- Unsich.	1/(cm ² s)		
29	Fe54(n,p)	9.3428E-14	.0395	8.08445E+11	7.42041E-02	2.13621E+12		1.84568E+
30	Fe54(n,p)	1.2234E-13	.0292	1.05862E+12	6.92722E-02	2.79727E+12		2.41684E+
31	Fe54(n,p)	1.426E-13	.039	1.23394E+12	7.39392E-02	3.26051E+12		2.81708E+
32	Fe54(n,p)	1.4668E-13	.039	1.26924E+12	7.39392E-02	3.3538E+12		2.89768E+
33	Fe54(n,p)	1.4487E-13	.039	1.25358E+12	7.39392E-02	3.31241E+12		2.86192E+
34	Fe54(n,p)	1.2767E-13	.0413	1.10475E+12	7.51777E-02	2.91914E+12		2.52214E+
35	Fe54(n,p)	1.1857E-13	.0393	9.56777E+11	7.40979E-02	2.52815E+12		2.18432E+
36	Fe54(n,p)	8.8175E-14	.0396	7.62991E+11	7.42574E-02	2.0161E+12		1.74191E+

Bemerkung: Stringer 4

Kap. 3

Tabelle VII - 16 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrunäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² s)		Gem.Bl. (7): Flußdichte 1/(cm ² s)		Fluenz 1/cm ²
				+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
39	Fe54(n,p)	4.469E-13	.0385	3.86769E+12	7.36767E-02	1.82182E+13		8.82856E+17
40	Fe54(n,p)	5.7584E-13	.0384	4.9759E+12	7.36245E-02	1.31481E+13		1.136E+18
41	Fe54(n,p)	6.407E-13	.0384	5.54407E+12	7.36245E-02	1.46494E+13		1.26571E+18
42	Fe54(n,p)	6.5226E-13	.0281	5.6441E+12	6.88158E-02	1.49137E+13		1.28855E+18
43	Fe54(n,p)	6.216E-13	.0384	5.37879E+12	7.36245E-02	1.42127E+13		1.22798E+18
44	Fe54(n,p)	5.7314E-13	.0384	4.95946E+12	7.36245E-02	1.31047E+13		1.13225E+18
45	Fe54(n,p)	4.835E-13	.0385	4.18379E+12	7.36767E-02	1.10551E+13		9.5516E+17
46	Fe54(n,p)	3.8329E-13	.0386	3.31666E+12	.073729	8.76382E+12		7.57194E+17

Bemerkung: Stringer 9

8

Kap. 3

Tabelle VII - 17 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 51 mit Bestrahlungsdauer: 1.282E+07 s

Detektor-Nr.	NeBreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Geo.Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
4	Fe54(n,p)	1.89773E-13	.0251	1.64213E+12	6.76462E-02	4.33911E+12	5.56274E+19
5	Cu63(n,a)	1.0524E-15	.0161	1.45159E+12	.114141	4.385E+12	5.62157E+19
6	Ni58(n,p)	2.14652E-13	.0164	1.36439E+12	5.47171E-02	3.18876E+12	4.08799E+19
7	Fe54(n,p)	1.27191E-13	.0245	1.1006E+12	6.74259E-02	2.98819E+12	3.7283E+19

Bemerkung: Von Stringer-Ebene 2
s

Tabelle VII - 18 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 51 mit Bestrahlungsdauer: 1.282E+07 s

Detektor-Nr.	NeBreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Geo.Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
23	Fe54(n,p)	2.28493E-13	.0243	1.97718E+12	6.73535E-02	5.22443E+12	6.69772E+19
24	Ti(n,x)Sc46	2.72701E-14	.0234	1.59381E+12	6.97751E-02	5.08265E+12	6.51596E+19
25	Ni58(n,p)	2.05307E-13	.0161	1.30499E+12	5.46279E-02	3.04993E+12	3.91002E+19
27	Fe54(n,p)	2.3429E-13	.0251	2.02734E+12	6.76462E-02	5.35698E+12	6.86764E+19
29	Fe54(n,p)	1.11293E-13	.0246	9.63034E+11	6.74623E-02	2.54468E+12	3.26228E+19
31	Fe54(n,p)	2.06712E-13	.0244	1.78871E+12	6.73896E-02	4.72641E+12	6.05926E+19

Bemerkung: Von Stringer-Ebene 4
s

Kap. 3

Tabelle VII - 19 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 51 mit Bestrahlungsdauer: 1.282E+07 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	±/- Unsich.	Spaltspektruaäqu. FluBdichte >1MeV		Gen. Gl. (71): FluBdichte	
				1/(cm^2*s)	±/- Unsich.	1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
44	Fe54(n,p)	1.5951E-13	.0244	1.38826E+12	6.73896E-02	3.64715E+12	4.67565E+19
45	Cu63(n,a)	9.44872E-16	.0162	1.38327E+12	.114155	3.93697E+12	5.04719E+19
46	Ni58(n,p)	2.15409E-13	.0164	1.3692E+12	5.47171E-02	3.2E+12	4.10241E+19
47	Fe54(n,p)	1.69344E-13	.0244	1.46536E+12	6.73896E-02	3.872E+12	4.96391E+19
100	U238(n,f)	1.63268E-12	.0212	3.69176E+12	4.19933E-02	5.21388E+12	6.6842E+19
100	Ni58(n,p)	2.7093E-13	.0156	1.7221E+12	5.44827E-02	4.0248E+12	5.15979E+19
100	Fe54(n,p)	2.02552E-13	.0284	1.75271E+12	6.89388E-02	4.6313E+12	5.93732E+19
100	Cu63(n,a)	1.11148E-15	.0161	1.53308E+12	.114141	4.63117E+12	5.93716E+19

Bemerkung: Von Stringer-Ebene 5; 100: Besond. Spektralposition

8

Kap. 3

Tabelle VII - 20 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 51 mit Bestrahlungsdauer: 1.282E+07 s

Detektor- Nr.	Kernreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)		Ges. 61. (7): Flußdichte 1/(cm^2*s)		Fluenz 1/cm^2
			+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
55	Fe54(n,p)	1.8318E-13	.0244		1.58588E+12	6.73896E-02	4.18836E+12		5.36948E+19
57	Fe54(n,p)	1.42181E-13	.0244		1.23831E+12	6.73896E-02	3.25893E+12		4.16769E+19
60	Fe54(n,p)	1.92936E-13	.0243		1.6695E+12	6.73535E-02	4.41143E+12		5.65545E+19
61	Ti(n,x)Sc46	2.38836E-14	.0217		1.34913E+12	6.92235E-02	4.38236E+12		5.51563E+19
62	Ni58(n,p)	1.73266E-13	.0164		1.10133E+12	5.47171E-02	2.57395E+12		3.2998E+19

Bemerkung: Von Stringer-Ebene 6

8

Kap. 3

Tabelle VII - 21 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 51 mit Bestrahlungsdauer: 1.282E+07 s

Detektor-Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumaqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Gen. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
73	Fe54(n,p)	1.47424E-13	.0252	1.27568E+12	6.76834E-02	3.37881E+12	4.32138E+19
74	Cu63(n,a)	7.8644E-16	.0163	1.08474E+12	.11417	3.27683E+12	4.2889E+19
75	Ni58(n,p)	1.57428E-13	.0165	1.08865E+12	5.47472E-02	2.33867E+12	2.99817E+19
76	Fe54(n,p)	8.69815E-14	.0247	7.51971E+11	6.74988E-02	1.98698E+12	2.54731E+19
77	Ti(n,x)Sc46	2.48272E-14	.0231	1.45183E+12	.069675	4.62734E+12	5.93225E+19
79	Fe54(n,p)	1.51897E-13	.0244	1.30746E+12	6.73896E-02	3.45479E+12	4.42984E+19
80	Ti(n,x)Sc46	1.92388E-14	.0211	1.12442E+12	6.98377E-02	3.58576E+12	4.59695E+19
81	Ni58(n,p)	1.29304E-13	.0161	8.21891E+11	5.46279E-02	1.92887E+12	2.46256E+19
83	Fe54(n,p)	1.58922E-13	.0244	1.30595E+12	6.73896E-02	3.45879E+12	4.42391E+19
85	Fe54(n,p)	1.25836E-13	.0245	1.08195E+12	6.74259E-02	2.85891E+12	3.66513E+19
87	Fe54(n,p)	1.48321E-13	.0246	1.21422E+12	6.74623E-02	3.2884E+12	4.11317E+19

Bemerkung: Von Stringer-Ebene 7

*

Tabelle VII - 22 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 54 mit Bestrahlungsdauer: 1.822E+07 s

Detektor-Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumaqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Gen.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
22	Fe54(n,p)	9.19005E-14	.0237	7.95228E+11	6.71394E-02	2.10128E+12	3.82053E+19
23	Cu63(n,a)	5.2727E-16	.0158	7.27269E+11	.114099	2.19696E+12	4.00286E+19
24	Fe54(n,p)	8.58414E-14	.0237	7.42797E+11	6.71394E-02	1.96274E+12	3.57611E+19
25	Fe54(n,p)	9.18096E-14	.0237	7.95133E+11	6.71394E-02	2.10103E+12	3.82008E+19
26	Cu63(n,a)	5.32464E-16	.0158	7.34433E+11	.114099	2.2186E+12	4.04229E+19
27	Fe54(n,p)	8.82262E-14	.0237	7.63433E+11	6.71394E-02	2.01727E+12	3.67546E+19

Bemerkung: Von den Stringern VI-1,2

2

Tabelle VII - 23 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 54 mit Bestrahlungsdauer: 1.822E+07 s

Detektor-Nr.	Neutronreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumaqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Gen.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
100	Fe54(n,p)	1.03613E-13	.0238	8.96578E+11	6.71747E-02	2.36908E+12	4.31647E+19
100	Ni58(n,p)	1.46203E-13	.0161	9.29306E+11	5.46279E-02	2.17192E+12	3.95723E+19
100	Ti(n,x)Sc46	1.28529E-14	.0190	7.04436E+11	6.86516E-02	2.24644E+12	4.09382E+19
100	Cu63(n,a)	6.51307E-16	.0163	8.98354E+11	.11417	2.71378E+12	4.9445E+19

Bemerkung: 100:Besondere Spektralposition(in Stringer IV)

2

Kap. 3

Tabelle VII - 24 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 55 mit Bestrahlungsdauer: 2.135E+07 s

Detektor-Nr.	NeBreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektrumäqu. FluBdichte >1MeV 1/(cm^2*s)		Gen.BI. (7): FluBdichte 1/(cm^2*s)		Fluenz 1/cm^2
			+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
1	Fe54(n,p)	1.96716E-13	.0232		1.70221E+12	6.69645E-02	4.49786E+12		9.60292E+19
2	Cu63(n,a)	1.11934E-15	.0155		1.54392E+12	.114058	4.66392E+12		9.95746E+19
3	Fe54(n,p)	1.98349E-13	.0232		1.71677E+12	6.69645E-02	4.53634E+12		9.68509E+19
14	Cu63(n,a)	1.23162E-15	.0155		1.69879E+12	.114058	5.13175E+12		1.89563E+20
15	Fe54(n,p)	2.19981E-13	.0242		1.90353E+12	6.73175E-02	5.02981E+12		1.07386E+20

Bemerkung: Von den Stringern VI-1,3

*

Tabelle VII - 25 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 55 mit Bestrahlungsdauer: 2.135E+07 s

Detektor-Nr.	NeBreaktion	Reaktionsrate 1/s			Spaltspektrumäqu. FluBdichte >1MeV 1/(cm^2*s)		Gen.BI. (7): FluBdichte 1/(cm^2*s)		Fluenz 1/cm^2
			+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	+/-	Unsich.	
100	Fe54(n,p)	2.74075E-13	.0232		2.37161E+12	6.69645E-02	6.26665E+12		1.33793E+20
100	Ni58(n,p)	4.5438E-13	.0152		2.88816E+12	5.43695E-02	6.75003E+12		1.44113E+20
100	Ti(n,x)Sc46	3.16281E-14	.0251		1.84852E+12	-7.03634E-02	5.8949E+12		1.25856E+20
100	Cu63(n,a)	1.46779E-15	.0154		2.02454E+12	.114045	6.11579E+12		1.30572E+20

Bemerkung: 100:Besondere Spektralposition (in Stringer IV)

*

Kap. 3

Tabelle VII - 26 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 56 mit Bestrahlungsdauer: 2.652E+06 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Gen. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
16	Fe54(n,p)	1.73369E-13	.0255	1.56019E+12	6.77957E-02	3.96403E+12	1.05126E+19
17	Cu63(n,a)	9.88803E-16	.0174	1.35283E+12	.114332	4.08668E+12	1.08379E+19
18	Fe54(n,p)	1.73342E-13	.0255	1.49995E+12	6.77957E-02	3.96342E+12	1.0511E+19
28	Fe54(n,p)	1.91298E-13	.0254	1.65533E+12	6.77581E-02	4.37398E+12	1.15998E+19
29	Cu63(n,a)	1.07616E-15	.0172	1.48436E+12	.114302	4.484E+12	1.18916E+19
30	Fe54(n,p)	1.09547E-13	.0255	1.64010E+12	6.77957E-02	4.33394E+12	1.14936E+19

Bemerkung: Von den Stringern VI-1,3
*

Tabelle VII - 27 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 56 mit Bestrahlungsdauer: 2.652E+06 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	Gen. Gl. (7): Flußdichte 1/(cm ² *s)	Fluenz 1/cm ²
100	Fe54(n,p)	2.68361E-13	.0254	2.32217E+12	6.77581E-02	6.136E+12	1.62727E+19
100	Ni58(n,p)	3.57551E-13	.0179	2.27269E+12	5.51852E-02	5.31159E+12	1.40863E+19
100	Ti(n,x)Sc46	1.99122E-14	.0215	1.16378E+12	.069161	3.71127E+12	9.84229E+18
100	Cu63(n,a)	1.55804E-15	.0167	2.13909E+12	.114227	6.46183E+12	1.71368E+19

Bemerkung: 100: Besondere Spektralposition (in Stringer IV)
*

Kap. 3

Tabelle VII - 28 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FKS-Bestrahlung: E 53 mit Bestrahlungsdauer: 4.44279E+07 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumaqu. Flußdichte >1MeV		Gen. Gl. (7): Flußdichte		Fluenz 1/cm²
				1/(cm²*s)	+/- Unsich.	1/(cm²*s)		
25	Fe54(n,p)	8.60089E-14	.0233	7.44247E+11	6.69992E-02	1.96657E+12		8.73785E+19
26	Cu63(n,a)	4.9353E-16	.0168	6.80731E+11	.114242	2.05637E+12		9.13604E+19
27	Fe54(n,p)	8.22643E-14	.0233	7.11844E+11	6.69992E-02	1.88895E+12		8.35667E+19
23	Cu63(n,a)	4.93728E-16	.0168	6.81084E+11	.114242	2.0572E+12		9.13971E+19
24	Fe54(n,p)	8.33778E-14	.0233	7.21479E+11	6.69992E-02	1.90641E+12		8.46978E+19

Bemerkung: Von den Stringern VI-2,2

Tabelle VII - 29 : Flußdichte- und Fluenz-Werte
für Neutronen oberhalb 1 MeV nach Messung zur FK5-Bestrahlung: E 53 mit Bestrahlungsdauer: 4.44279E+07 s

Detektor- Nr.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumaqu. Flußdichte >1MeV		Gen. Gl. (7): Flußdichte		Fluenz 1/cm²
				1/(cm²*s)	+/- Unsich.	1/(cm²*s)		
100	Fe54(n,p)	9.74089E-14	.0232	8.42893E+11	6.69645E-02	2.22723E+12		9.09511E+19
100	Ni58(n,p)	1.35256E-13	.0165	8.59723E+11	5.47472E-02	2.00729E+12		8.92687E+19
100	Ti(n,x)Sc46	1.31729E-14	.0206	7.68895E+11	6.88866E-02	2.45519E+12		1.09079E+20
100	Cu63(n,a)	5.85086E-16	.0166	8.07015E+11	.114213	2.43786E+12		1.08309E+20

Bemerkung: 100: Besondere Spektralposition (in Stringer IV)

4. FLUSSDICHTEN UND FLUENZEN LANGSAMER NEUTRONEN

4.1. Auswertung

Mit den fundamentalen Meßgrößen R_i nach Gl. (2.1) wurden Schätzwerte ermittelt für die Neutronen-Flußdichte (ϕ) und -Fluenz (Φ), und zwar im Energiebereich langsamer Neutronen zumindest zu Vergleichszwecken, d.h. zur statistischen Interkonsistenzprüfung der erhaltenen Meßwerte.

Dazu sind bei Anwendung radiometrischer (Aktivierungs- und Spaltungs-) Detektoren Annahmen nötig für den Neutronenspektrumsverlauf, denn radiometrische Detektoren liefern spektrumintegrierte Meßwerte. Das Ergebnis der Spektrumsadjustierung in Bestrahlung E 57, Zentral-Position ("Nr. 10") gemäß Abschnitt 3.2 legt uns für alle gemeinsamen (n, γ)- und die (n,f)-Reaktionen von U-235 und Pu-239 oberhalb der Gd-Filtergrenze den Verlauf des 1/E-Brems- (oder "Fermi")-Spektrums nahe (vgl. Abb. 12). Auf die erhaltenen Meßwerte jener Reaktionen unterhalb der Gd-Filtergrenze wurde die eben zitierte Spektrumsadjustierung nicht ausgedehnt; wir wollen dort das thermische (oder "Maxwell")-Spektrum annehmen, weil dessen Reaktionsquerschnitte wohlbekannt sind.

Für das "Fermi"-Spektrum soll dann die "Resonanzneutronen-Flußdichte bezogen auf Lethargie" wie folgt angegeben werden, bezogen auf Meß-Position $\vec{r}$ und -zeit t :

$$\phi_{ep,i}(\vec{r},t) = \frac{R_i(\vec{r},t) \cdot F_{fi}(\vec{r})}{I_i \cdot K_{ep,i,j}}, \quad (4.1)$$

wobei die Reaktionsrate R_i (für die Reaktion i , hier nach Bestrahlung mit Gd-Filter) wie in Abschnitt 2.2 definiert ist. Das Resonanzintegral I_i wird /32, 33/ entnommen. Unter der Filter-Korrektur F_{fi} verstehen wir die Abweichung des Resonanzintegrals $I_i(>E_g(\vec{r}))$ oberhalb der Grenzernergie zwischen "Fermi"- und "Maxwell"-Spektrum in Position $\vec{r}$ vom Resonanzintegral $I_i(>E_f)$ oberhalb der Filter-Abschneideenergie E_f . Die Abschneideenergie für Gd-Filter ist wesentlich niedriger als die für Cd und im allgemeinen nicht sehr weit von E_g gefunden worden /34/; da letzterer Befund besonders für Bestrahlungstemperaturen von der Höhe der unseren

(≈ 559 K) zu erwarten ist, setzen wir näherungsweise für alle Meß-Reaktionen i und -positionen $\vec{r}$ in unserem Fall:

$$F_{fi}(\vec{r}) \approx F_{fi} \approx 1 \pm 0,03. \quad (4.2)$$

Die Flußstörungen-Korrektur $K_{ep,i,j}$ (allgemein zur Flußstörung s. z.B. /35/) für epithermische Neutronen mit Reaktion i im Detektor j wurde experimentell ermittelt speziell für unsere Au- und Co- sowie für die U-235-Detektoren; für die übrigen Detektoren haben wir folgende Näherung entsprechend /36/ angewandt:

$$K_{ep,i,j} \approx \frac{\sum_{r=1}^n \frac{\hat{\sigma}_{il}}{\sqrt{1+c_{ep,j}} d_j N_{vi,j} \hat{\sigma}_{il}}}{\sum_{l=1}^n \hat{\sigma}_{il}} \quad (4.3)$$

mit

$\hat{\sigma}_{il}$	Gipfel- (oder Peak-)Wert des Wirkungsquerschnitts der l -ten Resonanz für die Meßreaktion i , nach /37/
$c_{ep,j}$	Formfaktor des Detektors j (z.B. ob zylinder- oder scheibenförmig)
d_j	maßgebende kleinste Ausdehnung des Detektors j für Neutronen-durchstrahlung, in cm (z.B. Durchmesser oder Scheibendicke)
$N_{vi,j}$	Anzahl der Atome des Ausgangsnuklids der Reaktion i im Detektor j , bezogen auf dessen Volumeneinheit cm^3 .

Für das "Maxwell"-Spektrum drücken wir die "thermische Neutronenfluß-dichte" folgendermaßen aus:

$$\phi_{th,i}(\vec{r},t) = \frac{R_i(\vec{r},t) \cdot M_i(\vec{r},t)}{\sigma_{th,i} \cdot K_{th,i,j}} \quad (4.4)$$

wobei die Reaktionsrate R_i des (hier ohne Gd-Filter bestrahlten) Detektors mit Meßreaktion i wieder entsprechend Abschnitt 2.2 definiert ist. Der Wirkungsquerschnitt $\sigma_{th,i}$ (für 2200 m/s-Neutronen und die Reaktion i) wurde /32, 33/ entnommen. Wir haben einen "Maxwell-Faktor" wie folgt eingeführt:

$$M_i(\vec{r}, t) \equiv 1 - F_{fi}(\vec{r}) \cdot R_{i,F}(\vec{r}, t) / R_i(\vec{r}, t) \quad (4.5)$$

mit R_i (ohne Filter) und F_{fi} wie oben. Um die Reaktionsrate mit Filter $R_{i,F}(\vec{r}, t)$ zu bestimmen, sind grundsätzlich zwei Korrekturen nötig: erstens für die Meß-Position unter Filter ($\vec{r}_f$), die bei gleichzeitiger Bestrahlung in genügend weitem Abstand von der Position ($\vec{r}$) des Detektors mit der gleichen Reaktion i ohne Filter liegen muß; die zweite Korrektur (für $K_{th,i}$; s.u.) konnte bei den FKS-Bestrahlungen entfallen, da die zur selben Reaktion i gehörigen Detektoren jeweils gleiche Form besaßen. Zur ersten Korrektur wurden für das Dosimetrie-Experiment (E 57) die Ergebnisse $R_{i,F}$ von jeweils drei Detektorpositionen $\vec{r}_f$ ("mit Gd-Hülle", s. Abb. 11) benutzt und mittels einer Parabel die Reaktionsrate $R_{i,F}(\vec{r})$ für die umschlossene Position $\vec{r}$ ("ohne Gd-Hülle") approximiert; für die jeweils nahezu zentral liegenden Spektralpositionen in den Originalmaterialbestrahlungen E 53 bis 56 wurde derselbe Maxwell-Faktor angenommen wie für die zentrale $\vec{r}$ -Position in E 57 (d.i. Nr. 9, s. Abb. 11).

Für die Flußstörungskorrektur $K_{th,i,j}$ für thermische Neutronen für Reaktion i im Detektor j wurde folgende Näherung entsprechend /36/ benutzt:

$$K_{th,i,j} \approx \frac{1}{1 + c_{th,j} \cdot d_j \cdot N_{vi,j} \cdot \sigma_{th,i}} \quad (4.6)$$

analog zu Gl (4.3).

4.2. Zusammenstellung der Ergebnisse

Die (nach der in Abschnitt 4.1 beschriebenen Auswertung) erhaltenen Ergebnisse wurden in den Tabellen "Maxwell-Faktor" und "Flußdichte- und Fluenz-Werte" am Schluß dieses Kapitels zusammengestellt. Die Reaktionsraten-Meßergebnisse fürs "Fermi"-Spektrum finden sich in den letzteren, die fürs "Maxwell"-Spektrum in den ersteren Tabellen; ebenfalls dort finden sich die (entsprechend Abschnitt 4.1 näherungsweise bestimmten) Reaktionsraten mit Filter (RRFI nach Parabelverfahren; RRFO mit RRO für die Referenzposition E 57 - Nr. 9).

Für das Dosimetrie-Testexperiment (E 57) beschränken wir uns in den genannten Tabellen auf diejenigen Detektor-Positionen, die - gemäß /6/ - mit signifikanten spektralen Veränderungen einhergehen: das sind die Positionen 2 (bzw. 3) und 18 (17) neben den zentralen 9 (10, vgl. Abb. 11). Für die übrigen Bestrahlungen wurde jeweils nur die "Besondere Spektralposition" herangezogen. Bezüglich der Flußdichten zu den Langzeitbestrahlungen mit Kapseldrehung gilt auch hier das in Abschnitt 3.4 Gesagte.

In den Tabellen "Flußdichte- und Fluenzwerte" wurden dann die gemäß Gln. (4.1) und (4.4) fürs "Fermi"- und "Maxwell"-Spektrum ermittelten Ergebnisse mit den zugehörigen Eingangswerten zusammengestellt. Die "Maxwell-Gewichtsfaktoren" in den Tabellen sind definiert als $1/\sum_k \rho_k^2$ mit den Unsicherheiten ρ_k zu den in M_i auftretenden (k) Größen. Die zu den Flußdichten $\phi = \phi_{ep}$ bzw. ϕ_{th} gehörigen Fluenzen Φ wurden analog zu Gl. (3.4) ermittelt.

Aus den für die einzelnen Reaktionen i erhaltenen Flußdichten ϕ_i wurden die in den Tabellen aufgeführten "Mittleren Flußdichten" $\bar{\phi}$ abgeschätzt. Die "Maxwell"- wurden zu den Flußdichte-Wichtungsfaktoren ergänzt durch Mitaufnahme der Wirkungsquerschnitts- und K_{th} -Unsicherheiten. Die Werte der "Mittleren Abweichung mit Wichtung pro Unsicherheit des Mittels" werden in den "Flußdichte"-Tabellen verglichen mit den Vertrauensbereichsgrenzen der Student-Verteilung (Zahlenwerte nach /38/), die der jeweils vorliegenden Anzahl Freiheitsgrade entspricht. Die Wahl der Statistischen Sicherheit - ob das genannte Neutronenspektrum zu Recht oder Unrecht angenommen wurde - ist natürlich grundsätzlich eine willkürliche: in diesem Fall erschien uns 90 % als konstanter Wert plausibel. In den einzelnen Tabellen werden höchstens so viele Meßreaktionen aufgeführt als nötig sind, um die Aussage "innerhalb" des gewählten Vertrauensbereichs zu erreichen. Sollte dies auch für das Minimum (d.sd. 2 Freiheitsgrade) nicht erreichbar sein, soll es bei "außerhalb" und damit bei der Ablehnung des "Angenommenen Spektrums" bleiben.

4.3. Diskussion

Nach unseren Ergebnissen in den Tabellen "Flußdichte- und Fluenz-Werte" rechtfertigen offenbar die Detektorsätze aus den Spektralpositionen der Jülicher FKS-Bestrahlungen sämtlich die Annahme des "Fermi"- bzw. "Maxwell"-Spektrums. Es muß betont werden, daß wir auf Grund unseres in Abschnitt 4.2 geschilderten statistischen Tests nicht unbedingt beanspruchen dürfen, den Beweis dafür erbracht zu haben. Nach den Ergebnissen dieses unter konstanten Bedingungen ausgeführten Tests können wir lediglich sagen, daß die Richtigkeit der angenommenen Spektren zu allen dargestellten Fällen als in gleichartiger Weise relativ wahrscheinlich anzusehen ist.

Für die Messungen mit Gd-Filter wird auf diese Weise das Ergebnis unserer Neutronenspektrumsadjustierung (vgl. Abschnitt 3.2), nämlich: Fermi-artiger Spektrumsverlauf (s. Abb. 12), mit rein meßtechnischen Mitteln bestätigt.

Für die Messungen ohne Gd-Filter liegt uns kein zu vergleichendes berechnetes oder gar ein adjustiertes Spektrum vor. Wir können hier aber ein anderes Plausibilitätskriterium heranziehen, indem wir das bekannte Moderationsverhältnis

$$M \equiv \frac{\xi \Sigma_s}{\Sigma_a} \quad (4.7)$$

(in Zahlen: $M = 58$ in Leichtwasser und $= 0,15$ in Fe /39/) vergleichen mit den Verhältnissen

$$\frac{\bar{\phi}_{th}}{\bar{\phi}_{ep}}(\vec{r}, t) \equiv \frac{\phi_{MX}}{\phi_{FE}} \quad (4.8)$$

in Tab. "Maxwell/Fermi-Flußdichteverhältnis". Dieser Vergleich ist bekanntlich nur in wohlmoderierten Systemen zulässig. In unserem Fall, weit im Innern eines Modiums aus Stahl, nimmt das Flußdichteverhältnis tatsächlich Werte an, die nahezu konstant und nicht weit vom berechneten Moderationsverhältnis von Eisen entfernt sind (vgl. entsprechende Auswertungen in /40/). Da die ϕ_{FE} -Werte nach unserem Adjustierungsergebnis dem Fermi-Spektrum zuzuordnen sind, sollten nach dem ebengeschilderten Vergleichsergebnis tatsächlich auch die ϕ_{MX} -Werte als dem Maxwell-Spektrum zugehörig anzusehen sein.

TABELLEN

- Tab. I-1. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Fermi-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 10.
- Tab. I-2. Maxwell-Faktor von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 9.
- Tab. I-3. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 9.
- Tab. II-1. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Fermi-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 3.
- Tab. II-2. Maxwell-Faktor von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 2.
- Tab. II-3. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 2.
- Tab. III-1. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Fermi-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 17.
- Tab. III-2. Maxwell-Faktor von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 18.
- Tab. III-3. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 18.
- Tab. IV. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 51.
- Tab. V-1. Maxwell-Faktor von FKS-Bestrahlung E 53.
- Tab. V-2. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 53.
- Tab. VI-1. Maxwell-Faktor von FKS-Bestrahlung E 54.
- Tab. VI-2. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 54.
- Tab. VII-1. Maxwell-Faktor von FKS-Bestrahlung E 55.
- Tab. VII-2. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 55.
- Tab. VIII-1. Maxwell-Faktor und FKS-Bestrahlung E 56.
- Tab. VIII-2. Flußdichte- und Fluenz-Werte mit Maxwell-Neutronenspektrum von FKS-Bestrahlung E 56.
- Tab. IX. Maxwell-Fermi-Flußdichteverhältnis von FKS-Bestrahlung E 57, Pos. 9.

Kap. 4
Tab. I - 1

09/03/86 11:28:59 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
Detektorsatz-Nr.: 10 a. Detektorpos.-Unsich.: +/- 0 .Angenomm. Spektrum: Fermi (Flußdichte, Fluenz pro Lethargie)
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate-Meßergebnis		Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ²	+/- Unsich.	Wert, 1/s	+/- Unsich.	
	Flußstörungen-Korrektionsfaktor		Flußdichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² *s)		
RAGW= 11 Co59(n,g)Co60	7.4E-23 .6	.027027 .1	4.77655E-11 1.0750E+12	3.41221E-02 .113114	9.29491E+16
RAGW= 12 Au197(n,g)Au198	1.56E-21 .128	.025641 .1	1.90304E-10 9.53446E+11	3.76753E-02 .113916	8.23777E+16
RAGW= 13 Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23 .992	4.16667E-02 .1	8.56251E-12 7.19297E+11	2.19252E-02 .114529	6.21472E+16
RAGW= 14 Fe58(n,g)Fe59	1.7E-24 .996	5.08235E-02 .1	1.83065E-12 6.13424E+11	.100651 .161757	5.29999E+16
RAGW= 15 U235(n,f)F.P.	2.75E-22 1	1.81818E-02 .1	2.59651E-10 9.44186E+11	1.80038E-02 .107493	8.15776E+16
RAGW= 16 Pu239(n,f)F.P.	3.01E-22 .72	3.32226E-02 .142	3.08729E-10 1.42455E+12	4.73111E-02 .156224	1.23081E+17
RAGW= 17 Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23 .236	.055325 .177	1.18354E-11 6.93638E+11	1.35239E-02 .100342	5.99303E+16
RAGW= 18 W186(n,g)W187	5E-22 .35	.07 .176	1.76305E-10 1.00791E+12	2.91372E-02 .193972	8.70830E+16
** SFLIMES Mittel **	Mittl. Flußdichte: Unsich. d. Mittels, +/- %:		9.34288E+11 1/(cm ² *s) 4.70381		
** SFLIMES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.: Mittl. Abw., mit Wichtg.: Mittl. Abw. a. W. / Uns. d. M.:		9.04056E-02 8.65471E-02 1.83994		

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 1.895 entspr. 7 Frei.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil N. Abweichg. innerhalb des 98%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. I - 2

08/06/86 16:10:37 10P20007

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
 Programm FKS Bestrahlung: E 57 Detektorsatz-Nr.: 9
 RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter) RRFI: Reaktionsrate mit Filter, für den Detektorsatz abgeschätzt
 Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-0.03 angenommen

Meßreaktion MAFA-Gew.Fakt.	Reakt.-Rate ohne Filter RR, 1/s +/- Unsich.	Reakt.-Rate mit Filter RRFI, 1/s +/- Unsich.	RR mult. mit Maxwell-Fakt. RM, 1/s +/- Unsich.
Co59(n,g)Co60 330.796	5.41588E-11 3.52745E-02	4.85365E-11 4.21749E-02	5.6223E-12 .561333 RAPW= 11
Au197(n,g)Au198 234.673	2.15396E-10 3.76653E-02	1.93936E-10 5.33158E-02	2.146E-11 .669758 RAPW= 12
Sc45(n,g)Sc46 694.17	1.15416E-11 2.18392E-02	8.78814E-12 3.10422E-02	2.75346E-12 .165422 RAPW= 13
Fe58(n,g)Fe59 28.3049	1.22674E-12 .108558	1.07218E-12 .153443	1.5456E-13 1.38518 RAPW= 14
U235(n,f)F.P. 619.57	3.1031E-10 1.78332E-02	2.59651E-10 .036	5.0659E-11 .263861 RAPW= 15
Pu239(n,f)F.P. 95.4934	4.31988E-10 3.90227E-02	3.88729E-10 .0946	1.23179E-10 .283887 RAPW= 16
Ag109(n,g)Ag110m 1793.26	1.29596E-11 1.35464E-02	1.20821E-11 1.93427E-02	8.77499E-13 .530638 RAPW= 17
W186(n,g)W187 393.553	1.97974E-10 .029109	1.81312E-10 4.11536E-02	1.6662E-11 .653255 RAPW= 18
Cu63(n,g)Cu64	3.61863E-12 3.87158E-02	3.67053E-12 5.43611E-02	-5.18995E-14 Ausreißer !

Kap. 4
Tab. I - 3

08/07/86 09:01:12 30P20079 Detector Data: A:DSK1

Fluiddichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
Detektorsatz-Nr.: 9 m. Detektorpos.-Unsich.: 0 .Angenomm. Spektrum: Maxwell
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-0.03 angenommen

NeBreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell- Gewichtsfaktor Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ² Flußstörungen-Korrektion Faktor	+/-Unsich. +/-Unsich.	Wert, 1/s Fluiddichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² *s)	+/-Unsich. +/-Unsich.	
RAGW= 11 Co59(n,g)Co60	3.718E-23 .9668	1.61377E-03 .0096	5.6223E-12 1.56411E+11	.561333 .561418	330.796 1.35139E+16
RAGW= 12 Au197(n,g)Au198	9.88E-23 .7752	3.03644E-03 .0649	2.146E-11 2.80194E+11	.669758 .672902	234.673 2.42007E+16
RAGW= 13 Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23 .9332	7.35294E-03 .0193	2.75346E-12 1.08476E+11	.165422 .166706	694.17 9.37235E+15
RAGW= 14 Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24 .9889	3.90625E-02 .0032	1.5456E-13 1.22105E+11	1.38518 1.38573	28.3049 1.05499E+16
RAGW= 15 U235(n,f)F.P.	5.022E-22 .6216	2.23291E-03 .1092	5.0659E-11 1.39982E+11	.263061 .285573	619.57 1.20945E+16
RAGW= 16 Pu239(n,f)F.P.	7.425E-22 .613	4.04041E-03 .1117	1.23179E-10 2.70632E+11	.283687 .305098	95.4934 2.33826E+16
RAGW= 17 Ag107(n,g)Ag108m	4.7E-24 .8587	4.25532E-02 .0408	8.77499E-13 2.17424E+11	.530638 .533902	1793.26 1.87854E+16
RAGW= 18 W186(n,g)W187	3.78E-23 .9771	3.96825E-02 .0066	1.6662E-11 4.51125E+11	.653255 .654492	393.553 3.89772E+16
** SFLIMES Mittel **	Mittl. Fluiddichte: Unsich. d. Mittels, +/- %:		2.04781E+11 1/(cm ² *s) 11.8902		
** SFLIMES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.: Mittl. Abw., mit Wichtg.: Mittl. Abw. m.W./Uns. d.M.:		.199554 .214404 1.00307		

Die Zuordnung der Mittl. Fluiddichte zum Angenomm. Spektrum erscheint m. STUDENTgrenze $t = 1.895$ entspr. 7 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil M. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. II - 1

07/30/86 15:29:08 20P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programme FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
Detektorsatz-Nr.: 3 a. Detektorpos.-Unsich.: 0 .Angenomm. Spektrum: Fermi (Flußdichte, Fluenz pro lethargie)
Filter Kor. Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate-Meßergebnis		Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ²	+/- Unsich., cm ²	Wert, 1/s	+/- Unsich., rel.	
	Flußstörungs-Korrektion		Flußdichte, Auswert.-Ergebnis		
	Faktor	+/- Unsich.	1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	
Co59(n,g)Co60	7.4E-23 .6	.027027 .1	5.49046E-11 1.23659E+12	.033321 .112875	1.06841E+17
Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23 .992	4.16667E-02 .1	9.87E-12 8.29133E+11	2.18955E-02 .114523	7.16371E+16
Au197(n,g)Au198	1.56E-21 .128	.025641 .1	2.2148E-10 1.10918E+12	.03766 .113911	9.58327E+16
U235(n,f)F.P.	2.75E-22 1	1.81818E-02 .1	3.0168E-10 1.09702E+12	1.78837E-02 .187473	9.47824E+16
Pu239(n,f)F.P.	3.01E-22 .72	3.32226E-02 .142	3.76805E-10 1.73498E+12	4.84287E-02 .156567	1.49902E+17
Fe58(n,g)Fe59	1.7E-24 .996	5.88235E-02 .1	1.25054E-12 7.38566E+11	.108671 .16177	6.38121E+16
Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23 .236	.055325 .177	1.57607E-11 9.23688E+11	1.30775E-02 .188311	7.98066E+16
W186(n,g)W187	5E-22 .35	.07 .176	2.06247E-10 1.17855E+12	2.90801E-02 .193963	1.01827E+17
** SFLINES Mittel **	Mittl. Flußdichte:		1.09939E+12 1/(cm ² *s)		
	Unsich. d. Mittels, +/- %:		4.70274		
** SFLINES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.:		9.89917E-02		
	Mittl. Abw., mit Wichtg.:		8.78023E-02		
	Mittl. Abw. a. W./Uns. d. M.:		1.86875		

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 1.895 entspr. 7 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil N. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. II - 2

09/03/86 14:45:22 10P20087

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Fluiddichte

Program FKS Bestrahlung: E 57 Detektorsatz-Nr.: 2

RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter)

RRFI: Reaktionsrate mit Filter, für den Detektorsatz abgeschätzt

Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-0.03 angenommen

MeBreaktion MAFA-Gew.Fakt.	Reakt.-Rate ohne Filter		Reakt.-Rate mit Filter		RR mult.mit Maxwell-Fakt.	
	RR,1/s	+/-Unsich.	RRFI,1/s	+/-Unsich.	RR,1/s	+/-Unsich.
Au197(n,g)Au198 191.175	2.30228E-10	4.88695E-02	2.29192E-10	5.33158E-02	1.03598E-12	17.3529 RAPW= 12
Sc45(n,g)Sc46 696.397	1.40263E-11	2.17837E-02	1.03382E-11	.031807	3.6881E-12	.146594 RAPW= 13
Fe58(n,g)Fe59 28.5313	1.51055E-12	.108601	1.27023E-12	.152496	2.4032E-13	1.06808 RAPW= 14
U235(n,f)F.P. 625.546	3.64591E-10	1.78035E-02	3.0168E-10	.0350	6.29109E-11	.246604 RAPW= 15
Pu239(n,f)F.P. 100.536	5.00727E-10	2.40093E-02	3.76005E-10	.0960	1.32722E-10	.301494 RAPW= 16
Ag109(n,g)Ag110m	1.53906E-11	1.29846E-02	1.54552E-11	1.89958E-02	-6.46028E-14	Ausreißer !
W186(n,g)W187 393.668	2.22762E-10	2.90712E-02	2.00713E-10	4.11713E-02	1.4049E-11	.086120 RAPW= 18
Cu63(n,g)Cu64 225.475	4.88004E-12	3.02958E-02	4.26115E-12	.054404	6.1889E-13	.523997 RAPW= 19

Bemerkung: Reaktion Co59(n,g)Co60 nicht auswertbar wegen RRFI

Kap. 4
Tab. II - 3

09/03/86 15:32:24 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
Detektorsatz-Nr.: 2 a. Detektorpos.-Unsich.: +/- 0 .Angenomm. Spektrum: Maxwell
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Neutronreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell- Gewichtsfaktor Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ² Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/- Unsich. +/- Unsich.	Wert, 1/s Flußdichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² *s)	+/- Unsich. +/- Unsich.	
RAGW= 13 Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23 .9332	7.35294E-03 .0193	3.6881E-12 1.45298E+11	.146594 .148041	696.397 1.25537E+16
RAGW= 14 Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24 .9889	3.90625E-02 .0032	2.4032E-13 1.89858E+11	1.06808 1.06808	28.5313 1.64037E+16
RAGW= 15 U235(n,f)F.P.	5.822E-22 .6216	2.23291E-03 .1092	6.29189E-11 1.73837E+11	.246604 .269709	625.546 1.50195E+16
RAGW= 16 Pu239(n,f)F.P.	7.425E-22 .613	4.04041E-03 .1117	1.32722E-10 2.91599E+11	.301494 .321546	100.536 2.51941E+16
RAGW= 18 W186(n,g)W187	3.78E-23 .9771	3.96825E-02 .0066	1.4049E-11 3.88377E+11	.886128 .887041	393.668 3.28646E+16
RAGW= 19 Cu63(n,g)Cu64	4.5E-24 .9851	4.44445E-03 .0043	6.1889E-13 1.39611E+11	.523997 .524033	225.475 1.20624E+16
** SFLIMES Mittel **		Mittl. Flußdichte: Unsich. d. Mittels, +/- Z:	2.02073E+11 1/(cm ² *s)	11.5597	
** SFLIMES Abweichung **		Mittl. Abw., ungewicht.: Mittl. Abw., mit Wichtg.: Mittl. Abw. a. W./Uns. d. M.:		.197698 .213462 1.8466	

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 2.015 entspr. 5 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil N. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. III - 1

07/30/86 12:18:21 20P20079 Detector Data: A:DSK1

Fluiddichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
Detektorsatz-Nr.: 17 a. Detektorpos.-Unsich.: 0 .Angenomm. Spektrum: Fermi (Fluiddichte, Fluenz pro Lethargie)
Filter Kor.Faktor $f_{fi}=1\pm 0.03$ angenommen

Kernreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate-Meßergebnis		Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ²	+/-Unsich., cm ²	Wert, 1/s	+/-Unsich., rel.	
	Flußstörungs-Korrektionsfaktor	+/-Unsich.	Fluiddichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² *s)	+/-Unsich.	
Co59(n,g)Co60	7.4E-23 .6	.027027 .1	3.87492E-11 8.7273E+11	3.52015E-02 .113469	7.54039E+16
Au197(n,g)Au198	1.56E-21 .128	.025641 .1	1.56036E-10 7.85437E+11	3.76852E-02 .113919	6.78617E+16
Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23 .992	4.16667E-02 .1	8.8227E-12 7.41154E+11	2.19253E-02 .114529	6.40357E+16
U235(n,f)F.P.	2.75E-22 1	1.81818E-02 .1	2.13539E-10 7.76505E+11	1.81439E-02 .107516	6.70901E+16
Pu239(n,f)F.P.	3.01E-22 .72	3.32226E-02 .142	2.6026E-10 1.2009E+12	3.80656E-02 .153677	1.03758E+17
Fe58(n,g)Fe59	1.7E-24 .996	5.88235E-02 .1	8.52345E-13 5.03393E+11	.108679 .161776	4.34932E+16
Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23 .236	.055325 .177	9.76681E-12 5.72404E+11	1.37361E-02 .188358	4.94557E+16
W186(n,g)W187	5E-22 .35	.07 .176	1.46886E-10 8.39349E+11	2.91931E-02 .19398	7.25197E+16
** SFLIMES Mittel **	Mittl. Fluiddichte: Unsich. d. Mittels, +/- %:		7.96203E+11 1/(cm ² *s) 4.69953		
** SFLIMES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.: Mittl. Abw., mit Wichtg.: Mittl. Abw. a. W./Uns. d. M.:		9.35759E-02 7.85605E-02 1.67167		

Die Zuordnung der Mittl. Fluiddichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze $T=1.895$ entspr. 7 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil N. Abweichg. innerhalb des 98%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. III - 2

09/03/86 15:41:00 10P20087

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
 Programm FKS Bestrahlung: E 57 Detektorsatz-Nr.: 18
 RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter) RRFI: Reaktionsrate mit Filter, für den Detektorsatz abgeschätzt
 Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-,03 angenommen

Meßreaktion MAFA-Gew.Fakt.	Reakt.-Rate ohne Filter		Reakt.-Rate mit Filter		RR mult.mit Maxwell-Fakt.	
	RR, 1/s	+/-Unsich.	RRFI, 1/s	+/-Unsich.	RR, 1/s	+/-Unsich.
Co59(n,g)Co60	3.31661E-11	3.45656E-02	3.55460E-11	4.92094E-02	-2.3807E-12	Ausreißer !
Au197(n,g)Au198 234.59	1.63665E-10	3.76852E-02	1.45544E-10	5.33158E-02	1.8121E-11	.597729 RAPM= 12
Sc45(n,g)Sc46 691.897	9.64438E-12	2.19473E-02	7.64609E-12	3.10422E-02	1.99829E-12	.196226 RAPM= 13
Fe58(n,g)Fe59 28.2906	9.4456E-13	.10864	7.81205E-13	.153443	1.63355E-13	.976558 RAPM= 14
U235(n,f)F.P.	2.55903E-10	1.89933E-02	0	0	RRFI fehlt	
Pu239(n,f)F.P.	3.42713E-10	3.61019E-02	0	0	RRFI fehlt	
Ag109(n,g)Ag110m 1773.28	1.00976E-11	1.36772E-02	9.04609E-12	1.94129E-02	1.05151E-12	.334294 RAPM= 17
W186(n,g)W187 392.348	1.47362E-10	2.91929E-02	1.35447E-10	.041189	1.1915E-11	.682566 RAPM= 18
Cu63(n,g)Cu64 222.692	3.36561E-12	3.83359E-02	2.79747E-12	5.49624E-02	5.6814E-13	.382929 RAPM= 19

Kap. 4

Tab. III - 3

09/03/86 15:56:13 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
 nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
 Detektorsatz-Nr.: 18 a. Detektorpos.-Unsich.: +/- 0 .Angenomm. Spektrum: Maxwell
 Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-0.03 angenommen

Reaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell- Gewichtsfaktor Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ² Flußstörungs-Korrektur Faktor	+/- Unsich. +/- Unsich.	Wert, 1/s Flußdichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² s)	+/- Unsich. +/- Unsich.	
RAGW= 12 Au197(n,g)Au198	9.88E-23 .7752	3.03644E-03 .0649	1.8121E-11 2.36598E+11	.597729 .601249	234.59 2.04421E+16
RAGW= 13 Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23 .9332	7.35294E-03 .0193	1.99829E-12 7.87254E+10	.196226 .19731	691.897 6.80188E+15
RAGW= 14 Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24 .9809	3.90625E-02 .0032	1.63355E-13 1.29054E+11	.976558 .977345	28.2986 1.11502E+16
RAGW= 17 Ag107(n,g)Ag108m	4.7E-24 .8587	4.25532E-02 .0408	1.05151E-12 2.6054E+11	.334294 .339452	1773.28 2.25106E+16
RAGW= 18 W186(n,g)W187	3.78E-23 .9771	3.96825E-02 .0066	1.1915E-11 3.226E+11	.682566 .68375	392.348 2.78726E+16
RAGW= 19 Cu63(n,g)Cu64	4.5E-24 .9851	4.44445E-03 .0043	5.6814E-13 1.28163E+11	.382929 .382979	222.692 1.10733E+16
** SFLINES Mittel **	Mittl. Flußdichte: Unsich. d. Mittels, +/- %:		1.75604E+11 1/(cm ² s) 14.5656		
** SFLINES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.: Mittl. Abw., mit Wichtg.: Mittl. Abw. a. W./Uns. d. M.:		.223825 .246312 1.69105		

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTGrenze $T = 2.015$ entspr. 5 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil M. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs.

Kap. 4

Tab. IV

09/03/86 12:00:44 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Fluiddichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 51 mit Bestrahlungsdauer: 1.282E+07 s
Detektorsatz-Nr.: Spek. a. Detektorpos.-Unsich.: +/- .89 .Angenomm. Spektrum: Fermi (Fluiddichte, Fluenz pro Lethargie)
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/- .83 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate-Meßergebnis		Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ²	+/- Unsich.	Wert, 1/s	+/- Unsich.	
	Flußstörungen-Korrektion		Fluiddichte, Auswert.-Ergebnis		
	Faktor	+/- Unsich.	1/(cm ² *s)	+/- Unsich.	
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	7.4E-23	.827027	5.84424E-11	2.70857E-02	
	.6	.1	1.13609E+12	.143053	1.45647E+19
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23	4.16667E-02	9.30324E-12	1.82063E-02	
	.992	.1	7.81522E+11	.145147	1.00191E+19
RAGW= 17					
Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23	.855325	1.30351E-11	1.17112E-02	
	.236	.177	7.63948E+11	.208631	9.79382E+18
** SFLINES Mittel **	Mittl. Fluiddichte:		9.23363E+11	1/(cm ² *s)	
	Unsich. d. Mittels, +/- %:			9.1552	
** SFLINES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.:			.133217	
	Mittl. Abw., mit Wichtg.:			.13577	
	Mittl. Abw. m.W./Uns. d.M.:			1.48298	

Die Zuordnung der Mittl. Fluiddichte zum Angenomm. Spektrum erscheint m. STUDENTgrenze T= 2.92 entspr. 2 Frei.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil M. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. V - 1, 2

09/03/86 16:14:47 10P20087

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
Program FKS Bestrahlung: E 53 Detektorsatz-Nr.: IV
RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter) Referenz-Posit.: E57-9
RR0: Gemess. Reakt.-Rate ohne Filter RRF0: Reakt.-Rate mit Filter, beide i. Ref. Pos.
Filter Kor. Faktor Ffi=1+/-0.03 angenommen

Meßreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos.		Reakt.-Rate i. Det.-Pos.		RR ault. m. Maxwell-Faktor	
	RR0, 1/s	+/- Uns. dazu	RR, 1/s	+/- Unsich.	RM, 1/s	+/- Unsich.
	RRF0, 1/s	+/- Uns. dazu	MAFA	Gew.-Fakt. dazu		
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	3.28981E-11	2.20169E-02	3.4152E-12	.25992
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	285.003	RAPH= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.10392E-02	7.10374E-12	1.89175E-02	1.69473E-12	9.76011E-02
	8.78814E-12	3.10422E-02	.238568	556.037	RAPH= 13	

Bemerkung: Reaktion Fe58(n,g)Fe59 nicht auswertbar wegen zu langer Wartezeit

09/03/86 16:23:26 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen von Reaktor FRJ-1 zum Program FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 53 mit Bestrahlungsdauer: 4.443E+07 s
Detektorsatz-Nr.: IV a. Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenoma. Spektrum: Maxwell 1
Filter Kor. Faktor Ffi=1+/-0.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell-
	Wert, cm^2	+/- Unsich.	Wert, 1/s	+/- Unsich.	Gewichtsfaktor
	Flußstörungen-Korrektion		Flußdichte, Auswert.-Ergebnis		Fluenz
	Faktor	+/- Unsich.	1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	3.4152E-12	.25992	285.003
	.9668	.0096	9.50101E+10	.275233	4.2213E+18
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	1.69473E-12	9.76011E-02	556.037
	.9332	.0193	6.67661E+10	.13436	2.96642E+18
** SFLINES Mittel **	Mittl. Flußdichte:		7.75499E+10 1/(cm^2*s)		
	Unsich. d. Mittels, +/- %:		12.0741		
** SFLINES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.:		.187121		
	Mittl. Abw., mit Nichtg.:		.176941		
	Mittl. Abw. a. W./Uns. d. M.:		1.46546		

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenoma. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 6.314 entspr. 1 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil N. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. VI - 1

09/03/86 16:28:10 10P20007

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
 Programm FKS Bestrahlung: E 54 Detektorsatz-Nr.: IV
 RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter) Referenz-Posit.: E57-9
 RR0: Gemess. Reakt.-Rate ohne Filter RRFB: Reakt.-Rate mit Filter, beide i. Ref. Pos.
 Filter Kor. Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Neutronreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos.		Reakt.-Rate i. Det.-Pos.		RR mult. d. Maxwell-Faktor	
	RR0, 1/s	+/- Uns. dazu	RR, 1/s	+/- Unsich.	RR, 1/s	+/- Unsich.
	RRFB, 1/s	+/- Uns. dazu	MAFA	Gew.-Fakt. dazu		
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	3.54149E-11	.028224	3.67647E-12	.260519
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	261.007		
					RAPW= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.18392E-02	7.11149E-12	.05204	1.69658E-12	.108978
	8.78814E-12	3.10422E-02	.238568	241.038		
					RAPW= 13	
Fe58(n,g)Fe59	1.22674E-12	.108558	6.8378E-13	.107322	8.61511E-14	.234153
	1.07218E-12	.153443	.125992	21.3458		
					RAPW= 14	

Kap. 4
Tab. VI - 2

09/03/86 16:45:42 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Fluiddichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-I zum Programm FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 54 mit Bestrahlungsdauer: 1.822E+07 s
Detektorsatz-Nr.: IV a. Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenomm. Spektrum: Maxwell 1
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Neutronreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell- Gewichtsfaktor Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ²	+/- Unsich.	Wert, 1/s	+/- Unsich.	
	Fluorstörungs-Korrektionsfaktor		Fluiddichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² s)		
		+/- Unsich.		+/- Unsich.	
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	3.67647E-12	.260519	261.807
	.9668	.0096	1.02279E+11	.275799	1.86352E+10
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	1.69658E-12	.108978	241.838
	.9332	.0193	6.68389E+10	.142839	1.21781E+10
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24	3.90625E-02	8.61511E-14	.234153	21.3458
	.9889	.0032	6.8061E+10	.253897	1.24007E+10
** SFLINES Mittel **	Mittl. Fluiddichte:		8.51914E+10 1/(cm ² s)		
	Unsich. d. Mittels, +/- Z:		11.3466		
** SFLINES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.:		.145529		
	Mittl. Abw., mit Wichtg.:		.146575		
	Mittl. Abw. s. W./Uns. d. M.:		1.29179		

Die Zuordnung der Mittl. Fluiddichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 2.92 entspr. 2 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil M. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4

Tab. VII - 1

09/03/86 16:49:13 10P20087

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
 Programm FKS Bestrahlung: E 55 Detektorsatz-Nr.: IV
 RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter) Referenz-Posit.: E57-9
 RR0: Gemess. Reakt.-Rate ohne Filter RRF0: Reakt.-Rate mit Filter, beide i. Ref. Pos.
 Filter Kor. Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

NeBreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos.		Reakt.-Rate i. Det.-Pos.		RR mult. m. Maxwell-Faktor	
	RR0, 1/s	+/- Uns. dazu	RR, 1/s	+/- Unsich.	RR, 1/s	+/- Unsich.
	RRF0, 1/s	+/- Uns. dazu	MAFA	Gew.-Fakt. dazu		
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	7.4535E-11	.029854		
	4.85345E-11	4.21749E-02	.103811	258.589	7.73758E-12	.26861
					RAPW= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.18392E-02	2.02776E-11	1.75452E-02		
	8.78814E-12	3.10422E-02	.238568	571.95	4.83759E-12	9.73445E-02
					RAPW= 13	
Fe58(n,g)Fe59	1.22674E-12	.108558	2.45763E-12	.108301		
	1.07218E-12	.153443	.125992	21.2501	3.09643E-13	.234683
					RAPW= 14	

Kap. 4

Tab. VII - 2

09/03/86 16:57:15 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
 nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 55 mit Bestrahlungsdauer: 2.135E+07 s
 Detektorsatz-Nr.: IV a. Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenomm. Spektrum: Maxwell
 Filter Kor.Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Neutronreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell-
	Wert,cm^2	+/-Unsich.	Wert,1/s	+/-Unsich.	Gewichtsfaktor
	Flußstörungs-Korrektion		Flußdichte,Auswert.-Ergebnis		Fluenz
	Faktor	+/-Unsich.	1/(cm^2*s)	+/-Unsich.	1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	7.73758E-12	.26061	258.589
	.9668	.0096	2.15258E+11	.275885	4.59576E+18
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	4.83759E-12	9.73445E-02	571.95
	.9332	.0193	1.90584E+11	.134173	4.06896E+18
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24	3.98625E-02	3.89643E-13	.234603	21.2501
	.9889	.0032	2.44624E+11	.254313	5.22272E+18
** SFLINES Mittel **			Mittl.Flußdichte: 2.006E+11 1/(cm^2*s)		
			Unsich.d.Mittels,+/-%: 10.9013		
** SFLINES Abweichung **			Mittl.Abw.,ungewicht.: 9.66041E-02		
			Mittl.Abw.,mit Wichtg.: 4.87653E-02		
			Mittl.Abw.a.W./Uns.d.M.: .447336		

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 2.92 entspr. 2 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil M. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Kap. 4
Tab. VIII - 1

09/03/86 17:01:19 10P20087

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Fluiddichte
 Programm FKS Bestrahlung: E 56 Detektorsatz-Nr.: IV
 RR: Gemessene Reaktionsrate (ohne Filter) Referenz-Posit.: E57-9
 RR0: Gemess. Reakt.-Rate ohne Filter RR0: Reakt.-Rate mit Filter, beide i. Ref. Pos.
 Filter Kor. Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Meßreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos.		Reakt.-Rate i. Det.-Pos.		RR mult. a. Maxwell-Faktor	
	RR0, 1/s	+/- Uns. dazu	RR, 1/s	+/- Unsich.	RM, 1/s	+/- Unsich.
	RRF0, 1/s	+/- Uns. dazu	MAFA	Gew.-Fakt. dazu		
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	7.62975E-11	2.91865E-02	7.92055E-12	.268625
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	258.074		
					RAPW= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.18392E-02	1.68283E-11	1.74773E-02	3.82384E-12	9.73323E-01
	8.78814E-12	3.18422E-02	.238568	572.729		
					RAPW= 13	
Fe58(n,g)Fe59	1.22674E-12	.108558	1.74679E-12	.104368	2.20082E-13	.232814
	1.07218E-12	.153443	.125992	21.6346		
					RAPW= 14	

Kap. 4
Tab. VIII - 2

09/03/86 17:09:27 48P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen vom Reaktor FRJ-1 zum Programm FKS
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: E 56 mit Bestrahlungsdauer: 2.652E+06 s
Detektorsatz-Nr.: IV a. Detektorpos.-Unsich.: +/- .21 .Angenomm. Spektrum: Maxwell
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/- .03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt		Reaktionsrate*Maxwell-Faktor		Maxwell- Gewichtsfaktor Fluenz 1/cm ²
	Wert, cm ²	+/- Unsich.	Wert, 1/s	+/- Unsich.	
	Flußstörungs-Korrektionsfaktor		Flußdichte, Auswert.-Ergebnis 1/(cm ² *s) +/- Unsich.		
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	7.92055E-12	.260625	258.074
	.9668	.0096	2.20348E+11	.334844	5.84363E+17
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	3.82384E-12	9.73323E-02	572.729
	.9332	.0193	1.50646E+11	.232379	3.99512E+17
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24	3.90625E-02	2.20082E-13	.232814	21.6346
	.9889	.0032	1.73869E+11	.315972	4.61101E+17
** SFLIMES Mittel **	Mittl. Flußdichte:		1.75259E+11 1/(cm ² *s)		
	Unsich. d. Mittels, +/- %:		16.34		
** SFLIMES Abweichung **	Mittl. Abw., ungewicht.:		.119704		
	Mittl. Abw., mit Wichtg.:		.132529		
	Mittl. Abw. a. W./Uns. d. M.:		.811067		

Die Zuordnung der Mittl. Flußdichte zum Angenomm. Spektrum erscheint a. STUDENTgrenze T= 2.92 entspr. 2 Frei.-Grad(en) noch gerechtfertigt, weil M. Abweichg. innerhalb des 90%-Vertrauensbereichs

Maxwell/Fermi-Flußdichteverhältnis

$\phi^{\text{MX}}/\phi^{\text{FE}}$ entsprechend Gl. (4.8) mit den Mittleren
Flußdichten in den Tabellen "Flußdichte- und Fluenz-
Werte" für das Dosimetrie-Testexperiment (E 57;
vgl. Abb. 11)

Position	Verhältnis
Nr.	$\phi^{\text{MX}}/\phi^{\text{FE}}$
2	0,17 ₆
9	0,21 ₅
18	0,20 ₀

5. EXPERIMENTSEITIGE KORREKTUREN

5.1. Zur Behandlung der Korrekturen und Unsicherheiten für die erhaltenen Neutronenflußdichten

Die in den Flußdichte- und Fluenz-Angaben zu berücksichtigenden Korrekturen und Unsicherheiten sind auf die Eingangsgrößen zu beziehen, die in den Definitionen in den Kapiteln 3 und 4 enthalten sind. Danach sind die "detektorseitigen" Unsicherheiten, d.h. diejenigen, die sich aufgrund der meßtechnischen Auswertung und der dabei erforderlichen Korrekturen ergeben, anschließend an die Reaktionsraten $R_i(\vec{r})$ aufgeführt in Tab. VII (Kap. 3) bzw. in Kap. 4: fürs Fermi-Spektrum in den Tabellen "Flußdichte- und Fluenz-Werte" und fürs Maxwell-Spektrum in den Tabellen "Maxwell-Faktor".

Im Unterschied zu jenen detektorseitigen beschäftigten wir uns weiterhin mit den "experimentseitigen" Korrekturen und Unsicherheiten, die im Zusammenhang mit der Bestrahlung der Materialproben und dem Einsatz der Neutronendetektoren auftreten. Dabei unterscheiden wir zwischen zeit-, spektrums- und ortsbedingten Korrekturen und Unsicherheiten. Zeitbedingte Korrekturen entstehen dadurch, daß die Meßaktivitäten A_{io} und die Bestrahlungsgeschichte-Korrekturen h_i bzw. h_p der Detektoren unter Umständen infolge zeitabhängiger Änderungen der Neutronenflußdichte am Detektorort $\vec{r}$ schwanken können. Dabei sollen die geringen Schwankungen der integralen Reaktorleistung um ihren (in h_i bzw. h_p allein berücksichtigten) Sollwert P unberücksichtigt bleiben. Und zwar deshalb, weil wir die über die Detektor-Reaktionsraten erhaltenen zeitlich gemittelten Neutronen-Flußdichten oder -Fluenzen als tatsächliche und nicht als leistungsbezogene Meßgrößen bestimmen. Es können jedoch - bezogen auf die Leistungs-Sollwerte P - Schwankungen in der lokalen Flußdichte auftreten, aus folgenden Ursachen:

- grundsätzlich infolge stattgefundenen Wechsel in der Reaktorbeladung (mit Brennelementen oder anderen Einbauten),
- speziell bei den FKS-Bestrahlungen: wegen stattgefundenen Drehung einzelner Kapseln im Lauf der Bestrahlungszeit, vgl. Tab. II (Kap. 3).

Mögliche Auswirkungen der ersteren Ursache auf die Bestrahlungsgeschichte-Korrektur h_i bzw. h_p werden in Abschnitt 5.2.1 untersucht, tatsächliche - und in h_i bzw. h_p bereits berücksichtigte - Auswirkungen der letzteren Ursache werden in Abschnitt 5.2.2 formuliert.

Neutronenspektrumsbedingte Korrekturen mit ihren Unsicherheiten werden nur für das Spektrum schneller Neutronen ermittelt, und zwar für das FKS-Dosimetrie-Testexperiment (E 57) in /6/ unter Bezugnahme auf das Referenzspektrum (in der sog. "c"-Position, d.i. Nr. 10 in E 57). Analog zu dem dort beschriebenen Vorgehen soll hier geprüft werden, ob in den FKS-Originalmaterial-Bestrahlungen signifikante Variationen des Neutronenspektrums gegenüber jedem Referenzspektrum vorgelegen haben. Die Beschreibung des (insbesondere den Original-Bestrahlungen zugehörigen) Prüfverfahrens wird in Abschnitt 5.3.1, die seiner Anwendung in 5.3.2 gegeben.

Die nach dem Doppelspektralindex-Verfahren /6/ erhaltenen und in Abschnitt 5.3.2 bzw. Tab. V-1 bis 5 (Kap. 5) angegebenen Korrekturen und Unsicherheiten können sich nur auf eventuelle Variationen gegenüber dem Referenzspektrum beziehen. Zur Unsicherheit des Referenzspektrums (s. Abschnitt 3.2) ist zu sagen, daß für dessen Eingangsnäherung keine Unsicherheitsangaben vorliegen; deshalb wurde von der Entfaltung jeder Eingangs-Gruppenflußdichte ± 10 % Standardabweichung zugeteilt. Für die Reproduktion der Reaktionsraten nach Entfaltung ergab sich $\pm 3,249$ % mittlere Abweichung, vgl. Tab. IV (Kap. 3). Als grober Schätzwert für die untere Grenze der Unsicherheit der Flußdichte im Referenzspektrum $\phi_i(>1\text{MeV})$ könnte der Mittelwert der in Tab. VII-1 (Kap. 3) mitgeteilten Unsicherheitsangaben zu den dortigen Spaltspektrumäquivalenten Flußdichten $\phi_i(>1\text{MeV})$ dienen. Diese Unsicherheitsangaben sind zwar in ihrem detektorseitigen Anteil korrekt, können in ihrem spektralbedingten Anteil jedoch nur eine untere Begrenzung darstellen, da sie auf das Spaltspektrum als ein nahezu ideal gut bekanntes Spektrum bezogen sind.

Ortsbedingte Korrekturen und Unsicherheiten können auftreten, falls eine Bestrahlungsposition oder ein räumlicher Mittelwert mehrerer solcher nur mit Einschränkungen einem (oder mehreren Detektor(en)) zugeschrieben werden kann. Die Übertragung von Meßpunkten auf ausgedehnte Gebilde - wie das Aufsuchen von "Repräsentativ-Orten" für Stahlbestrah-

lungs-Großproben - und damit die Ermittlung von Neutronenfluenzen oder Schädigungsanzahlen, die jenen Gebilden zuzuordnen sind, ist in anderem Zusammenhang zu betrachten. Deshalb soll hier die Behandlung ortsbedingter Korrekturen und Unsicherheiten unterbleiben.

5.2. Untersuchung des Einflusses zeitlich veränderlicher Flußdichten während der Bestrahlung

5.2.1. Mögliche Korrekturen bei festem Bestrahlungsort

Im Laufe einer Langzeitbestrahlung, z.B. in Kernreaktoren, ist mit zeitlichen Schwankungen der Flußdichte am Bestrahlungsort zu rechnen. Durch solche Schwankungen können Fehler in der Bestrahlungsgeschichte-Korrektur h für die eingesetzten radiometrischen Detektoren verursacht werden; denn eine solche Korrektur h basiert in der Regel auf der Annahme der zeitlichen Konstanz der ortsabhängigen Flußdichte, bezogen auf die in h eingesetzten Relativwerte f_i der integralen Reaktorleistung in den Bestrahlungszeitintervallen i (s. z.B. /18, 19/). Treten solche Fehler in merklicher Größe auf, so ist die Korrektur h mit einem Adjustierfaktor $1+\delta h$ zu multiplizieren; dafür findet man Beispiele von einer Test-SWR-Bestrahlung mit Anwendung geläufiger radiometrischer Detektoren mit δh -Werten bis hinauf zu 20 % /41/.

Vor Ermittlung des Adjustierfaktors ist zuerst zweierlei zu untersuchen:

- 1) die Möglichkeit des Auftretens solcher Schwankungen überhaupt sowie
- 2) deren Auswirkung auf das Ansprechen der einzelnen radiometrischen Detektoren.

Wir beginnen mit Untersuchung 2). Kurz-, mittel- und langlebige Detektor-Aktivitäten zeigen bekanntlich bei einer unterbrochenen Bestrahlung unterschiedliche Verläufe ihrer relativen Aktivität $A(t)/A_0$, wobei A die momentane Aktivität zur Zeit t und A_0 die Aktivierung oder Sättigungsaktivität darstellt. Ein sehr langlebiges Radionuklid hat ein sehr langes "Gedächtnis", es registriert nahezu alle merklichen Flußdichteschwankungen seit Bestrahlungsbeginn. Weil die Bestrahlungsgeschichte-Korrektur h für langlebige Strahler aber in jedem Fall nur wenig von Eins

abweicht, könne lokale Flußdichteschwankungen auch nur entsprechend kleine Abweichungen in h hervorrufen und sollen hier nicht weiter betrachtet werden. Ein sehr kurzlebige Radionuklid erreicht dagegen rasch seine Sättigungsaktivität, d.h. Gleichgewicht in der Anzahl seiner Atomkerne, die im Detektor in der Zeiteinheit entstehen und wieder zerfallen. Wegen des raschen Austauschs an radioaktiven Atomkernen - und damit des "Gedächtnisses" des Detektors - kann sich letzteres nur auf einen kleinen Bruchteil der Bestrahlungszeit konzentrieren, in dem zufällige Ereignisse stattgefunden haben könnten. Deshalb brauchen sehr kurzlebige Detektoren hier ebenfalls nicht betrachtet zu werden - abgesehen davon, daß ihre Anwendung sinnlos ist bei solchen Bestrahlungsexperimenten, nach deren zeitaufwendigem Ausbau sehr kurzlebige Meßaktivitäten schon abgeklungen wären.

Wir haben uns hier also vorzugsweise mit mittellebigen Meßaktivitäten zu befassen. Um dazu eine quantifizierte Abschätzung zu erhalten, wollen wir eine "Detektor-Gedächtnis-Stichprobe" formulieren, ausgehend von der Frage:

Welcher Zeitraum innerhalb der (gesamten, kumulierten) Bestrahlungszeit t_I ist voraussichtlich als maßgebend anzusehen für das Entstehen der nach Bestrahlungsende gemessenen Aktivität $A(t)$?

Wir wollen diese Frage in zwei Teilfragen aufspalten:

- I. Wie weit liegt für jedes $A(t)$ der mittlere Zeitpunkt $\bar{t}_{act}$ der Aktivierung zurück?
- II. Wie groß ist eine Zeitspanne $\pm \Delta t$ um $\bar{t}_{act}$ anzunehmen, so daß man sagen kann: die Aktivierung resultiert überwiegend aus dem Zeitraum $\bar{t}_{act} \pm \Delta t$, wobei also Beiträge aus den Zeitintervallen
 $< \bar{t}_{act} - \Delta t$
 t für die Aktivierung als weniger wichtig angesehen werden
 $> \bar{t}_{act} + \Delta t$
können?

Zur Abschätzung des mittleren Zeitpunktes $\bar{t}_{act}$ mitteln wir über die Aktivität

$$\bar{t}_{\text{act}} = \frac{\int_0^{t_I} A(t) dt}{\int_0^{t_I} A(t) dt} = \frac{1}{\lambda} - t_I \frac{e^{-\lambda t_I}}{1 - e^{-\lambda t_I}}. \quad (5.1)$$

Das Maximum für $\bar{t}_{\text{act}}$ erreichen wir mit $\lambda t \ll 1$, d.h. mit minimaler Zerfallskonstante λ , was nach dem oben Gesagten jedoch auf minimale h-Adjustierung führen würde. Die stärkste h-Adjustierung ist zu erwarten für diejenige Reaktion, deren Meßaktivität nach Experimentausbau noch nicht abgeklungen, die bei Langzeitbestrahlung (von etwa einem Jahr) jedoch schon als kurzlebig anzusehen ist, wie z.B. Fe-58 (n, γ) Fe-59. Für kurzlebige Aktivitäten vereinfacht sich Gl. (5.1) zu

$$\bar{t}_{\text{act}} \approx \frac{1}{\lambda} \quad \text{für} \quad \lambda t_I \gg 1, \quad (5.2)$$

und als repräsentative Zeitspanne $\pm \Delta t$ um den Zeitpunkt $\bar{t}_{\text{act}}$ schätzen wir

$$\pm \Delta t \approx \frac{1}{2\lambda}. \quad (5.3)$$

Wir nehmen also eine "Gedächtnis-Stichprobe τ_s " bezogen auf die Aktivierung unseres Muster-Detektors Fe-59 (n, γ), die entsprechenden Gleichungen (5.2,3) betragen

$$\begin{aligned} \tau_s &= (1 - e^{-\lambda \bar{t}_{\text{act}}}) e^{-(\bar{t}_{\text{act}} \pm \Delta t)} \\ &\approx (1 - e^{-1}) e^{-1 \pm \frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (5.4)$$

wobei für die Fe-59-Aktivität in Zahlen

$$\pm \Delta t \approx \pm 32 \text{ d}, \quad (5.5)$$

d.i. ungefähr eine Reaktorbetriebsperiode, ausmacht.

Nach Feststellung eines solchen Stichproben-Zeitraums gehen wir an die oben geforderte Untersuchung 1), d.h. des Auftretens von Flußdichteschwankungen. Als mögliche Ursachen kommen Schwankungen in der Beladung von Brennelementen oder von anderen Reaktoreinbauten infrage, soweit

sie die Flußdichte schneller Neutronen unmittelbar beeinflussen können: wir schließen also z.B. Änderungen in der Lage der Reaktor-Steuerelemente hier aus.

Änderungen an Reaktoreinbauten, die die Flußdichte schneller Neutronen beeinflußt haben könnten, haben mit Ausnahme des Brennelement-Wechsels nach Auskunft des Reaktorbetriebs (KFA-Abteilung ZFR) während der Zeit der hier betrachteten FKS-Bestrahlungen keine stattgefunden; bezüglich des erfolgten Brennelementwechsels wurden an Hand der Reaktorbetriebs-Unterlagen /42/ je zwei Reaktorbetriebsperioden in jenem Zeitraum unter folgenden Bedingungen miteinander verglichen:

- mit mittlerem Abbrandzustand für alle Brennelemente,
- alle Brennelemente frisch,
- alle Brennelemente mit maximal zulässigem Abbrand.

Da die letzten zwei Bedingungen komplementär sind, kann man eine außer acht lassen und die aus den restlichen beiden erhaltene h-Schwankung mit doppeltem Vorzeichen versehen annehmen. Nach /42/ ergab sich folgendes:

Im Mittel wurden im FRJ-1, dessen Gitterschema während der FKS-Bestrahlungen in Abb. 2 angegeben ist, in je zwei Perioden angenähert eines der zehn Brennelemente in der G- und H-Reihe zusammen ersetzt; Brennelementersatz in diesen Reihen muß sich am stärksten auf die benachbarte Bestrahlungsposition der FKS-Kapsel CK 120 auswirken.

Ausgehend von diesem Befund an aufgetretenen Änderungen im Reaktorbeladungszustand wollen wir folgende Modell-Bestrahlungsgeschichte annehmen, die die zwei nach dem oben Gesagten zu vergleichenden Fälle enthält:

1. Im Mittel haben alle Brennelemente gleichen (d.h. mittleren) Abbrand.
2. wie unter 1. mit einer Ausnahme:
In der n ä c h s t benachbarten Reihe zu einer FKS-Kapsel (z.B. H-Reihe zu E53/CK120) wird in der M i t t e l - Position (also der CK am n ä c h s t e n) zu jeder Periode ein Brenn-

element durch ein frisches ersetzt und b l e i b t f r i s c h über die betreffende Periode.

3. Umladungen abgebrannter Brennelemente in andere Reihen oder Positionen, wie sie häufig stattfinden, bleiben unberücksichtigt. Alle Brennelemente werden nach ihrer ersten ("frischen") Periode als "im mittleren Abbrandzustand" betrachtet. Zum Ausgleich dafür werden die g e s p e r r t e n Vereinfachungen in 2. angenommen, die sämtlich in Richtung auf stärkere Berücksichtigung des Brennelementersatzes wirken.
4. Zur Bestimmung der Differenz der Korrekturen h für die beiden Fälle 1. und 2. wird die Formel für h (Gleichung "12" in /18/) in vereinfachter Form, nämlich für nur zwei Bestrahlungsintervalle angewendet: eines enthaltend die o.g. Gedächtnis-Stichprobe und ein benachbartes ohne Detektoreinsatz.
5. Das in der Formel für h vorkommende Reaktorleistungsverhältnis wird hier ausgedrückt als relative lokale Flußdichte, und zwar
 - für den Fall 1. (s.o.): $f^{(1)} = 1$,
 - für den Fall 2.: $f^{(2)} = 1 + K_{\phi}$. (5.6)
 Zur Bestimmung der Adjustierungsgröße K_{ϕ} s.u. Gl. (5.11).
6. Die so gefundene relative Differenz soll als die maximale angenommen werden:

$$\frac{|h^{(2)} - h^{(1)}|}{h^{(1)}} = \text{Max } \delta h, \quad (5.7)$$

woraus die mittlere relative Differenz δh entsprechend /26/ abzuschätzen ist:

$$\overline{\delta h} = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{Max } \delta h \quad (5.8)$$

7. Für Fe-59 als unser Muster-Meßnuklid betrachten wir je für $f^{(1)}$ und $f^{(2)}$ nach Gleichung (5.6) Bestrahlungsintervalle von der Länge einer (+/-)-Stichprobe $2\Delta t = 1/\lambda$, die nach (5.5) etwa einer doppelten Reaktorperiodenlänge entspricht.

Um gemäß Bedingung 5. dieser Modell-Bestrahlungsgeschichte die Flußdichte-Adjustierung K_ϕ abzuschätzen, übernehmen wir Ergebnisse einer Korrelationsstudie /43/ zwischen der lokalen Flußdichte schneller Neutronen und der Brennstoffmasse in der Umgebung. Dazu nehmen wir an, daß die Ergebnisse jener auf den Schwerwasserreaktor FRJ-2 bezogenen Studie /43/ sich auf den FRJ-1 und dessen ebene Platten-Brennelemente (BE) übertragen lassen. Entsprechend unserer Modell-Bestrahlungsgeschichte setzen wir also folgende Zahlenwerte ein:

Tab. 5.2.1

Änderung	vom frischen BE	zum stärkst abgebrannten BE
des Abbrandzustands	0	46,0 %
des U-235-Gehalts	140	75,6 g
der $\phi_{Ni}(>1\text{MeV}, \vec{r})$ in Rand-BE Position	3,24 x	$2,7 \times 10^{13} \text{ 1/cm}^2\text{s}$

Die im FRJ-2 gemessenen Absolutwerte der (mit $\phi_{Ni}(1 \text{ MeV})$ bezeichneten) spaltspektrumäquivalenten Nickel-Flußdichte oberhalb 1 MeV in der Meßposition $\vec{r}$ interessieren hier nicht, wohl aber deren Relativ-Differenz (nach Tab. 5.2):

$$\frac{\Delta\phi}{\phi_0} = \frac{\phi_{\max} - \phi_{\min}}{\phi_{\text{mitt}}} \approx 0,10 \quad (5.9)$$

Wenn alle Brennelemente (BE in Tab. 5.2) isoliert dieselbe Flußdichte erzeugen, dann ergibt sich bei strahlenartiger Neutronen-Ausbreitung in einem Aufpunkt $x = x_0$ als Flußdichte $\phi(x_0)$ (zur Definition der x-Koordinate s. Abb. 4):

$$\phi(x_0) = \phi_0 \sum_{k,1} \left[1 / [x_0 + m_k x]^2 + (n_1 x)^2 \right] \quad (5.10)$$

Dabei setzen wir die Brennelementbelegung entsprechend Kap. 2 bzw. Abb. 8 voraus, mit: $0 \leq m_k \leq 6$ horizontalen und $-2 \leq n_1 \leq +2$ vertikalen Gitterzellen und mit $x = 76 \text{ mm}$ als einheitlichem Gitterzellenabstand. Der Aufpunkt wird mit Abstand $x_0 = 187,8 \text{ mm}$ vom nächsten Rand-Brennelement (mit $m_k = n_1 = 0$) in der Mitte einer FKS-Kapsel an der Gitter-Schmalseite

angenommen (vgl. Kap. 2). Der Flußdichtewert ϕ_0 entspreche dem mittleren Abbrandzustand gemäß Bedingung 1. Danach erhält man für die Abweichung der Bedingung 2. gegenüber dem mittleren Abbrandzustand folgende relative Flußdichte-Adjustierung:

$$K_{\phi} = \frac{\Delta\phi}{\phi_0} = \frac{1 / [(x_0 + mx)^2 + (nx)^2]}{\sum_{k,1} [1 / [(x_0 + m_k x)^2 + (n_k x)^2]]} \quad (5.11)$$

Der stärkste Korrektioneffekt wird natürlich in der nächstgelegenen Position (d.h. mit $m=n=0$) erreicht; für die Gleichung (5.6) ergibt sich als Zahlenwert im Aufpunkt x_0 und bis zu den Grenzen $x_p = \pm 50$ mm der Stahlprobe:

$$K_{\phi}(m=n=0, x=x_0+x_p) = 0,012^{+0,003}_{-0,002} \quad (5.12)$$

Erst wenn der Aufpunkt x_0 in unmittelbare Nähe des Cores rücken und erst recht wenn zusätzlich noch mehrere Brennelemente gleichzeitig und alle in nächster Aufpunktnähe ersetzt würden, stiege $|K_{\phi}|$ erheblich - auf über 5 % - an.

Ausgehend von der Flußdichte-Adjustierung K_{ϕ} nach Gleichung (5.12) wurde als zweiter Schritt die Bestrahlungsgeschichte-Korrektions-Adjustierung δh berechnet, unter denselben Bedingungen 1. bis 7. der Modell-Bestrahlungsgeschichte, für folgende zwei Fälle I und II:

Tab. 5.2.II

Zeitliche Reihenfolge	Bestrahlungs- Intervall-Länge		Anschl. Abstand bis Bestrahlende		Relative lokale Flußdichte*	
	I	II	I	II	I	II
1	$1/2\lambda$	$1/2\lambda$	$3/2\lambda$	$3/2\lambda$	1	1
2	$1/\lambda$	$1/2\lambda$	$1/2\lambda$	$1/\lambda$	$1+K_{\phi}$	1
3	$1/2\lambda$	$1/\lambda$	0	0	1	$1+K_{\phi}$

* mit $K_{\phi} \neq 0$

Es ergab sich als Bestrahlungsgeschichte-Korrektions-Adjustierung entsprechend Gleichung (5.8):

$$\delta h = \begin{array}{ll} 0,0039 & \text{für Fall I,} \\ 0,0016 & \text{für Fall II} \end{array} \quad (5.13)$$

Wegen ihrer Kleinheit soll diese gefundene Adjustierung nicht weiter berücksichtigt werden.

5.2.2. Korrekturen und Unsicherheiten bei stattgefundenem Bestrahlungs- ortwechsel (wegen Kapseldrehung)

Bei den FKS-Langzeit-Original-Bestrahlungen wurde jeweils ungefähr in der Mitte der Bestrahlungszeit die Kapsel um 180° gedreht, um den Kapselinhalt einer möglichst gleichmäßigen Neutronenfluenz auszusetzen. Von den Kapseln mit Spektralpositionen betraf dies die Nummern E 51, 53, 54 und 55, deren Bestrahlungsgeschichten in Tab. II (Kap. 3) mitgeteilt sind, vgl. auch die Bestrahlungsberichte /7-15/. Bei den weiteren FKS-Langzeitbestrahlungen mit stattgefundener Kapseldrehung, jedoch ohne Spektralpositionen, wurde analog wie anschließend geschildert vorgegangen.

In der Bestrahlungsgeschichte-Korrektur h treten Gewichtungsfaktoren f auf, die für jedes Bestrahlungszeitintervall die auf den Detektor treffende relative Flußdichte repräsentieren sollen (vgl. Abschn. 5.2.1). Diese Gewichtungsfaktoren werden in der Regel der integralen Reaktorleistung proportional vorausgesetzt. Diese Annahme ist jedenfalls unzulässig für solche Detektorpositionen, deren Koordinaten (in unserem Fall: deren x -Abstände - vgl. Abb. 4 - infolge Kapseldrehung) sich im Lauf der Bestrahlung ändern.

Im folgenden wird unsere Abschätzung für die jeweils korrigierten Gewichtungsfaktoren f mitgeteilt, die infolge von Kapseldrehungen in h^* einzusetzen sind. Da h^* nur schwach mit f variiert, erscheinen vereinfachende Annahmen, wie sie anschließend für die sonst übermäßig aufwendige f -Kor-

h^* bedeutet die Bestrahlungsgeschichte-Korrektur

rektur mitgeteilt werden, in ziemlich weitem Rahmen statthaft. Daran anschließend wird eine ebenfalls vereinfachende Abschätzung für die Unsicherheit zu h^* angegeben, besonders inwieweit sie aus der f-Korrektur und -Unsicherheit resultiert.

Die vorgesehenen Vereinfachungen beinhalten:

1. in zeitabhängiger Hinsicht: in jedem der getrennten Bestrahlungszeitintervalle wird die lokale Flußdichte konstant und der mittleren integralen Reaktorleistung proportional vorausgesetzt; eine Änderung der Flußdichte wird also nur einmal im Laufe der Bestrahlung angenommen, nämlich während der in Tab. II (Kap. 3) mit "Kapseldrehung" gekennzeichneten Unterbrechung.
2. in ortsabhängiger Hinsicht: die Flußdichte-Schwächung im Stahl wird als ebenes Problem (in x-Richtung) vorausgesetzt. Der ortsabhängige Schwächungsverlauf wird gemäß Abb. 13 einer Exponentialfunktion folgend angenommen.
3. in spektraler Hinsicht: Wir gehen von der Schwächung der Neutronenflußdichte $\phi(E > 1 \text{ MeV}, x)$ in Stahl gemäß /30/ aus, die mit der Schwächung der im Vorversuch /16/ gemessenen Ni-58-(n,p)-Reaktionsraten $R_{\text{Ni}}(x)$ befriedigend übereinstimmt (Abb. 13). Im übrigen würde eine Ersetzung von $R_{\text{Ni}}(x)$ durch die Flußdichte oberhalb der Energie-Untergrenze E_L für ein Neutronenspektrum M im Meßort $\vec{r}$, gemessen mit einer Referenz-Reaktion ir und ausgedrückt als Quotient aus Reaktionsrate R und über das Spektrum gemitteltem Wirkungsquerschnitt σ^M (vgl. Kap. 3):

$$\phi^M(E_L, \vec{r}) = \frac{R_{ir}(\vec{r})}{\sigma_{ir}^M(E_L)} \quad (5.14)$$

keine wesentliche Genauigkeitserhöhung für die Abschätzung der Schwächung und deren Unsicherheit liefern. Analog erwarten wir im Rahmen dieser Näherung auch für die Reaktionsraten $R_i(x)$ der übrigen in den Spektralpositionen benutzten Meßreaktionen keinen abweichenden Schwächungsverlauf.

Mit den eben genannten Vereinfachungen 1. bis 3. ergibt sich nach Abb. 13 als Schwächung der Flußdichte schneller Neutronen in einer Stahlschicht der Dicke x :

$$\phi(x) = \phi(0)e^{-\mu x}, \quad \mu \approx 0,19 \pm 0,07 \text{ cm}^{-1} \quad (5.15)$$

Während der für die FKS-Standard-Bestrahlungen ebenso wie für die FKS-Prototyp-Bestrahlung ab 13.08.80 nur noch Stahl-Absorberschilde verwendet wurden, war die Prototyp-Kapsel vor diesem Datum mit einem Absorber versehen, der aus einem mit Blei gefüllten Aluminiumkasten bestand /9/. So ergaben sich - einzig für die Prototypbestrahlung - vor und nach Kapseldrehung unterschiedliche Flußdichten ϕ bei Eintritt ($x = 0$) in die Kapsel, die wie folgt abgeschätzt wurden:

$$f_N^{\phi 1}(>1\text{MeV}, x=0) = \begin{matrix} 6,3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} & \text{hinter Pb-Absorber} \\ 4,3 \times 10^{12} \text{ s}^{-1} & \text{hinter Fe-Absorber} \end{matrix} \quad (5.16)$$

Bei der Abschätzung mit Schwächung analog Gleichung (5.15) wurden folgende Relaxationslängen $\lambda_d = 1/\mu$ für schnelle Neutronen benutzt /39/:

Tab. 5.2 III

λ_d/cm	in Material
10	Wasser (H_2O)
10	Aluminium
5-6	Eisen
9	Blei

Mit den Gleichungen (5.15, 16) erhält man die Gewichtungsfaktoren $f(x)$ in h^* , die in den Tabellen I-1 bis 3 (Kap. 3) zusammengestellt sind. Dabei wurden der Einfachheit halber nur drei x -Abstände für die Detektoren vorausgesetzt: neben den beiden Randpositionen die Mittelposition $x = \bar{x}$ der Kapsel, in der alle nicht in den Randpositionen angebrachten Detektoren gedacht wurden.

Zur Abschätzung der Unsicherheiten $\pm \Delta f/f$ zu den Faktoren f in h^* gehen wir wieder von den Vereinfachungen 1. bis 3. aus. Mit folgenden Beiträgen zur Unsicherheit ist zu rechnen:

h^* = Bestrahlungsgeschichte-Korrektion

- a: für die Bestimmung des Schwächungskoeffizienten μ , s. Gl. (5.15);
- b: für die technische Einhaltung der vorausgesetzten Detektorposition x , der der Gewichtungsfaktor $f(x)$ zugeordnet ist; angenommen sei eine mittlere Schwankung von ± 1 mm;
- c: für die unter Umständen zusätzliche physikalische Abweichung eines Detektors von der vorausgesetzten Position x ; damit ist zu rechnen, falls der betreffende Detektor:
 - c_1 : entweder zwischen Mitte und Rand in x -Richtung angebracht war, $f(x)$ wie oben gesagt aber stets für die Mitte bestimmt wurde (also systematischer Fehler in x),
oder:
 - c_2 : einem Detektorpaket angehört hat, in dem die Lage der einzelnen Detektoren nicht identifiziert war, sondern innerhalb der (Detektorpaket- oder Stringer-)Länge l schwankt.

Mit den aus diesem Beiträgen zusammengesetzten $\Delta f/f$ -Werten wurden die Unsicherheiten $\Delta h/h^*$ abgeschätzt. Dabei wird entsprechend Abschnitt 5.2.1 unabhängig von individuellen Bestrahlungszeiten und Detektoren verfahren durch Entnahme einer "Gedächtnis-Stichprobe" für die Meßreaktionen. Die Ergebnisse sind in Tab. I-1 bis 3 (Kap. 3) als Code-Buchstaben mit folgender Bedeutung eingetragen:

- A: für eine feste x -Position, herrührend hauptsächlich von Beitrag a, daneben von Beitrag b. Annahme statistischer Verteilung dieser Beiträge würde sich im Zähler und Nenner in h^* herausheben; es sei jedoch ein mittlerer systematischer Fehler in μx angenommen, was zu folgendem Ergebnis führt:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm 4\% , \quad \frac{\Delta h}{h} = \pm 1,1\% \quad (5.17)$$

- B: für eine bekannte Detektorposition zwischen Mitte und Rand der Kapsel (entsprechender Beitrag c_1). Der in $f(x)$ eingehende systematische Fehler in x , das hier immer für die Mitte x vorausgesetzt wird, bewirkt im Fall B(C) vor der Kapseldrehung zu große (kleine), danach zu kleine (große) angenommene x .

Die folgenden Ergebnisse sind dementsprechend mit umgekehrtem und unterschiedlichem Vorzeichen vor und nach der Drehung zu korrigieren:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm 14\%, \quad \frac{\Delta h}{h} = \pm 6\% \quad (5.18)$$

vor/nach Kapseldrehung.

Die neben diesem systematischen Fehler zu berücksichtigenden Unsicherheitsbeiträge gemäß a. und b. oben machen sich erst in der dritten Dezimale bemerkbar.

C. wie B., entsprechend der dortigen Diskussion mit umgekehrtem Vorzeichen:

$$\frac{\Delta f}{f} = \mp 14\%, \quad \frac{\Delta h}{h} = \mp 6\% \quad (5.19)$$

vor/nach Kapseldrehung.

D. für eine unbekannte Detektorposition innerhalb eines Stringers, d.h. entsprechend Unsicherheitsbeitrag c_2 oben für

$$\bar{x} - \frac{1}{2} \leq x \leq \bar{x} + \frac{1}{2},$$

mit dem Ergebnis:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm 21\%, \quad \frac{\Delta h}{h} = \pm 9\% \quad (5.20)$$

Auch hier sind die Beiträge a. und b. von untergeordneter Bedeutung.

Die nach der hier skizzierten Näherung abgeschätzten korrigierten $f(x)$ - und $\Delta f/f$ -Werte in Tab. I-1 bis 3 (Kap. 5) verlaufen natürlich viel steiler als die $F(x)$ -Werte in Tab. IV-1 bis 5 (Kapitel 5), weil letztere als Meßergebnisse nach der Bestrahlung mit stattgefundenener Kapseldrehung ausgeglichen sind; vgl. hierzu "Abb. 12" mit dem danach ausgeglichenen Verlauf in "Abb. 16" in /16/.

5.3. Prüfung der Variation des Spektrums schneller Neutronen gegenüber einer Referenzposition

5.3.1. Anmerkungen zum Prüfverfahren

Es soll das Verfahren benutzt werden, das in /6/ beschrieben und für das Dosimetrie-Testexperiment angewendet wurde. Abweichend von dort liegen hier - bei Anwendung auf die FKS-Originalmaterialbestrahlungen - wesentlich weniger benutzte Meßreaktionen vor, was zweierlei Auswirkungen auf das anzuwendende Verfahren hat:

Erstens wird in geringfügiger Abweichung gegenüber /6/ zwischen den beiden statistischen Risiko-Hypothesen der I. und II. Art eine **k o n s t a n t e** Trennschranke eingeführt, die einem festen STUDENT-T-Wert entspricht. Mit variabler bzw. wachsender Anzahl der Freiheitsgrade, die hier wieder $\geq n-2$ zu setzen ist (n ist die Anzahl der erfolgreich eingesetzten Meßreaktionen), erhalten wir dann unterschiedliche bzw. abnehmende Rest-Risiken gemäß der STUDENT-Verteilung /44/; vgl. Abb. 14.

Zweitens müssen unterschiedlichen Anzahlen n der benutzten Reaktionen verschiedene Informationen über die Flußdichte:

$$\phi = \phi(E_A^{(n)}, E_B^{(n)}, \vec{r}) = \int_{E_A^{(n)}}^{E_B^{(n)}} \phi_E(E, \vec{r}) dE \quad (5.21)$$

zuzuordnen sein, die über die Spektralbereiche $E_A^n \dots E_B^n$ integriert sind. Die Anzahl $n-1$ der Reaktionen ohne die Referenzreaktion (d.i. Fe-54(n,p) wie bisher) ist hier veränderlich: $2 \leq n-1 \leq N-1$. Mit N wird die Gesamtanzahl der brauchbaren Reaktionen in der Meßposition $\vec{r}$ bezeichnet. Unser Verfahren sucht nun die Schwankung des Referenzdetektor-Wirkungsquerschnitts $\delta\sigma_{Fe}$ in $\vec{r}$ gegenüber der Referenzposition $\vec{r}_c$ zu bestimmen: Welchen Neutronenenergiebereichen E_A, E_B hat man eine nach Messung mit n Reaktionen gefundene Schwankung $\delta\sigma_{Fe}$ zuzuordnen? Dabei gestattet die Näherung nach /6/ keine eindeutige Aussage über jene Energiebereiche, denn es beschränkt sich - vom Referenzspektrum abgesehen - auf die energieintegralen Meßwerte, die von den Detektoren als Eingabedaten geliefert werden. Weil nun das Ergebnis unseres Verfahrens unter Anwendung einer Wahrscheinlichkeitsüberlegung gewonnen wird, so wird man die den Reaktionen n

zuzuordnenden $E^{(n)}$ -Bereiche ebenfalls nur mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung zu finden haben. Dazu erscheint das anschließend beschriebene Vorgehen plausibel:

- I. Die zur $\delta\sigma_{Fe}$ -Ermittlung heranzuziehenden Meßreaktionen $j = 1, \dots, n-1$ (d.h. jeweils mit Ausnahme der Fe-54(n,p)-Reaktion) werden nach ihren EAB* geordnet und zwar so, daß:
 - für die e r s t e $\delta\sigma_{Fe}$ -Ermittlung die beiden Reaktionen mit den höchstgelegenen EAB* genommen werden ($n-1 \geq 2$ Reaktionen verlangt der Signifikanztest);
 - für jede weitere $\delta\sigma_{Fe}$ -Ermittlung eine Reaktion hinzukommt mit sukzessive niedrigerem EAB*.
- II. Die Energieobergrenze wird dann für alle $\delta\sigma_{Fe}$ -Ermittlungen gleich, nämlich gegen $+\infty$ strebend angenommen, entsprechend dem sehr steilen Abfall der Reaktor-Neutronenflußdichte mit zunehmender Energie gegen das obere Ende der EAB* der verwendeten Meßreaktionen.
- III. Die Energieuntergrenze wird je nach den herangezogenen Reaktionen unterschiedlich, und zwar durch den jeweils niedrigsten EAB* bestimmt angenommen. Es wird also

$$E_L^{(n-1)} = \text{Min } E_L^{(j)} \text{ für } j=1, \dots, n-1 \quad (5.22)$$

als gemeinsame Untergrenze gewählt. Dazu wird die niedrigste unter den unteren Energieschranken $E_L^{(j)}$ des 60%-EAB im MTR nach /20/ für jede der $j=1, \dots, n-1$ Reaktion genommen.

Anschaulich läßt sich unser Vorgehen etwa so beschreiben:

Wir ordnen die (mit dem Doppelspektralindex gewonnenen) einzelnen Wirkungsquerschnittsschwankungen $\delta\sigma_j$ der Reaktionen j als Ordinatenwerte den 60%-EAB als Abschnitten auf der Energieachse als Abszisse zu. Im trivialen Fall: sämtliche $\delta\sigma_j = 0$ ergäbe sich auch $\delta\sigma_{Fe} = 0$, also keine Variation gegenüber dem Referenzspektrum. Sind die $\delta\sigma_j$ aber verschieden, dann sucht das Verfahren den Schwerpunkt der $\delta\sigma_j$ unter Einbeziehung eines "möglichst gut" passenden $\delta\sigma_{Fe}$ auf.

* (hier kurz für Energie-Ansprech-Bereiche)

Was bedeutet nun ein resultierendes $\delta\sigma_{\text{Fe}} > 0$ für ein vorliegendes Spektrum, das mit dem Referenzspektrum verglichen werden soll? Liegt für die zur $\delta\sigma_{\text{Fe}}$ -Ermittlung benutzten Reaktionen die gemeinsame Untergrenze $E_L^{(n-1)}$ noch oberhalb der Untergrenze $E_L^{(\text{Fe})}$ für die Fe-54(n,p)-Reaktion, dann bedeutet $\delta\sigma_{\text{Fe}} > (<) 0$: im betreffenden Spektrum gehen prozentual weniger (mehr) von den höherenergetischen Neutronen durch Streuung verloren als im Referenzspektrum. Im Fall $E_L^{(n-1)} < E_L^{(\text{Fe})}$ rührt dagegen $\delta\sigma_{\text{Fe}} > (<) 0$ weniger von der eben genannten Ursache aus dem Bereich höherenergetischer Neutronen als vielmehr davon her, daß Neutronen niedrigerer Energien im betreffenden Spektrum prozentual schwächer (stärker) vertreten sind als im Referenzspektrum.

Mit jener Plausibilitätszuordnung erhält man also bei Verwendung eines Satzes von im ganzen N-1 Meßreaktionen die Angabe der Flußdichte $\phi(E_L, \vec{r})$ für N-2 unterschiedliche Energie-Untergrenzen $E_L = E_L^{(2)}, \dots, E_L^{(N-1)}$. Diese Flußdichte ist definiert (in der Position $\vec{r}$) als:

$$\phi(E_L^{(n-1)}, \infty, \vec{r}) \equiv \phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}) = R_{\text{Fe}}(\vec{r}) / \sigma_{\text{Fe}}(E_L^{(n-1)}, \vec{r}) \quad (5.23)$$

Die uneigentliche obere Energiegrenze $+\infty$ statt E_B in Gleichung (5.21) wird weiterhin nicht mehr angegeben. In Gleichung (5.23) können folgende Definitionen benutzt werden (mit der Referenzposition $\vec{r}_c$):

$$\sigma_{\text{Fe}}(E_L^{(n-1)}, \vec{r}_c) = \frac{\sigma_{\text{Fe}}(E_L^{(n-1)}, \vec{r})}{1 + \delta\sigma_{\text{Fe}}(E_L^{(n-1)}, \vec{r})} = \frac{R_{\text{Fe}}(\vec{r}_c)}{\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}_c)} \quad (5.24)$$

wodurch man die zu ermittelnde Flußdichte durch lauter bekannte Größen ausgedrückt erhält:

$$\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}) = \frac{R_{\text{Fe}}(\vec{r})}{R_{\text{Fe}}(\vec{r}_c)} \cdot \frac{\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}_c)}{1 + \delta\sigma_{\text{Fe}}(E_L^{(n-1)}, \vec{r})} \quad (5.25)$$

Gleichung (5.25) erlaubt demnach grundsätzlich, integrale Flußdichten entsprechend Gleichung (5.21) anzugeben. Man erhält nämlich mit Hilfe

* EAB: Energie-Ansprech-Bereich

von Referenz-Flußdichten $\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}_c)$, die durch Rechnung oder Adjustierung bekannt seien, ferner mit gemessenen Reaktionsraten für die Referenz- $(\vec{r}_c)$ wie für die betreffende Spektralposition $(\vec{r})$ von $3 \leq n \leq N$ Meßreaktionen und schließlich durch die in der folgenden Reihenfolge angedeuteten Ermittlungen 1. ... N-2. der Schwankungen $\delta\sigma_{Fe}$ je

mit den Reaktionen $1 \leq j \leq n-1$:

die Flußdichten:

$$\begin{array}{ll}
 1. & j = 1, 2 = n-1 & \phi(E_L^{(2)}, E_L^{(3)}, \vec{r}) \\
 2. & j = 1, 2, 3 = n-1 & \phi(E_L^{(3)}, E_L^{(4)}, \vec{r}) \\
 3. & j = 1, 2, 3, 4 = n-1 & \\
 \dots & & \\
 N-3. & j = 1, 2, \dots, N-2 = n-1 & \phi(E_L^{(N-2)}, E_L^{(N-1)}, \vec{r}) \\
 N-2. & j = 1, 2, \dots, N-2, N-1 = n-1 &
 \end{array} \tag{5.26}$$

Allerdings stellt sich in der Praxis der Aussagewert der so gewonnenen Flußdichten $\phi(E_L^{(A)}, E_L^{(B)})$ häufig als nicht sehr brauchbar heraus, aus folgenden Gründen:

- Für die ersten Ermittlungen, also beginnend mit der niedrigsten Reaktionsanzahl $n-1$ und der höchsten E_L -Untergrenze, sind die absoluten Unsicherheiten $S_p \cdot \rho(S_p)$ zur gefundenen Spektrumsvariation noch so groß, daß eine erwiesene ("shown") Spektrumsvariation im allgemeinen nicht zu erwarten ist.
- Bei (noch) kleiner Anzahl verwendeter Reaktionen liegt auch eine geringere Statistische Sicherheit $P_{n-2}(T)$ vor für die konstant angenommene Trennschranke T zwischen den beiden vorausgesetzten Risiko-Hypothesen, vgl. Abb. 14.
- Schließlich muß nochmals auf die bloße Plausibilität für die angenommenen $E_L^{(n-1)}$ -Werte hingewiesen werden, eine Plausibilität, die wohl mit zunehmender Anzahl $n-1$ der verwendeten Meßreaktionen ebenfalls an Aussagekraft gewinnt.

5.3.2. Anwendung des Verfahrens und Diskussion der Ergebnisse

Zur Ermittlung der Spektrumsvariation nach dem in Abschnitt 5.3.1 angegebenen Verfahren müssen zuerst die Doppel-Spektral-Indizes D_j zusammengestellt werden; als Referenzposition wird wie in /6/ die Zentralposition (Nr. 10) vom FKS-Dosimetrie-Testexperiment (E 57) herangezogen.

Wegen des nur sehr knapp verfügbaren Raums in den Originalmaterial-Bestrahlungskapseln konnten dort nur Sätze mit wenigen Neutronen-Detektorreaktionen eingesetzt werden. Deshalb sollte möglichst jede erhaltene Information ausgenutzt werden. Demzufolge wurde für die Cu-63(n,α)-Detektoren, die zwar in den Langzeitbestrahlungen der Originalkapseln mit Erfolg eingesetzt waren, in der Kurzbestrahlung des Testexperiments jedoch keine brauchbaren Ergebnisse geliefert hatten, der Spektralindex I in der Referenzposition $\vec{r}_c$:

$$I_{Cu}(\vec{r}_c) = f\phi_{Cu}(\vec{r}_c) / f\phi_{Fe}(\vec{r}) \quad (5.27)$$

aushilfsweise zeichnerisch (aus Fig. 5 in /6/) ermittelt. Der Doppel-Spektral-Index D für die Meßposition $\vec{r}$ wurde damit analog /6/ wie folgt erhalten:

$$D_{Cu}(\vec{r}) = \frac{I_{Cu}(\vec{r})}{I_{Cu}(\vec{r}_c)} \quad (5.28)$$

Die Ergebnisse dieser Ermittlung nach (5.28) mit den dazu abgeschätzten Unsicherheiten sind für die Spektralpositionen der FKS-Langzeitbestrahlungen in Tab. II (Kap. 5) zusammengestellt. Die übrigen brauchbaren Doppelindizes D_j sind - ebenso ausgedrückt in $100 \times (D_j - 1) \%$ und für dieselben Positionen wie für Cu - in den Tabellen III-1 bis 5 (Kap. 5) aufgeführt. Dort sind auch die zugehörigen konstituierenden Reaktionsraten und die abgeschätzten Unsicherheitsbeiträge mitgeteilt.

Aus Platzmangel konnten ferner bei den FKS-Originalbestrahlungen die Detektor-Spektralkpakete nicht im selben Meßpunkt, sondern nur linienförmig längs der x-Achse (vgl. Abb. 3, 4, 5) verteilt angebracht werden. Zur Ermittlung der Flußdichtegradienten über diese Paketstringer wurden neben diesen weitere Stringer mit Fe-54(n,p)-Gradientensätzen angeordnet - außer für die Prototypbestrahlung E 51, bei der der Gradient aus der

Fe-54(n,p)-Meßwerteverteilung in der Meßebene des Spektralkpaketstringers zu erschließen war. Für einen Gradientenstringer mit Längenausdehnung $x_a \leq x \leq x_b$ und mit den Reaktionsratenergebnissen $R_{Fe}(x)$ findet man als Mittelwert der letzteren

$$\bar{R}_{Fe} = \int_{x_a}^{x_b} R_{Fe}(x) dx / (x_b - x_a) \quad (5.29)$$

und als mittlere Unsicherheit für eine unbekannte Position $x_a \leq x \leq x_b$:

$$\rho(R_{Fe}(x)) = \pm \frac{1}{x_b - x_a} \sqrt{\int_{x_a}^{x_b} [R_{Fe}(x) / \bar{R}_{Fe} - 1]^2 dx} \quad (5.30)$$

Aus den Ergebnissen nach Gleichung (5.30) - als "RHDP" - erhält man als unabhängige Unsicherheiten zusammen mit der mittleren Meß-Unsicherheit "RHGM" für den Gradientensatz und mit den aus den Tab. III-1 bis 5 (Kap. 5) übertragenen Unsicherheiten die "Resultierenden Unsicherheitsbeträge", die in den Tabellen IV-1 bis 5 (Kap. 5) aufgeführt sind. In den soeben geschilderten Verfahren steckt noch die Annahme, daß die Gradienten aller im Spektralkpaket enthaltenen Detektoren dem Fe-54(n,p)-Gradienten folgen. Das stimmt natürlich nicht; doch zeigt die Spektrumsvariationsprüfung in x-Richtung /6/, daß eine Berücksichtigung der Unkenntnis darüber, welche Meßreaktion in einem bestimmten x in $x_a \leq x \leq x_b$ angebracht ist, keine wesentlich veränderten Unsicherheitsangaben gegenüber denen liefern würde, die in den Tab. IV-1 bis 5 (Kap. 5) gemacht wurden. Außerdem sind insbesondere bei der Prototypbestrahlung E 51 die Abstände der Mitten der Gradienten-Detektoren im Verhältnis zu denen der Spektral-Detektoren in Wahrheit etwas kleiner als in den Tabellen IV-1 bis 5 (Kap. 5) angeführt. Eine Korrektur dafür würde jedoch die "Resulting Uncertainty" in diesen Tabellen um weniger als 1 % verändern und damit ohne merklichen Einfluß auf die Unsicherheit der Spektrums-Variations-Abschätzung bleiben.

Die Ergebnisse der Spektrums-Variations-Abschätzung, der Darstellung in /6/ und besonders Abschnitt 5.3.1 hier folgend, sind in den Tabellen V-1 bis 5 (Kap. 5) angegeben. Die viel kleinere Anzahl eingesetzter Meßreaktionen bei den Originalbestrahlungen führte zu wesentlich höhe-

ren Werten für die absolute Spektrumsvariationsunsicherheit $\pm S_p \cdot \rho(S_p)$ als beim Testexperiment /6/. So ergab sich im Rahmen unserer statistischen Prüfung nur in einem Fall - für Bestrahlung E 53 oberhalb $E = 2,7$ MeV Neutronenenergie - eine nachgewiesene Abweichung vom Referenzspektrum. Jedoch zeigen alle Ergebnisse der statistischen Prüfung infolge der geringeren Anzahl an Meßreaktionen hier auch noch merklich geringere Statistische Sicherheiten ("Significance Probability") als beim Testexperiment /6/.

Um die Flußdichten $\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r})$ in den Meßpositionen $\vec{r}$ entsprechend Gleichung (5.25) angeben zu können, benötigt man noch die Flußdichten $\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}_c)$ in der Referenzposition $\vec{r}_c$ oberhalb der Energie-Untergrenzen $E_L^{(n-1)}$. Diese Untergrenzen werden gemäß Abschnitt 5.3.1 den einzelnen Ermittlungen mit $3 \leq n \leq N$ Meßreaktionen zugeordnet. Die Flußdichten $\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r}_c)$ wurden ausgehend von Tab. V (Kap. 3) zeichnerisch ermittelt und in Tab. VI (Kap. 5) zusammengestellt unter Normierung auf den experimentellen Wert

$$\phi_{Fe}(1\text{MeV}, E57\text{-Nr. } 10) = 3,69791\text{E}+12 \text{ 1/cm}^2\text{s} \quad (5.31)$$

gemäß Gleichung (3.7); vgl. "Tab. VII-1" (Kap. 3).

Entsprechend ihrer Anordnung im Reaktor (vgl. Abb. 2) waren

für die Kapseln:	die Flußdichtewerte zu erwarten als:
E 53 und E 54	nicht beträchtlich verschieden,
E 55 und E 56	bis auf ihre Unsicherheiten gleich.

Zwischen der Prototypkapsel E 51 und den Kapseln E 55/56 war mit stärkerer Flußdichteabweichung zu rechnen, entsprechend der verschiedenen Positionierung des Spektralpakets und wegen des anfänglich anderen Absorberschilds (Blei statt Stahl /9/) bei E 51. Gefunden wurde nach Tab. V-1 bis 5 (Kap. 5):

mit $E_L^{(n-1)}/\text{MeV} =$	Tab. 5.3		
	4,5	2,7	für die Kapseln
Abweichung der Flußdichte	-6,0	-3,1	E53 : E54
$\phi(E_L^{(n-1)}, \vec{r})$	+2,1	+2,1	E55 : E56
in Prozent	-	-24,5	E51 : E56

Dieser Befund entspricht also den Erwartungen.

TABELLEN

- Tab. I-1. Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichtekorrektur für FKS-Bestrahlung E 51 mit Drehung der Bestrahlungskapsel
- Tab. I-2. Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichtekorrektur für FKS-Bestrahlung E 53/54 mit Drehung der Bestrahlungskapsel
- Tab. I-3. Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichtekorrektur für FKS-Bestrahlung E 55 mit Drehung der Bestrahlungskapsel
- Tab. II. Double Spectrum Index Assessment (using simple indices, for Cu63 detectors)
- Tab. III-1. Double Spectrum Index related to Fe54(n,p)Mn54 and to reference position E 57 No. 10 for measurement position E 51 spectrum
- Tab. III-2. Double Spectrum Index related to Fe54(n,p)Mn54 and to reference position E 57 No. 10 for measurement position E 53 stringer IV
- Tab. III-3. Double Spectrum Index related to Fe54(n,p)Mn54 and to reference position E 57 No. 10 for measurement position E 54 stringer IV
- Tab. III-4. Double Spectrum Index related to Fe54(n,p)Mn54 and to reference position E 57 No. 10 for measurement position E 55 stringer IV
- Tab. III-5. Double Spectrum Index related to Fe54(n,p)Mn54 and to reference position E 57 No. 10 for measurement position E 56 stringer IV
- Tab. IV-1. Uncertainty with contribution for unknown detector position in stringer No. E 51 spectrum
- Tab. IV-2. Uncertainty with contribution for unknown detector position in stringer No. E 53 IV
- Tab. IV-3. Uncertainty with contribution for unknown detector position in stringer No. E 54 IV
- Tab. IV-4. Uncertainty with contribution for unknown detector position in stringer No. E55 IV
- Tab. IV-5. Uncertainty with contribution for unknown detector position in stringer No. E 56 IV
- Tab. V-1. Neutron spectrum variation assessment for measurement position No. E 51 spectrum
- Tab. V-2. Neutron spectrum variation assessment for measurement position No. E 53 IV
- Tab. V-3. Neutron spectrum variation assessment for measurement position No. E 54 IV

- Tab. V-4. Neutron spectrum variation assessment for measurement position
No. E 55 IV
- Tab. V-5. Neutron spectrum variation assessment for measurement position
No. E 56 IV
- Tab. VI. Flux density of fast neutrons above different reaction lower
bound energies in the reference position (E 57, No. 10).

Kap. 5

Blatt 1 zu Tab. I-1

Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichte-Korrektur h für FKS-Bestrahlung E 51 mit Drehung der Bestrahlungskapsel um die Symmetrieebene $x = \bar{x}$ nach Hälfte der Bestrahlungszeit.

Relative Flußdichten $f(x)$ bzw. Unsicherheiten dazu abweichend von Eins bzw. überhaupt angegeben, falls Detektorposition sicher bzw. möglicherweise nicht in $x = \bar{x}$

Detektor-Bezeichnung		$f(x)$		$\pm$ Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrah- lungszeit		$ \Delta f/f : 4$	14	21%
		vor*	nach*	$ \Delta h/h : 1,1$	6	9%
1	01	3,05	6,83	$\pm$		
	02	5,52	3,77	$\pm$		
	03	10,00	2,08	$\pm$		
2	04	3,05	6,83	$\pm$		
	05 Cu	5,52	3,77		+/-	
	06 Ni	5,52	3,77	$\pm$		
	07	5,52	3,77		-/+	
	08 Co	10,00	2,08	$\pm$		
3	09	3,05	6,83	$\pm$		
	10	5,52	3,77	$\pm$		
	11	10,00	2,08	$\pm$		
4	12	3,05	6,83	$\pm$		
	13	5,52	3,77	$\pm$		
	14	10,00	2,08	$\pm$		
5	15	3,05	6,83	$\pm$		
	16	5,52	3,77	$\pm$		
	17	10,00	2,08	$\pm$		

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: $\pm$ statistisch; +/- systematisch vor/nach Kapsel-drehung

Kap. 5

Blatt 2 zu Tab. I-1

Detektor-Bezeichnung		f(x)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrah- lungszeit		Δf/f :4	14	21%
		vor*	nach*			
6	18	3,05	6,83	±		
	19	5,52	3,77	±		
	20	10,00	2,08	±		
	21	3,05	6,83	±		
1-kurz						
7	22	Co	3,05	6,83	±	
	23		5,52	3,77		+/-
	24	Ti	5,52	3,77	±	
	25	Ni	5,52	3,77		-/+
	26	Co	10,00	2,08	±	
8	27		3,05	6,83	±	
	28	Sc	5,52	3,77		+/-
	29		5,52	3,77	±	
	30	Co	5,52	3,77		-/+
	31		10,00	2,08	±	
9	32		3,05	6,83	±	
	33		5,52	3,77	±	
	34		10,00	2,08	±	
	35		10,00	2,08	±	
2-kurz						
10	36		3,05	6,83	±	
	37		5,52	3,77	±	
	38		10,00	2,08	±	
	39		3,05	6,83	±	
3-kurz						
4-kurz	40		3,05	6,83	±	

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: ± statistisch; +/- systematisch vor/nach Kapsel-
drehung

Detektor-Bezeichnung		f(x)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrahlungszeit vor* nach*		Δf/f : 4	14	21%
				Δh/h : 1,1	6	9%
11	41	3,05	6,83	+		
	42	5,52	3,77	+		
	43	10,00	2,08	+		
12	44	5,52	3,77	+		
	45 Cu	5,52	3,77	+		
	46 Ni	5,52	3,77	+		
	47	5,52	3,77	+		
	48 Co	5,52	3,77	+		
	49	10,00	2,08	+		
5-kurz	50	10,00	2,08	+		
6-kurz				+		
Spektral- am Ende paket (unter Gd)						
13	51	3,05	6,83	+		
	52	5,52	3,77	+		
	53	10,00	2,08	+		
14	54 Co	3,05	6,83	+		
	55	5,52	3,77		+/-	
	56 Co	5,52	3,77	+		
	57	5,52	3,77		-/+	
	58 Co	10,00	2,08	+		
15	59 Ag	3,05	6,83	+		
	60	5,52	3,77		+/-	
	61 Ti	5,52	3,77	+		
	62 Ni	5,52	3,77		-/+	
	63 Co	10,00	2,08	+		

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: ± statistisch; +/- systematisch vor/nach Kapsel-drehung

Blatt 4 zu Tab. I-1

Detektor-Bezeichnung		f(x)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrah- lungszeit		Δf/f :4 Δh/h :1,1	14 6	21% 9%
		vor*	nach*			
16	64	3,05	6,83	±		
	65	5,52	3,77	±		
	66	10,00	2,08	±		
17	67	5,52	3,77	±		
	68	5,52	3,77	±		
	69	5,52	3,77	±		
18	70	3,05	6,83	±		
	71	5,52	3,77	±		
	72	10,00	2,08	±		
19	73	3,05	6,83	±		
	74	Cu	5,52	3,77		+/-
	75	Ni	5,52	3,77	±	
	76		5,52	3,77		-/+
	77	Ti	10,00	2,08	±	
20	78	Co	3,05	6,83	±	
	79		5,52	3,77		+/-
	80	Ti	5,52	3,77	±	
	81	Ni	5,52	3,77		-/+
	82	Co	10,00	2,08	±	

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: ± statistisch; +/- systematisch vor/nach Kapsel-
drehung

Detektor-Bezeichnung		f(x)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrah- lungszeit		Δf/f : 4 Δh/h : 1,1	14 6	21% 9%
		vor*	nach*			
21	83	3,05	6,83	±		
	84 Sc	5,52	3,77		+/-	
	85	5,52	3,77	±		
	86 Co	5,52	3,77		-/+	
	87	10,00	2,08	-		
22	88	3,05	6,83	±		
	89	5,52	3,77	±		
	90	10,00	2,08	±		
Spektral- paket (unter Gd)	Ag	5,52	3,77			±
	Co	"	"			"
	Cu	"	"			"
	Fe	"	"			"
	Ni	"	"			"
	Sc	"	"			"
	Ti	"	"			"
	Th	"	"			"
	U-238	"	"			"

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: ± statistisch; +/- systematisch vor/nach Kapsel-
drehung

Kap. 5

Tab. I-2

Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichte-Korrektion h für FKS-Bestrahlung E 53/4 mit Drehung der Bestrahlungskapsel um die Symmetrieebene $x = \bar{x}$ nach Hälfte der Bestrahlungszeit.

Relative Flußdichten $f(x)$ bzw. Unsicherheiten dazu abweichend von Eins bzw. überhaupt angegeben, falls Detektorposition sicher bzw. möglicherweise nicht in $x = \bar{x}$

Detektor-Bezeichnung		$f(x)$		$\pm$ Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrah- lungszeit		$ \Delta f/f :4$	14	21%
		vor*	nach*	$ \Delta h/h :1,1$	6	9%
I-1 bis 4	alle Det.	1	1		k e i n e	
II-1,2	alle Det.	1	1		"	
III	13	2,07	0,484	$\pm$		
	14	1	1	$\pm$		
	15	0,484	2,07	$\pm$		
IV	alle Det.	1	1			$\pm$
VI-1,2	"	1	1		k e i n e	
VII-1,2	"	1	1		"	
VIII	"	1	1		"	

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: $\pm$ statistisch; $\pm/-$ systematisch vor/nach Kapsel-drehung

Kap. 5

Tab. I-3

Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichte-Korrektur h für FKS-Bestrahlung E 55 mit Drehung der Bestrahlungskapsel um die Symmetrieebene $x = x$ nach Hälfte der Bestrahlungszeit.

Relative Flußdichten $f(x)$ bzw. Unsicherheiten dazu abweichend von Eins bzw. überhaupt angegeben, falls Detektorposition sicher bzw. möglicherweise nicht in $x = x$

Detektor-Bezeichnung		$f(x)$		$\pm$ Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrah- lungszeit		$ \Delta f/f $:4	14	21%
		vor*	nach*	$ \Delta h/h $:1,1	6	9%
I-1,2	4 bis 9	1	1	k e i n e		
IV	alle Det.	1	1			<u>+</u>
VI-1	1 bis 3	1	1	k e i n e		
VI-2	10 bis 12***	1	1			<u>+</u>
VI-3	13 bis 15	1	1	k e i n e		
VII-1-4	alle Det.	1	1	"		

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

** Unsicherheit: $\pm$ statistisch; $\pm$ systematisch vor/nach Kapsel-drehung

*** Detektoren nicht erhalten

Kap. 5

Table II

DOBISI 81LP2854 07/04/85 15:02:40
 ** Double - by Siaple - Spectrum Index **

For Experiment: FKS with Irradiation Source: FRJ-1
 Spectr. Index: .83 Sp. I. Rel. Uncert.: +/- .12 for Meas. Reaction: Cu63(n,a) with Ref. Reaction: Fe54(n,p)
 In Ref. Position: E 57 Pos. No. 10

Capsule:	E 51	E 53	E 54	E 55	E 56
Meas. Position:	Spectrum	IV	IV	IV	IV
Meas. React. File:	1.1810	1.2754	1.2851	1.2581	1.2722
Ref. React. File:	3.1442	1.2758	1.2849	1.2577	1.2603
Flu. Dens. Eq. /1/(cm^2*s):	2.22297E+12	1.17017E+12	1.30261E+12	2.93558E+12	3.10168E+12
Unc. Flu. Ds. Eq.: +/-	.11315	.113226	.113185	.113056	.113233
Ref. Flu. Ds. Eq. /1/(cm^2*s):	2.54143E+12	1.2222E+12	1.38004E+12	3.43883E+12	3.36713E+12
Unc. Ref. F. Ds. Eq.: +/-	6.77264E-02	6.57285E-02	6.59324E-02	6.57202E-02	6.65861E-02
Spectr. Index:	.874693	.957429	1.00198	.853657	.921164
Sp. I. Rel. Uncert.: +/-	.13187	.130921	.130908	.13877	.131319
Doub. Spec. Ind.: %	5.38463	15.3529	26.7281	2.8582	10.9837
D. Sp. Ind. Uncert.: +/-	.178297	.177596	.177646	.177403	.17789

Kap. 5

Table III-1

DOSI 288P2810 87/04/85 16:02:50
 ** Double Spectrum Index Related to Fe-54(n,p)Mn-54 And to Reference Position **

Exper.: FKS	Irrad.: E S1		Source: FRJ-1		Meas.Pos.: Spectrum		
	Ref.Pos.: ES7 No.10						
Measuring Reaction	Reference Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Measuring Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Doub.Spec.Ind. %	DOSI Uncert. +/-%	Comment
U238(n,f)	1.6892E-12	1.85	1.63263E-12	2.12	19.6835	6.81935	
Th232(n,f)	2.7131E-13	5.37	2.63452E-13	18.83	-22.4664	12.56	
Ni58(n,p)	2.3286E-13	3.2	2.7893E-13	1.56	-6.77962	6.48228	
Fe54(n,p)	1.6173E-13	4.5	2.82552E-13	2.84	0	0	
Ti(n,x)Sc46	1.8289E-14	3.23	9.83711E-14	1.74	294.543	6.46345	Outlier !

Kap. 5

Tab. III - 2, 3

DOSI 20BP2010 07/04/85 16:20:43
 ** Double Spectrum Index Related to Fe-54(n,p)Mn-54 And to Reference Position **

Exper.: FKS	Irrad.: E 53		Source: FRJ-1		Meas.Pos.: I V	
	Ref.Pos.: E57 No.10					
Measuring Reaction	Reference Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Measuring Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%
Ni58(n,p)	2.3206E-13	3.2	1.35256E-13	1.65	-3.22835	6.21248
Fe54(n,p)	1.6173E-13	4.5	9.74089E-14	2.32	0	0
Ti(n,x)Sc46	1.8289E-14	3.23	1.31729E-14	2.06	19.5869	6.34893

DOSI 20BP2010 07/05/85 12:00:12
 ** Double Spectrum Index Related to Fe-54(n,p)Mn-54 And to Reference Position **

Exper.: FKS	Irrad.: E 54		Source: FRJ-1		Meas.Pos.: I V	
	Ref.Pos.: E57 No.10					
Measuring Reaction	Reference Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Measuring Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%
Ni58(n,p)	2.3206E-13	3.2	1.46203E-13	1.61	-1.65951	6.22467
Fe54(n,p)	1.6173E-13	4.5	1.03613E-13	2.38	0	0
Ti(n,x)Sc46	1.8289E-14	3.23	1.20529E-14	1.98	2.86745	6.34568

Kap. 5

Tab. III - 4, 5

DOSI 20BP2010 07/05/85 12:06:24
 ** Double Spectrum Index Related to Fe-54(n,p)Mn-54 And to Reference Position **

Exper.: FKS Irrad.: E 55 Source: FRJ-1
 Ref.Pos.: E57 No.10 Meas.Pos.: I V

Measuring Reaction	Reference Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Measuring Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%
Ni58(n,p)	2.3206E-13	3.2	4.5438E-13	1.52	15.542	6.17922
Fe54(n,p)	1.6173E-13	4.5	2.74075E-13	2.32	0	0
Ti(n,x)Sc46	1.8289E-14	3.23	3.16281E-14	2.51	2.04794	6.50887

DOSI 20BP2010 07/05/85 12:12:31
 ** Double Spectrum Index Related to Fe-54(n,p)Mn-54 And to Reference Position **

Exper.: FKS Irrad.: E 56 Source: FRJ-1
 Ref.Pos.: E57 No.10 Meas.Pos.: I V

Measuring Reaction	Reference Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Measuring Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%
Ni58(n,p)	2.3206E-13	3.2	3.57551E-13	1.79	-7.14422	6.33607
Fe54(n,p)	1.6173E-13	4.5	2.68361E-13	2.54	0	0
Ti(n,x)Sc46	1.8289E-14	3.23	1.99122E-14	2.15	-34.3854	6.46197

Kap. 5

Table IV-1

UCUPIS 01LP2055 07/09/85 14:44:18

** Uncertainty Contribution for Unknown Detector Position within the Stringer **

For Experiment: FKS

with Irradiation Source: FRJ-1

Spectrum Detector Set Stringer Denotation: Spectrum

Irradiation: E 51

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane, in cm

F(x): Fe54 Gradient Detector Set Fission Equiv. Flux Density in E+12 1/(cm^2s)

Fav: Flux Density F(x) Averaged over the Spectrum Stringer Extension

Grad.Pos.No.:	x:	F(x):	Stringer Extension	x:	Fav:
1	-50	1.45	Minus	-25	
2	0	1.48	Mean	0	
3	50	1.8	Plus	25	
					1.49208

Uncertainty for the Mean Deviation from the Average Flux Density Fav

RHDP= +/- 3.46236 %

Mean Measuring Uncertainty of the Gradient Set

RHGM= +/- 1.8 %

Measuring Reaction	U n c e r t a i n t y in +/- % Reported for the Double Spec. Index	Resulting with In- clusion of RHDP and RHGM
U238(n,f)	6.81935	7.1736
Th232(n,f)	12.56	13.1522
Ni58(n,p)	6.48228	7.49781
Cu63(n,a)	17.8297	18.2518

Further Remark: Ti(n,x)Sc46 As an Outlier Not Regarded

Kap. 5

Table IV-2

UCUPIS 02LP2055 07/09/85 15:54:57
 ** Uncertainty Contribution for Unknown Detector Position within the Stringer **

For Experiment: FKS with Irradiation Source: FRJ-1
 Spectrum Detector Set Stringer Denotation: IV Irradiation: E 53

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane, in cm
 F(x): Fe54 Gradient Detector Set Fission Equiv. Flux Density in E+12 1/(cm^2s)
 Fav: Flux Density F(x) Averaged over the Spectrum Stringer Extension

Grad.Pos.No.:	x:	F(x):	Stringer Extension	x:	Fav:
1	-50	1.2	Minus	-25	
2	0	.92	Mean	0	
3	50	1.15	Plus	25	
					.94125

Uncertainty for the Mean Deviation from the Average Flux Density Fav RHDP= +/- 2.15996 %

Mean Measuring Uncertainty of the Gradient Set RHGM= +/- 1.0 %

Measuring Reaction	U n c e r t a i n t y in +/- % Reported for the Double Spec.Index	Resulting with In- clusion of RHDP and RHGM
Ni58(n,p)	6.21248	6.81912
Ti(n,x)Sc46	6.34893	6.94366
Cu63(n,a)	17.7596	17.9888

Kap. 5

Table IV-3

UCUPI S 02LP2055 07/09/85 15:59:42
 ** Uncertainty Contribution for Unknown Detector Position within the Stringer **

For Experiment: FKS with Irradiation Source: FRJ-1
 Spectrum Detector Set Stringer Denotation: IV Irradiation: E 54

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane, in cm
 F(x): Fe54 Gradient Detector Set Fission Equiv. Flux Density in E+12 1/(cm^2s)
 Fav: Flux Density F(x) Averaged over the Spectrum Stringer Extension

Grad.Pos.No.:	x:	F(x):	Stringer Extension	x:	Fav:
1	-50	1.25	Minus	-25	
2	0	.928	Mean	0	
3	50	1.11	Plus	25	
					.949

Uncertainty for the Mean Deviation from the Average Flux Density Fav RHDP= +/- 2.98713 %

Mean Measuring Uncertainty of the Gradient Set RHGM= +/- 1.8 %

Measuring Reaction	U n c e r t a i n t y in +/- % Reported for the Double Spec.Index	Resulting with In- clusion of RHDP and RHGM
Ni58(n,p)	6.22467	7.10197
Ti(n,x)Sc46	6.34568	7.26826
Cu63(n,a)	17.7646	18.8987

Kap. 5

Table IV-4

UCUPIS 02LP2055 07/09/85 16:02:52
 ** Uncertainty Contribution for Unknown Detector Position within the Stringer **

For Experiment: FKS
 Spectrum Detector Set Stringer Denotation: IV

with Irradiation Source: FRJ-1
 Irradiation: E 55

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane, in cm
 F(x): Fe54 Gradient Detector Set Fission Equiv. Flux Density in E+12 1/(cm^2s)
 Fav: Flux Density F(x) Averaged over the Spectrum Stringer Extension

Grad.Pos.No.:	x:	F(x):	Stringer Extension	x:	Fav:
1	-25	1.31	Minus	-25	
2	0	1.73	Mean	0	
3	25	2.20	Plus	25	
					1.75167

Uncertainty for the Mean Deviation from the Average Flux Density Fav

RHDP= +/- 16.0239 %

Mean Measuring Uncertainty of the Gradient Set

RHGM= +/- 1.8 %

Measuring Reaction	U n c e r t a i n t y i n +/- % Reported for the Double Spec. Index	Resulting with In- clusion of RHDP and RHGM
Ni58(n,p)	6.17922	17.2681
Ti(n,x)Sc46	6.50007	17.3680
Cu63(n,a)	17.7485	23.9794

Further Remark: Gradient Set Results since Missing Taken from Irradiation E56

Kap. 5

Table IV-5

UCUPIS 02LP2055 07/09/85 16:07:59
 ** Uncertainty Contribution for Unknown Detector Position within the Stringer **

For Experiment: FKS with Irradiation Source: FRJ-1
 Spectrum Detector Set Stringer Denotation: IV Irradiation: E 56

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane, in cm
 F(x): Fe54 Gradient Detector Set Fission Equiv. Flux Density in E+12 1/(cm^2s)
 Fav: Flux Density F(x) Averaged over the Spectrum Stringer Extension

Grad.Pos.No.:	x:	F(x):	Stringer Extension	x:	Fav:
1	-25	1.31	Minus	-25	
2	0	1.73	Mean	0	
3	25	2.28	Plus	25	
					1.75167

Uncertainty for the Mean Deviation from the Average Flux Density Fav RHDP= +/- 16.0239 %

Mean Measuring Uncertainty of the Gradient Set RHGM= +/- 1.8 %

Measuring Reaction	U n c e r t a i n t y in +/- % Reported for the Double Spec. Index	Resulting with In- clusion of RHDP and RHGM
Ni58(n,p)	6.33607	17.3248
Ti(n,x)Sc46	6.46197	17.3713
Cu63(n,a)	17.789	24.8894

Kap. 5

Table V-1

22LP2852 87/16/85 15:56:35

** Neutron Spectrum Variation Assessment by Least Squares Fit **

Experiment: FKS Irradiation: E 51
Source: FRJ-1 Ref.Pos.: E57 No.18 Meas.Pos.: Spectrum
Measuring Reactions Related to the Reference One: Fe54(n,p)

Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation,Abs.Val.	Variation Uncert.,+/-%
Cu63(n,a)	5.38465	18.2518		
Ni58(n,p)	-6.77962	7.49781		
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	6.59645E-02	99.3128
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.059364	112.564
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	7.32874E-02	88.0427
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	5.36435E-02	127.655
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	8.09204E-02	78.5555
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	4.91116E-02	143.597
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	8.89813E-02	78.5668
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	4.61199E-02	157.96
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	9.73838E-02	63.8845
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.044977	167.867
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.185826	58.8385
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	4.58212E-02	168.821

No. of Reactions I= 3 With the f o u n d Fe Cross Sec.Dev.: 5.87516 % 4.49714E-02 166.712

180*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 11.9374
using STUDENT's cut-off value TSR(1-2)= 1.59223

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with > .82149 significance probability (one-sided test)

The flux density > 2.7 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
6.82562E+11 1/(cm^2*s)

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 2.7 MeV for this measuring position is then: 6.82562E+11 1/(cm^2*s)

Additional Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation,Abs.Val.	Variation Uncert.,+/-%
Th232(n,f)	-22.4664	13.1522		
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	.119942	41.8672
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.113991	44.3822
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	.126277	39.5087
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.108487	47.8582
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	.132941	37.3848
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.103501	49.8576
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	.139886	35.2498
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.099112	52.7753
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	.147874	33.3362
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	9.54817E-02	55.7583
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.15447	31.5555
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	9.24519E-02	58.6968
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	.162845	29.8988
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	9.83373E-02	61.4911
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -7 %	.169776	28.3572

Table V-1, cont.

For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	8.91175E-02	63.9764
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -8 %	.177643	26.9218
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 9 %	8.88292E-02	65.9833
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -9 %	.185627	25.5845
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 10 %	8.94814E-02	67.3632

No. of Reactions I= 4 With the F o u n d Fe Cross Sec.Dev.: 8.88654 % 8.88116E-02 66.3227

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 9.37859
using STUDENT's cut-off value $TSR(I-2) = 1.59223$

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with >.87383 significance probability (one-sided test)

The flux density > 1.0 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
1.72832E+12 1/(cm²s)

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 1.0 MeV for this measuring position is then: 1.72832E+12 1/(cm²s)

Additional Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation, Abs.Val.	Variation Uncert., +/-%
U238(n,f)	19.6835	7.1736		
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.157883	32.1826
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.161883	32.1821
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	.153774	32.8111
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.165488	32.8261
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	.151114	31.6583
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.178495	31.7353
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	.149138	31.124
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.175979	31.3326
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	.147874	38.4187
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.181897	38.8487
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.147341	29.5633
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.188288	38.281
For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	.147545	28.5872

No. of Reactions I= 5 With the F o u n d Fe Cross Sec.Dev.: -5.2232 % .147323 29.7787

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 6.98336
using STUDENT's cut-off value $TSR(I-2) = 1.59223$

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with >.89521 significance probability (one-sided test)

The flux density > 1.75 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
1.84184E+12 1/(cm²s)

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 1.75 MeV for this measuring position is then: 1.84184E+12 1/(cm²s)
From this with the irradiation time: 1.282E+07 s the resulting fluence is: 2.36821E+19 1/cm²

Table V-2

22LP2052 07/17/85 08:16:39

** Neutron Spectrum Variation Assessment by Least Squares Fit **

Experiment: FKS Irradiations: E 53
 Source: FRJ-I Ref.Pos.: E57 No.18 Meas.Pos.: IV
 Measuring Reactions Related to the Reference One: Fe54(n,p)

Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation, Abs.Val.	Variation Uncert., +/-%
Cu63(n,a)	15.3529	17.9888		
Ti(n,x)Sc46	19.5869	6.94366		
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	.198985	48.4574
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.282788	38.4649
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	.179826	42.7141
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.214673	36.6927
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	.16715	45.2989
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.22656	35.1864
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	.155278	48.2612
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.238449	33.6781
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	.143411	51.7218
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.258339	32.3854
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.131552	55.8848
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.262231	31.2878
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	.119781	68.6934
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.274124	38.1362
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -7 %	.187863	66.6587
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.286817	29.1519
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -8 %	9.68487E-02	74.8665
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 9 %	.297912	28.2461
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -9 %	8.42416E-02	83.5447
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 10 %	.389887	27.4099
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -10 %	7.24771E-02	96.8694
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 11 %	.321784	26.6355
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -11 %	6.87672E-02	113.353
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 12 %	.3336	25.9163
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -12 %	.849151	138.629
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 13 %	.345497	25.2467
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -13 %	.837715	178.68
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 14 %	.357395	24.6216
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -14 %	2.66921E-02	249.476
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 15 %	.369293	24.8368
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -15 %	1.69878E-02	387.631
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 16 %	.381192	23.4885
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -16 %	1.19523E-02	527.571
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 17 %	.393891	22.9734
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -17 %	1.66289E-02	378.843
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 18 %	.48499	22.4885
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -18 %	2.65896E-02	234.378
No. of Reactions i= 3	With the F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.: -16.8841 %	1.19512E-02	527.583

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 18.8394
 using STUDENT's cut-off value $TSR(I-2) = 1.59223$

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with > .82149 significance probability
 (one-sided test)

Table V-2, cont.

The flux density > 4.5 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
 $7.28775E+10 \text{ 1/(cm}^2\text{s)}$

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 4.5 MeV for this measuring position is then: $7.28775E+10 \text{ 1/(cm}^2\text{s)}$
 From this with the irradiation time: $4.44279E+07 \text{ s}$ the resulting fluence is: $3.23779E+18 \text{ 1/cm}^2$

Additional Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation,Abs.Val.	Variation Uncert.,+/-%
Ni58(n,p)	-3.22835	6.81912		
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	.140188	39.7735
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.147851	38.1786
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	.132978	41.3558
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.1559	36.6125
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	.1263	42.8659
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.16428	35.182
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	.126241	44.2246
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.172941	33.6633
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	.1149	45.3338
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.181844	32.3846
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.118381	46.8843
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.198954	31.8288
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	.186789	46.3721
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.288244	29.8354
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -7 %	.184218	46.121
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.28769	28.7216
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -8 %	.182747	45.3866
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 9 %	.219271	27.6835
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -9 %	.182421	43.9783
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 10 %	.228971	26.7164
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -10 %	.183253	42.2135
No.of Reactions I= 4	With the F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.: -8.78151 %	.182393	43.6424

$100 \times \text{Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in \% both to be compared with the T value: } 7.11519$
 using STUDENT's cut-off value $TSR(1-2) = 1.59223$

So a variation from the reference spectrum appears as **Shown** with $> .87383$ significance probability
 (one-sided test)

The flux density > 2.7 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
 $3.2825E+11 \text{ 1/(cm}^2\text{s)}$

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: .912185

The corrected flux density > 2.7 MeV for this measuring position is then: $3.5985E+11 \text{ 1/(cm}^2\text{s)}$
 From this with the irradiation time: $4.44279E+07 \text{ s}$ the resulting fluence is: $1.59874E+19 \text{ 1/cm}^2$

Kap. 5

Table V-3

23LP2052 07/17/85 08:41:57

** Neutron Spectrum Variation Assessment by Least Squares Fit **

Experiment: FKS Irradiation: E 54
Source: FRJ-1 Ref.Pos.: E57 No.10 Meas.Pos.: IV
Measuring Reactions Related to the Reference One: Fe54(n,p)

Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation, Abs.Val.	Variation Uncert., +/-%
Cu63(n,a)	28.7281	18.8987		
Ti(n,x)Sc46	2.86745	7.28826		
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	8.11897E-02	98.8874
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	8.88683E-02	89.7616
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	7.42195E-02	187.843
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	9.78874E-02	82.3847
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	6.81752E-02	116.888
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.185721	75.7478
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	6.33227E-02	123.812
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.114675	78.8265
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	5.99519E-02	128.78
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.123881	65.8425
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	5.83285E-02	129.287
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.133286	68.6932
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	5.85739E-02	124.753
No. of Reactions I= 3	With the Found	Fe Cross Sec.Dev.: -5.36556 %	5.81946E-02	130.36

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 12.079
using STUDENT's cut-off value TSR(1-2)= 1.59223

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with > .82149 significance probability (one-sided test)

The flux density > 4.5 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
7.75192E+18 1/(cm^2*s)

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 4.5 MeV for this measuring position is then: 7.75192E+18 1/(cm^2*s)
from this with the irradiation time: 1.822E+07 s the resulting fluence is: 1.4124E+18 1/cm^2

Additional Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation, Abs.Val.	Variation Uncert., +/-%
Ni58(n,p)	-1.65951	7.18197		
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	6.81593E-02	95.7681
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	6.48252E-02	89.4617
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	5.69633E-02	99.7825
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	7.86786E-02	82.2573
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	5.54919E-02	188.154
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	7.74287E-02	75.1117
For the Adopted		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	5.58814E-02	96.4275
No. of Reactions I= 4	With the Found	Fe Cross Sec.Dev.: -2.2987 %	5.54133E-02	108.815

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 8.89496
using STUDENT's cut-off value TSR(1-2)= 1.59223

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with > .87383 significance probability

Table V-3, cont.

(one-sided test)

The flux density > 2.7 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:

$3.49157E+11$ $1/(cm^2 \cdot s)$

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 2.7 MeV for this measuring position is then: $3.49157E+11$ $1/(cm^2 \cdot s)$

From this with the irradiation time: $1.822E+07$ s the resulting fluence is: $6.36163E+18$ $1/cm^2$

Kap. 5

Table V-4

23LP2852 07/17/85 08:58:18

** Neutron Spectrum Variation Assessment by Least Squares Fit **

Experiment: FKS Irradiation: E 55
Source: FRJ-1 Ref.Pos.: E57 No.18 Meas.Pos.: IV
Measuring Reactions Related to the Reference One: Fe54(n,p)

Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation,Abs.Val.	Variation Uncert.,+/-%
Cu63(n,a)	2.8582	23.9794		
Ti(n,x)Sc46	2.84794	17.3888		
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	2.35549E-02	612.294
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	3.36974E-02	432.118
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	1.35482E-02	1854.86
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	4.38818E-02	335.047
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	4.6568E-03	3846.89
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	5.48843E-02	274.474
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	8.32822E-03	1675.13

No.of Reactions I= 3 With the F o u n d Fe Cross Sec.Dev.: -2.28821 % 4.38469E-03 3855.23

188*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 21.3299

using STUDENT's cut-off value TSR(1-2)= 1.59223

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with > .82149 significance probability (one-sided test)

The flux density > 4.5 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:

2.85852E+11 1/(cm^2*s)

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 4.5 MeV for this measuring position is then: 2.85852E+11 1/(cm^2*s)

From this with the irradiation time: 2.135E+07 s the resulting fluence is: 4.37786E+18 1/cm^2

Additional Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation,Abs.Val.	Variation Uncert.,+/-%
Ni58(n,p)	15.542	17.2681		
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	9.98858E-02	125.76
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.108689	116.422
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	9.15871E-02	136.2
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.11782	188.159
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	8.36799E-02	147.613
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.12721	188.877
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	7.65735E-02	159.573
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.136885	94.4682
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	7.84864E-02	171.153
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.146565	88.7945
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	6.54449E-02	188.778
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.156459	83.7755
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	6.19791E-02	186.38
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.166463	79.3117
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -7 %	6.82676E-02	186.158
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.176558	75.3249
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -8 %	6.84596E-02	179.688

No.of Reactions I= 4 With the F o u n d Fe Cross Sec.Dev.: -7.39913 % .868116 187.991

Table V-4, cont.

$100 \times \text{Mean spec. var. to and with the found Fe cross sec. dev. in } \% \text{ both to be compared with the } t \text{ value: } 17.9943$
using STUDENT's cut-off value $TSR(I-2) = 1.59223$

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with $> .87383$ significance probability (one-sided test)

The flux density $> 2.7 \text{ MeV}$ as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:

$9.23582E+11 \text{ } 1/(\text{cm}^2\text{s})$

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density $> 2.7 \text{ MeV}$ for this measuring position is then: $9.23582E+11 \text{ } 1/(\text{cm}^2\text{s})$
From this with the irradiation time: $2.135E+07 \text{ s}$ the resulting fluence is: $1.97185E+19 \text{ } 1/\text{cm}^2$

Table V-5

23LP2052 07/17/85 09:17:32
 ** Neutron Spectrum Variation Assessment by Least Squares Fit **

Experiment: FKS Irradiations: E 56
 Source: FRJ-1 Ref.Pos.: E57 No.10 Meas.Pos.: IV
 Measuring Reactions Related to the Reference Ones Fe54(n,p)

Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. Z	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation, Abs. Val.	Variation Uncert., +/-%
Cu63(n,a)	10.9837	24.8894		
Ti(n,x)Sc46	-34.3854	17.3713		
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	.285927	33.7863
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.282313	34.9219
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	.289739	32.7837
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.278985	36.111
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	.293743	31.6734
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.275712	37.3527
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	.297929	30.6937
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.27274	38.6456
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	.302291	29.7627
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.269996	39.9868
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.306822	28.8779
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.267489	41.3725
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	.311512	28.8367
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.265224	42.7976
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -7 %	.316357	27.2364
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.263288	44.2558
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -8 %	.321348	26.4741
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 9 %	.261446	45.7398
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -9 %	.326479	25.7471
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 10 %	.259944	47.2411
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -10 %	.331744	25.8528
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 11 %	.258706	48.7583
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -11 %	.337136	24.3884
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 12 %	.257737	58.2572
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -12 %	.342648	23.7515
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 13 %	.257838	51.7513
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -13 %	.348277	23.14
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 14 %	.256613	53.2215
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -14 %	.354815	22.5516
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 15 %	.256463	54.657
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -15 %	.359658	21.9844
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 16 %	.256587	56.8471
No. of Reactions != 3	With the F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.: 15.8475 %	.256463	54.5899

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T value: 22.2917
 using STUDENT's cut-off value TSR(1-2)= 1.59223

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with > .82149 significance probability
 (one-sided test)

The flux density > 4.5 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
 $2.00777E+11 \text{ 1/(cm}^2\text{s)}$

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 4.5 MeV for this measuring position is then: $2.00777E+11 \text{ 1/(cm}^2\text{s)}$

Table V-5, cont.

From this with the irradiation time: 2.652×10^6 s the resulting fluence is: 5.32461×10^{17} $1/\text{cm}^2$

Additional Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %	DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation, Abs.Val.	Variation Uncert., +/-%
Ni58(n,p)	-7.14422	17.3248		
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	.226453	33.6584
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.2226	34.796
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -1 %	.230575	32.5617
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.21983	35.9997
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -2 %	.234952	31.5276
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.215756	37.2687
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -3 %	.23957	38.5452
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.212794	38.5768
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -4 %	.244414	29.6189
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.218155	39.943
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -5 %	.249473	28.7289
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.207853	41.352
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -6 %	.254733	27.8715
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.205899	42.7935
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -7 %	.268181	27.8592
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.204382	44.2549
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -8 %	.265887	26.2885
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 9 %	.20387	45.7289
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -9 %	.271599	25.5325
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 10 %	.202212	47.1746
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -10 %	.277547	24.8125
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 11 %	.201731	48.5974
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -11 %	.283641	24.1181
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 12 %	.20163	49.9786
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: -12 %	.289872	23.4472
For the A d o p t e d		Fe Cross Sec.Dev.: 13 %	.20191	51.2756
No. of Reactions I= 4	With the F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.: 11.7651 %	.201619	50.287

$100 \times \text{Mean spec. var. to and with the found Fe cross sec. dev. in \%}$ both to be compared with the T value: 16.1434
using STUDENT's cut-off value $\text{TSR}(I-2) = 1.59223$

So a variation from the reference spectrum appears as **Not Confirmed** with $>.87383$ significance probability
(one-sided test)

The flux density > 2.7 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
 9.04327×10^{11} $1/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$

Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 2.7 MeV for this measuring position is then: 9.04327×10^{11} $1/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$
From this with the irradiation time: 2.652×10^6 s the resulting fluence is: 2.39827×10^{18} $1/\text{cm}^2$

Chapter 5
Table VI
Flux Density of Fast Neutrons Above
Different Reaction Lower Bound Energies E_L
in the Reference Position
(i.e., E57, Pos. No. 10)

Measuring Reaction	Energy E_L MeV	Flux Density $\phi(E_L)$ $1/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$	Remarks
Al27 (n, α)	7.3	1.90E+10	
Ti48 (n,p)	6.9	2.46E+10	
Cu63 (n, α)	6.8	2.63+10	
Ti (n,x)Sc46	4.5	1.21E+11	
Fe54 (n,p)	(3.0)	(4.13E+11)	Reference reaction
Ni58 (n,p)	2.7	5.45E+11	
Ti47 (n,p)	2.4	7.23E+11	
Th232 (n,f)	1.8	1.38E+12	
U238 (n,f)	1.75	1.47E+12	E_L in plausible manner shifted from E_L (Th232)
In115 (n,n')	1.6	1.74E+12	
Np237 (n,f)	1.0	3.69791E+12	E_L shifted to 1 MeV from 0.88 MeV

6. dpa-WERTE UND IHRE SPEKTRALEN ANTEILE

6.1. Die Neutronenexposition bestrahlter Stahlproben ausgedrückt in dpa

In den Kapiteln 3 und 4 wurden Werte für die Flußdichte und Fluenz zur Angabe der empfangenen Neutronenbestrahlung der FKS-Stahlkapseln insbesondere in deren Spektralpositionen zusammengestellt. Im folgenden soll statt der Fluenz ein anderes Expositionsmaß für die Neutronen eingeführt werden: die Anzahl der stattgefundenen atomaren Verlagerungen (Number of displaced atoms, kurz: dpa) im betreffenden Material - hier also in ferritischem Stahl. Die anschließenden Angaben sind auf unsere Referenzposition (d.i. Position Nr. 10 im Dosimetrie-Testexperiment E 57, s. Abb. 11) beschränkt.

Es hat sich erwiesen (s. besonders /45/), daß durch den Übergang im Neutronen-Expositionsmaß von der Fluenz auf die dpa-Anzahl die Vergleichbarkeit zwischen Bestrahlungsergebnissen von verschiedenen Leichtwasserreaktoren und deren Positionen bedeutend verbessert wird, gerade auch für Stahl als Bestrahlungsmaterial. Wir schließen uns diesem Übergang an und folgen damit neben /45/ weiteren internationalen Empfehlungen /46, 47, 48/. Der Übergang im Expositionsmaß für das Neutronenspektrum I und normiert auf Neutronenenergien $E > E_L$ von der Fluenz Φ (wie in Tab. VII zu Kap. 3 mitgeteilt) zur dpa-Anzahl d für Bestrahlung des Materials m läßt sich durch folgende Beziehung ausdrücken:

$$d_m^I = \sigma_{d,m}^I(E_L) \cdot \Phi^I(E_L) \quad (6.1)$$

Dabei ist

$$\sigma_{d,m}^I(E_L) \equiv \int_0^\infty \sigma_{d,m}(E) \Phi_E^I(E) dE / \int_{E_L}^\infty \Phi_E^I(E) dE \quad (6.2)$$

der "Effektive dpa-Wirkungsquerschnitt" für den Werkstoff m im Neutronenspektrum I. Ausführlicher dazu s. /6/, wo auch die Ermittlung von

$$\sigma_{d,Fe}^I(1\text{MeV}) = 2,16_3 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^2 \quad (6.3)$$

für ferritischen Stahl ($m = \text{Fe}$) in unserer Referenzposition besprochen wird, unter Bezugnahme auf die neuerdings besonders häufig angewendete Wertetabelle in /48/. Der durch Neutronenspektrums-Adjustierung ermittelte $\sigma_{n,m}^I$ -Wert ist - vgl. Abschnitt 3.2 - für Reaktionsraten oberhalb der Gd-Abschneide-Energie (statt $E = 0$) in Gl. (6.2) gewonnen worden, als welche hier angenähert $E_{\text{Gd}} \approx 0,1 \text{ eV}$ gesetzt wird (nach /34/ ist $E_{\text{Gd}} \approx 0,15 \text{ eV}$).

6.2. dpa-Werte in der Referenzposition nach spektralen Anteilen

Wir nennen dann, Abschnitt 6.1 zufolge, die dpa-Rate $\dot{d}$ für den Neutronenenergiebereich $E_A \leq E \leq E_B$ im Referenz-Spektrum (c):

$$\dot{d}^c(E_A, E_B) \equiv \int_{E_A}^{E_B} \sigma_d(E) \phi_E^c(E) dE \quad (6.4)$$

mit der spektralen Neutronenflußdichte ϕ_E^c in diesem Spektrum. Den Materialindex lassen wir im folgenden fort, da stets von einheitlichem Material ($m = \text{Fe}$, vgl. Abschn. 6.1) die Rede ist. Definition (6.4) ist analog gebildet zu

$$\dot{d}^c \equiv \dot{d}^c(0 \rightarrow E_{\text{Gd}}, \infty) \equiv \int_{0 \rightarrow E_{\text{Gd}}}^{\infty} \sigma_d(E) \phi_E^c(E) dE \quad (6.4a)$$

und entspricht rechts mit ϕ_E statt ϕ_E und $E \rightarrow E_{\text{Gd}}$ (vgl. Abschn. 6.1) dem Zähler in Definition (6.2) rechts. Wir führen weiter den Prozentsatz p^c ein:

$$p^c(E_A, E_B) \equiv \dot{d}^c(E_A, E_B) / \dot{d}^c. \quad (6.5)$$

Da im Testexperiment E57 nahezu zeitpunktuelle Messungen der Flußdichten ϕ ausgeführt wurden, sprechen wir in diesem Abschnitt von Flußdichten und dpa-Raten statt von Fluenzen und dpa-Anzahlen; bezieht man die für die (zentrale) Referenzposition gewonnenen ϕ -Werte auf entsprechende Zentralpositionen wie die Spektralpositionen (mit Spektrumsindex I) in anderen FKS-Bestrahlungen, so sind ϕ_E^I und ϕ_E^I in Gl. (6.5) austauschbar, weil die Flußdichten dort als zeitlich gemittelte Größen aufzufassen sind.

In der Tabelle "Spektrale Anteile" zu diesem Kapitel sind in Spalte III einige p^c -Werte für besonders interessierende Energiebereiche (E_A , E_B) aufgeführt, die für unsere Referenzposition ermittelt wurden:

- für $E_A \geq E_{Gd}$ mittels Gl. (6.5) mit der oben erwähnten Spektrumsadjustierung;
- für $E_A = 0$, $E_B = E_{Gd}$ (also im Energiebereich thermischer Neutronen) mit

$$p^c(0, E_{Gd}) = \sigma_{d,th} \cdot \phi_{th} / \dot{d}_c \quad (6.6)$$

anstelle von Gl. (6.5). Dabei wurde

$$\sigma_{d,th} = \sigma_d(E=0,0253\text{eV}) = 1,084 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^{-2} \quad (6.7)$$

angesetzt nach Interpolation aus /48/. Die thermische Flußdichte wurde der Tabelle "Flußdichte- und Fluenz-Werte (Kap. 4)" entnommen für die Maximalposition E 57 Nr. 9. Zur Berechtigung der Annahme einer "thermischen" oder "Maxwell"-Flußdichte wird auf Abschnitt 4.3 verwiesen.

Die gesamte dpa-Rate wurde abgeschätzt zu:

$$\dot{d}^c = 7,7 \cdot 10^{-9} \text{ s}^{-1} \quad (6.8)$$

6.3. Diskussion

Nach Spalte III in der Tabelle "Spektrale dpa-Anteile" stammt ein überwältigender Prozentsatz (95 %) der dpa-Rate in unserer Referenzposition im Stahlinneren von Neutronen oberhalb von 0,1 MeV, jedoch nur etwa mehr als ein Drittel von Neutronen oberhalb von 1 MeV. Das ist eine merklich andere spektrale Zusammensetzung als für dünne Stahlsichten in Core-Nähe bzw. im H_2O -Reflektor des Leichtwasserreaktors zu erwarten ist: vgl. z.B. /49/.

In dicken Stahlschichten ist demgegenüber offenbar mit einer spektralen Verschiebung zu rechnen wie in Spalte III der o.g. Tabelle wiedergegeben. Das wird durch Auswertung eines Programms von IRL, USA, bestätigt, das Bestrahlungen in corenaher Surveillance Position und in verschie-

denen Druckbehälter-Materialdicken enthielt. In Spalte IV unserer Tabelle sind dpa-Anteile aufgeführt, die sich rechnerisch für Bestrahlung in 6" Druckbehälterdicke aus jenem IRL-Programm ergaben, was der Stahldicke (vom Core her, vgl. Abb. 6) für unsere Referenzposition entspricht. Die Anteile langsamer Neutronen an der Schädigung erscheinen in allen der genannten Fälle unbedeutend, wie für Leichtwasserreaktoren zu erwarten. Die zum IRL-Programm gehörigen Ergebnisse wurden mit Neutronenspektren nach /50/ und mit Schädigungs- bzw. dpa-Wirkungsquerschnitten nach /51/ und normiert gemäß /48/ ausgewertet; aus diesen Ergebnissen waren in die Tabelle "Spektrale dpa-Anteile" lediglich Relativwerte zu übernehmen.

Die statistische Verträglichkeitsprüfung erstreckte sich für schnelle Neutronen auf zwei Hypothesen: 1. Nullhypothese mit Annahme des Referenzspektrums (entsprechend Abschn. 3.2) und 2. Alternativhypothese mit Annahme einer Spektrumsvariation (vgl. Kap. 5). Für langsame Neutronen wurde dagegen nur die Verträglichkeit mit der Nullhypothese geprüft, die in diesem Fall Annahme des Fermi- bzw. des Maxwell-Spektrums besagt (vgl. Kap. 4). Eine solche vereinfachte Prüfung erschien völlig ausreichend angesichts des sehr geringen Anteils von langsamen Neutronen in der Tabelle "Spektrale dpa-Anteile".

Spektrale dpa-Anteile in Stahlproben
Definitionen entsprechend Gleichung (6.5)

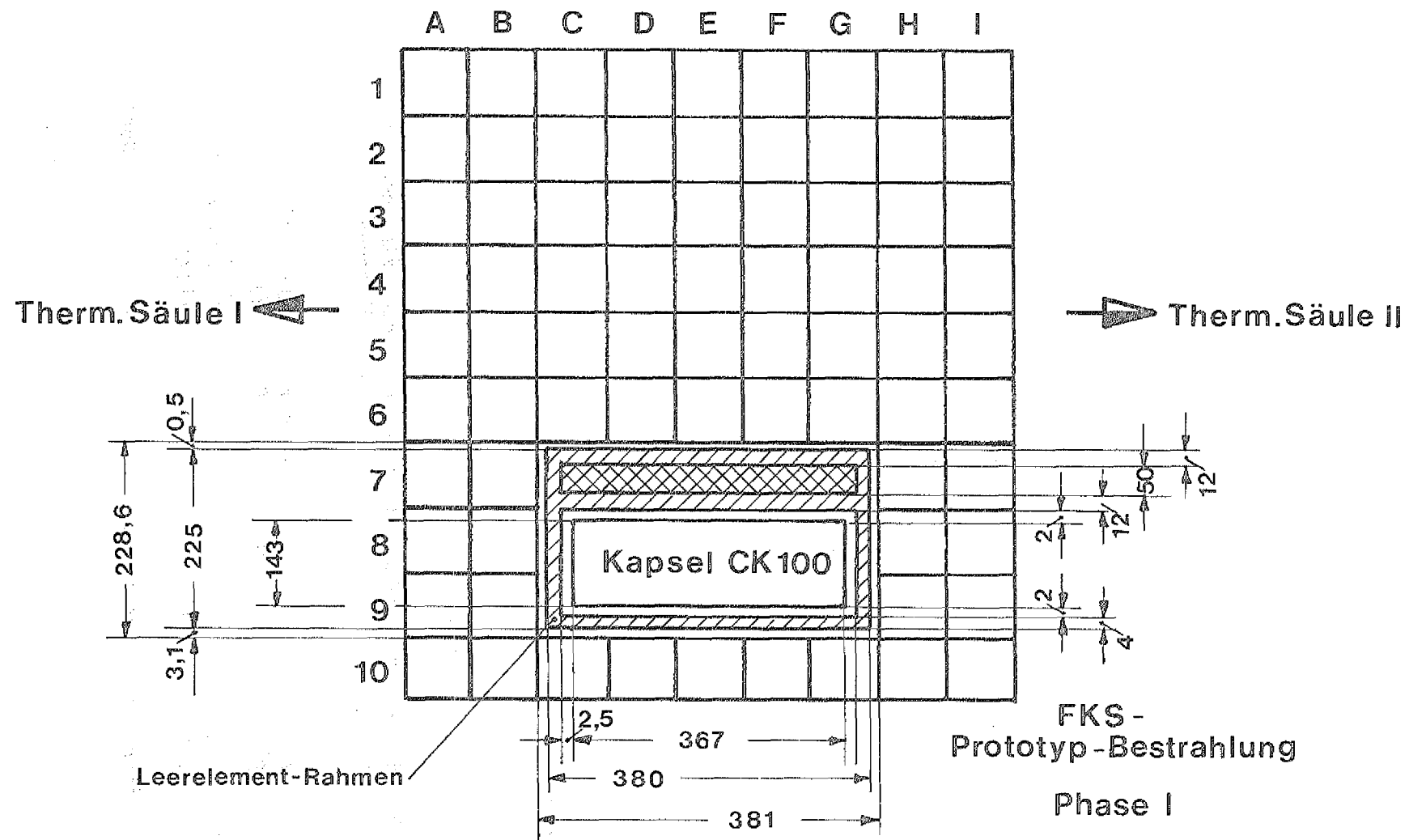
Energiebereich (MeV)		dpa-Anteil-Prozentsatz $p_c(E_A, E_B)$		Bemerkungen
E_A	E_B	FKS-E57 Pos.10	Vergleichsposition (s.Abschn.6.3)	
I	II	III	IV	V
0	∞		100	
0	0,1		2,4	
0	E_{Gd}	0,03		E_{Gd} entspr. Abschn. 6.1
E_{Gd}	∞	100		
E_{Gd}	0,1	5,3		
E_{Gd}	$2 \cdot 10^{-7}$	0,003		
0,1	∞	94,7	97,6	
0,1	1	58	60	
1	∞	36,7	37,6	

REFERENZEN

- /1/ L. Issler, Stand des Forschungsvorhabens Komponentensicherheit.
5. MPA-Seminar, Univ. Stuttgart (Okt. 1979).
- /2/ J. Föhl, Ch. Leitz, J. Ahlf, D. Pachur, G. Prillinger, Bestrahlungs-
untersuchungen im Forschungsvorhaben Komponentensicherheit.
5. MPA-Seminar, Univ. Stuttgart (Okt. 1979).
- /3/ G. Pott, J. Loevenich, Adaption of the FRJ-1 research reactor
for large volume steel irradiation capsules. IAEA-SR-77/51 (1981).
- /4/ W. Schneider, Trends and collaboration in neutron monitoring
of LWR pressure vessel steel irradiations at KFA Jülich. EUR6813,
459-467 (1979).
- /5/ W. Schneider, Tests on radiation damage exposure and the role
of its location dependency in bulky materials. NUREG/CP-0029,
1077-1985 (1982).
- /6/ W. Schneider et al., Special neutron measurement results from
the spectral positions of the Jülich FKS steel irradiation capsules.
Jül-2088 (1986).
- /7/ G. Pott, L. Thöne, FKS-Experiment E 51: Vorbestrahlungsbericht.
KFA-ZBB-IB-05/79.
- /8/ G. Pott, L. Thöne, FKS-Experimente E 53/54: Vorbestrahlungsbericht.
KFA-ZBB-IB-10/81.
- /9/ G. Borchardt, H. Küpper, G. Pott, L. Thöne, FKS-Experiment E 51:
Bestrahlungsbericht. KFA-ZBB-IB-17/82.
- /10/ G. Pott, L. Thöne, F. Putsch, FKS-Experimente E 55/56: Vorbestrah-
lungsbericht. KFA-ZBB-IB-18/82.
- /11/ G. Borchardt, H. Küpper, G. Pott, L. Thöne, FKS-Experiment E 54:
Bestrahlungsbericht. KFA-ZBB-IB-09/83.
- /12/ G. Borchardt, G. Pott, F. Putsch, L. Thöne, FKS-Experiment E 55:
Bestrahlungsbericht. KFA-ZBB-IB-10/84.
- /13/ G. Pott, L. Thöne, FKS-Dosimetrie-Stahlbestrahlung (E 57).
KFA-ZBB-IB-11/84.
- /14/ G. Borchardt, G. Pott, F. Putsch, L. Thöne, FKS-Experiment E 53:
Bestrahlungsbericht. KFA-ZBB-IB-4/85.
- /15/ G. Borchardt, G. Pott, F. Putsch, L. Thöne, FKS-Experiment E 56:
Bestrahlungsbericht. KFA-ZBB-IB-5/85.
- /16/ G. Borchardt, H. Lang, W. Schneider, A. Sievers, F. Stelzer,
L. Weise und R. Welzel, Neutronenflußdichten und Temperatur-
felder in einem Stahlblock (FKS-Vorversuch), Jül-1344(1976).

- /17/ G. Segelhorst, Offizielle Meßergebnisse. KFA-ZBB-SMT-03/1980FF.
- /18/ DIN25456 Neutronenfluenzmessung, Teil 1: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Aktivierungs- und Spaltungsdetektoren. Beuth (Mai 1983).
- /19/ ASTM E263-82, Standard method for determining fast-neutron flux density by radioactivation of iron, in: 1985 Annual Book of Standards, Vol. 12.02, ASTM (1985).
- /20/ W.L. Zijp, J.H. Baard, Nuclear data guide for reactor neutron metrology (1979 Edition), EUR7164 (1981).
- /21/ W. Seelmann-Eggebert, G. Pfennig u.a., Karlsruher Nuklidkarte. Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 5. Auflage (1981).
- /22/ N.E. Holden, Atomic weights of the elements. Pure and Appl. Chem., 51, 405-433 (1979).
- /23/ J.G. Cuninghame, Status of fission product yield data, fission product nuclear data - 1977. IAEA-213, Vol. I, 351-419 (1978).
- /24/ C.M. Lederer, V.S. Shirley, Table of Isotopes. 7th Ed. Wiley (1978).
- /25/ G. Borchardt (KFA Jülich-ZBB), unveröffentlicht.
- /26/ S.R. Wagner, On the quantitative characterization of the uncertainty of experimental results in metrology. PTB-Mitteilungen 89, 83-89 (1979).
- /27/ L. Weise, Neutronenspektrenumfaltungen aus gemessenen Sondenaktivierungen: Das FORTRAN-Rechenprogramm SAND-MX2, Jül-1837 (1983).
- /28/ G. Prillinger, Neutronenspektrum für das FRJ-1 Dosimetrie-Experiment, IKE-6 KS-11 (1984).
- /29/ G. Borchardt, H. Lang, L. Weise, Bestrahlung von Druckbehälterstahl: Neutronenflußdichten, Neutronenspektrum und Temperaturfelder in einer Großprobe. Kerntechnik 19, 219-224 (1977).
- /30/ D.A. Canonico, Transition temperature consideration for ... pressure vessels. Nucl. Eng. Design 17, 149-160 (1971).
- /31/ W.N. McElroy et al., Standardization of dosimetry ... NUREG/CP-0004, 17-60 (1977)
- /32/ S.F. Mughabghab, M. Divadeenam, N.E. Holden, Neutron cross sections, Vol. 1, Part A: Z=1-60. Academic Press (1981).
- /33/ S.F. Mughabghab, D.I. Garber, Neutron cross sections, BNL-325, 3rd Ed., Vol. 1 (1973): verwendet für Z 60.
- /34/ G. Borchardt, Gadolinium-Filter für thermische Neutronen. Atomkernenergie 15, 311 (1970).
- /35/ W. Schneider, Neutronenmeßtechnik. De Gruyter (1973).

- /36/ K.H. Beckurts, K. Wirtz, Neutron Physics. Springer (1964).
- /37/ D.I. Garber, R.R. Kinsey, Neutron cross sections. BNL-325, 3rd Ed., Vol. 2, Curves (1976).
- /38/ N.W. Smirnow, I.W. Dunin-Barkowski, Mathematische Statistik in der Technik (bearbeitet von W. Richter)., 2. Aufl., VEB deutsch. Verl. d. Wiss. (1969).
- /39/ S. Glasstone, A. Sesonske, Principles of nuclear reactor engineering. Van Nostrand (1967).
- /40/ W. Schneider et al., Report on the nuclear radiation measurements in KFA Jülich in the frame of the pressure vessel surveillance dosimetry improvement program. KFA-ZBB-IB-14/86.
- /41/ G.C. Martin, C.O. Cogburn, Special considerations for LWR neutron dosimetry experiments, in: Reactor Dosimetry, Proc. 5th ASTM EURATOM Symposium, D. Reidel Publ. Co. (1985), 399-406.
- /42/ H.J. Bormann (KFA Jülich-ZFR), mündliche Mitteilung.
- /43/ L. Weise, Prognose der schnellen Neutronenflußdichte in Brennelementkanälen des Forschungsreaktors FRJ-2. Jül-1084-BB (1974).
- /44/ N.W. Smirnow, Tables for the distribution and density functions of T distribution ("Student's" distribution). Pergamon Press Oxford etc. (1961).
- /45/ A. Alberman, J.P. Genthon, P. Mas, W. Schneider, L. Weise, S.B. Wright, W.L. Zijp, Introduction of neutron metrology for reactor radiation damage. EUR6182 (1978).
- /46/ Recommendations for displacement calculations for reactor/accelerator studies ... Nucl. Eng. Design, 33, 91 (1975).
- /47/ Nuclear Data for Radiation Damage Assessment and Related Safety Aspects. IAEA-TECDOC-263 (1982).
- /48/ ASTM E693-79, Standard practice for characterizing neutron exposures in ferritic steels in terms of dpa, in: 1985 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 12.02. ASTM (1985).
- /49/ W. Schneider, Die sicherheitsbegrenzende Neutronendosis für RDB-Stähle. Atomkernenergie 29, 99-102 (1977).
- /50/ C.Z. Serpan jr., B.H. Menke, Nuclear reactor neutron energy spectra. ASTM Dat. Ser. Publ. DS 52. ASTM (1974).
- /51/ C.Z. Serpan jr., Engineering damage cross sections ... Nucl. Eng. Design 33, 19-29 (1975).

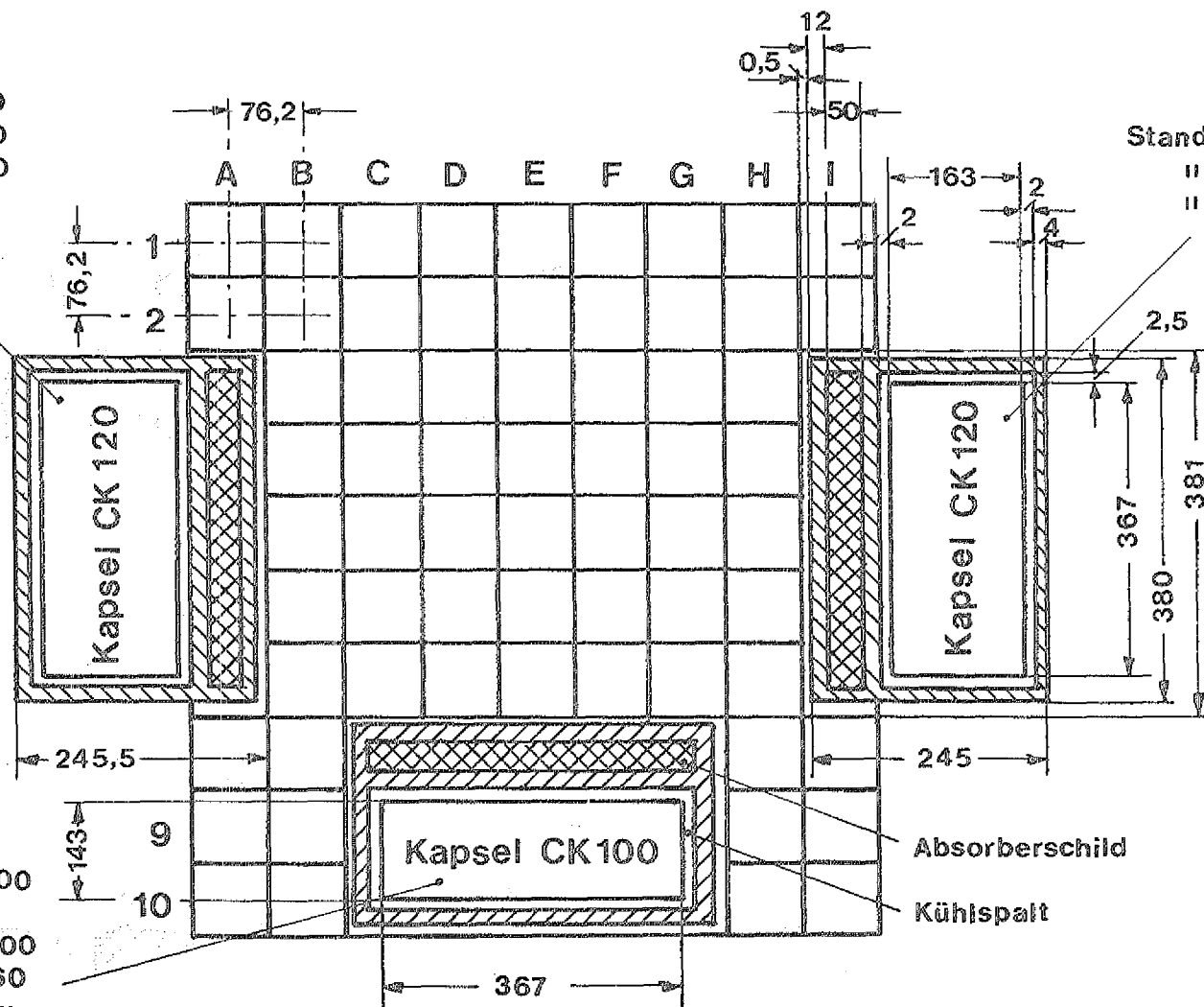


Kapsel-Anordnung zur FKS-Bestrahlung im FRJ-1, Phase I

Bestrahlungen:
 Standard E 54/120
 " E 58/120
 " E 64/100

Standard E 53/120
 " E 61/120
 " E 63/100

Prototyp E 51/100
 (Phase II)
 Dosim. Exp. E 57/100
 Standard E 55/60
 " E 56/ "
 " E 59/ "
 " E 60/ "
 " E 62/ "



FKS - Bestrahlungen
 Phase II

Kapsel-Anordnung zur FKS-Bestrahlung im FRJ-1, Phase II

Abb. 3 - Blatt I

Sonden-Belegungsplan
für die FKS-Prototyp-Bestrahlung
in CK100-Kapsel E51

Nr. : Positions-Nr. für Sonde ohne Gd-Umhüllung

Nr. : " " " " mit " "

Richtungsangabe "Core-Seite" gilt vor Drehung der Kapsel

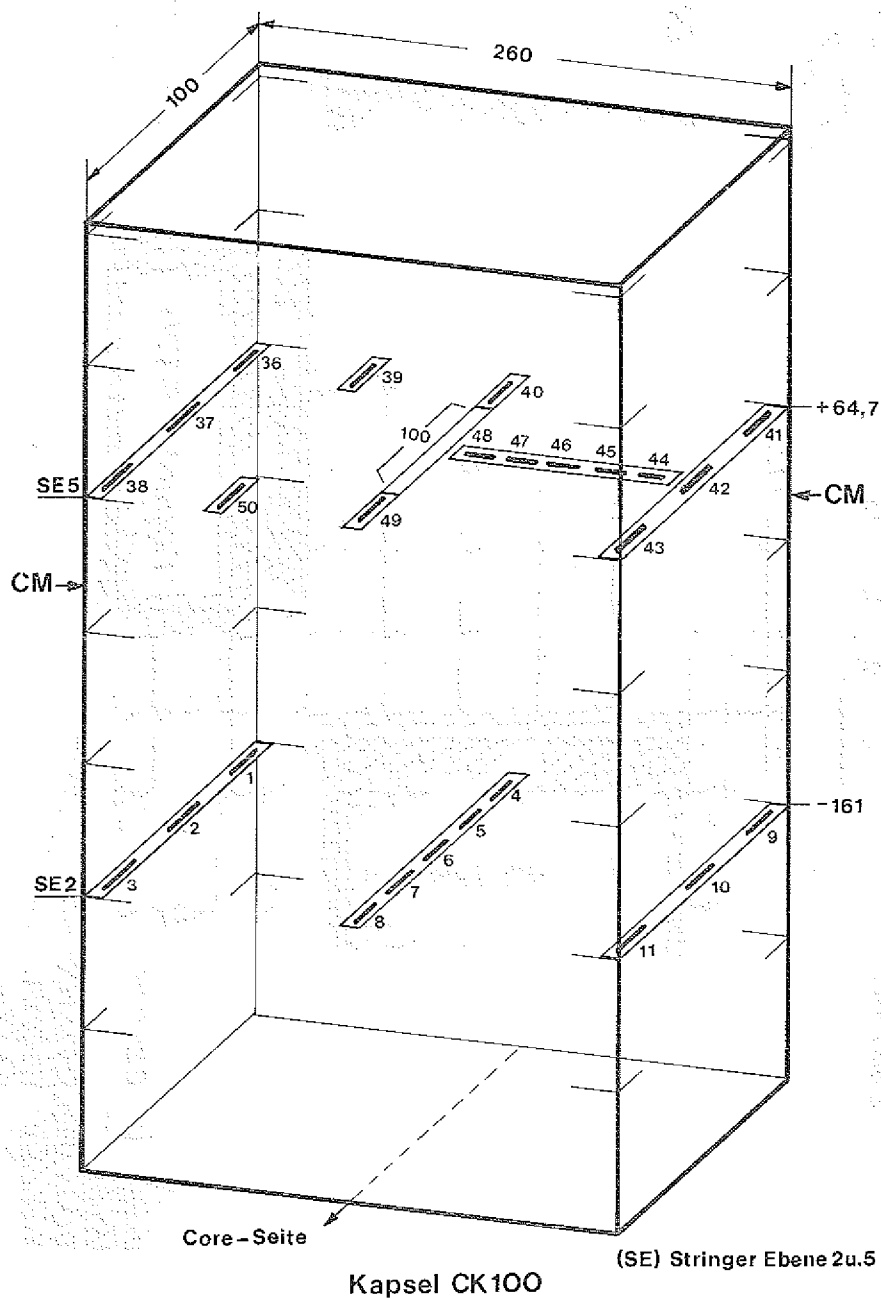
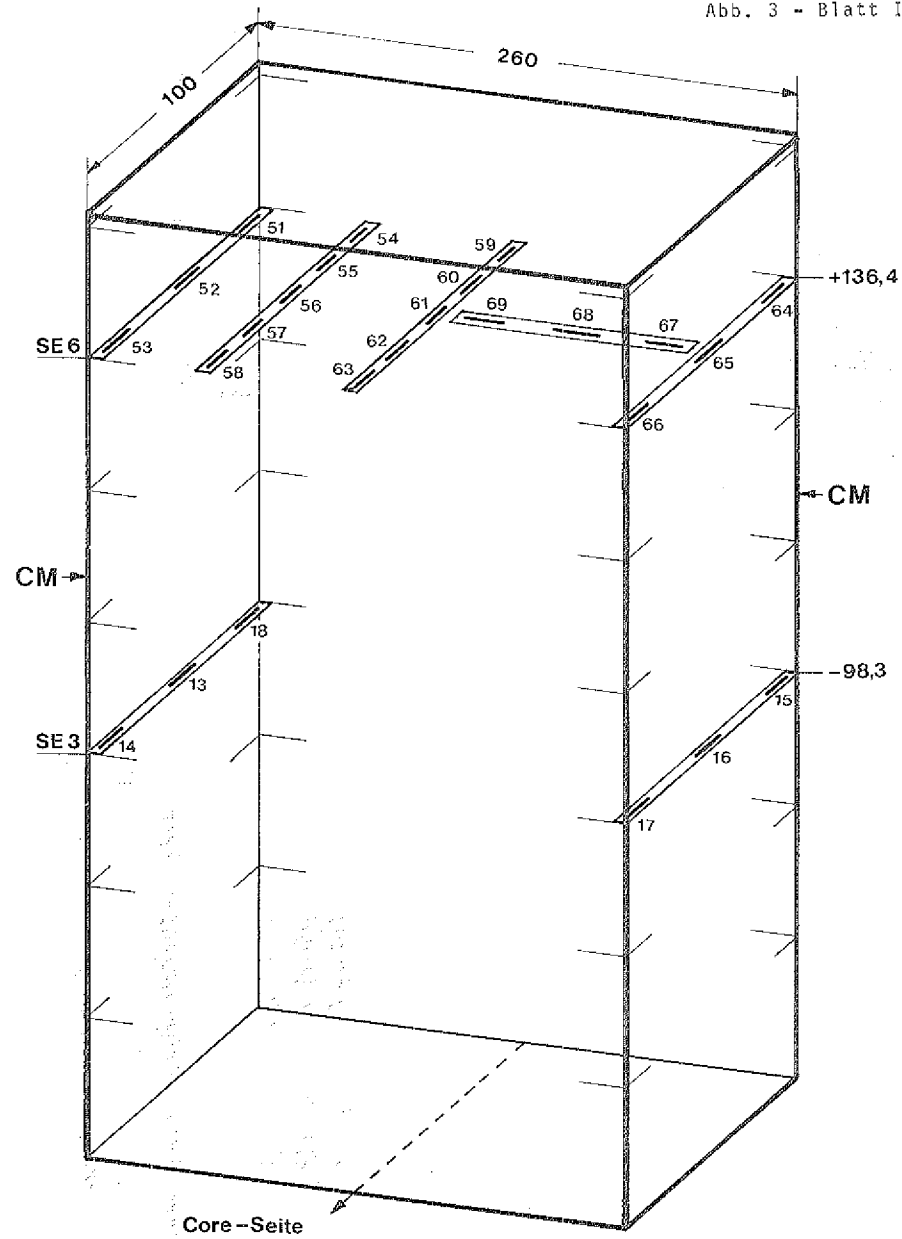
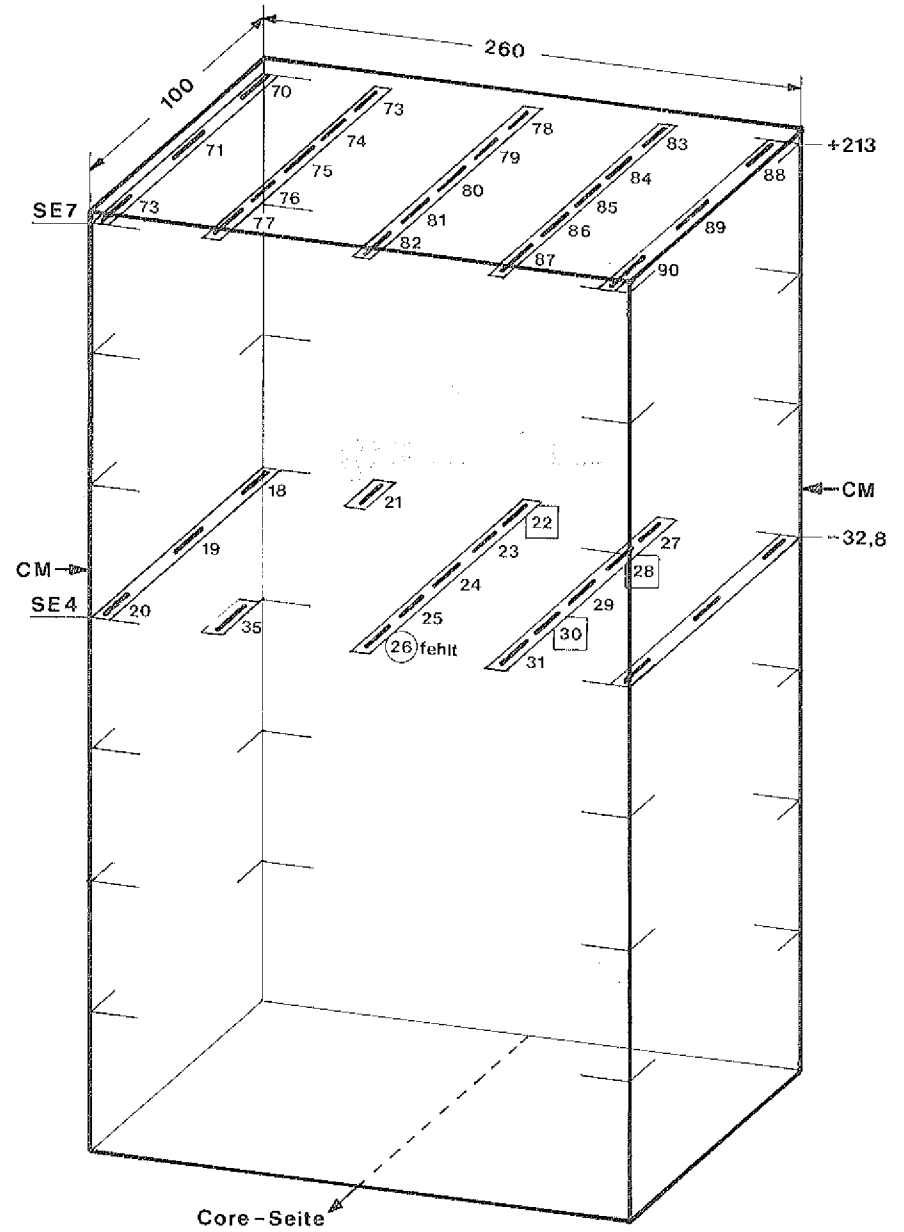


Abb. 3 - Blatt II



Kapsel CK100

(SE) Stringer Ebene 3 u.6

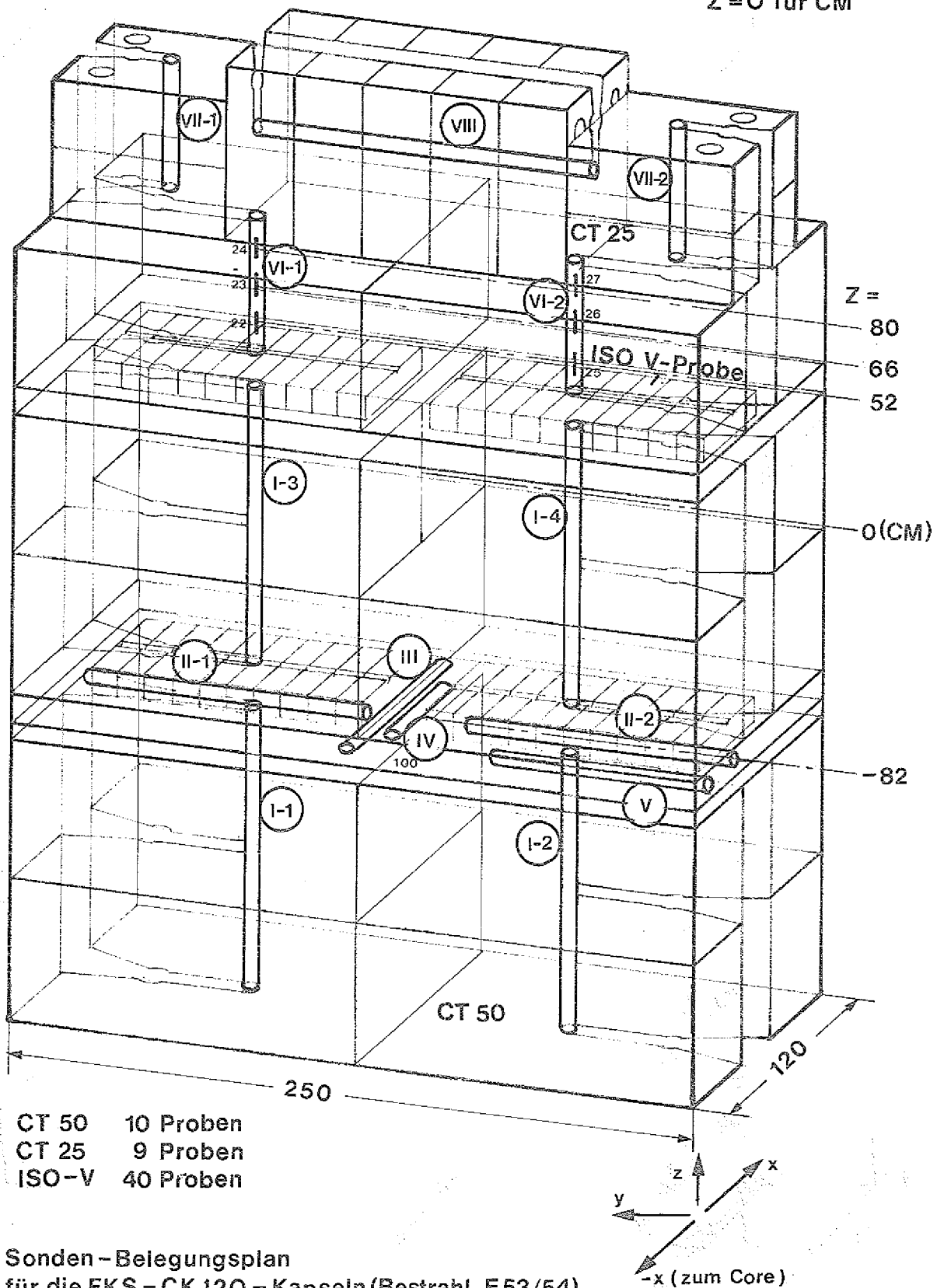


Kapsel CK 100

(SE) Stringer Ebene 4 u.7

Abb.4

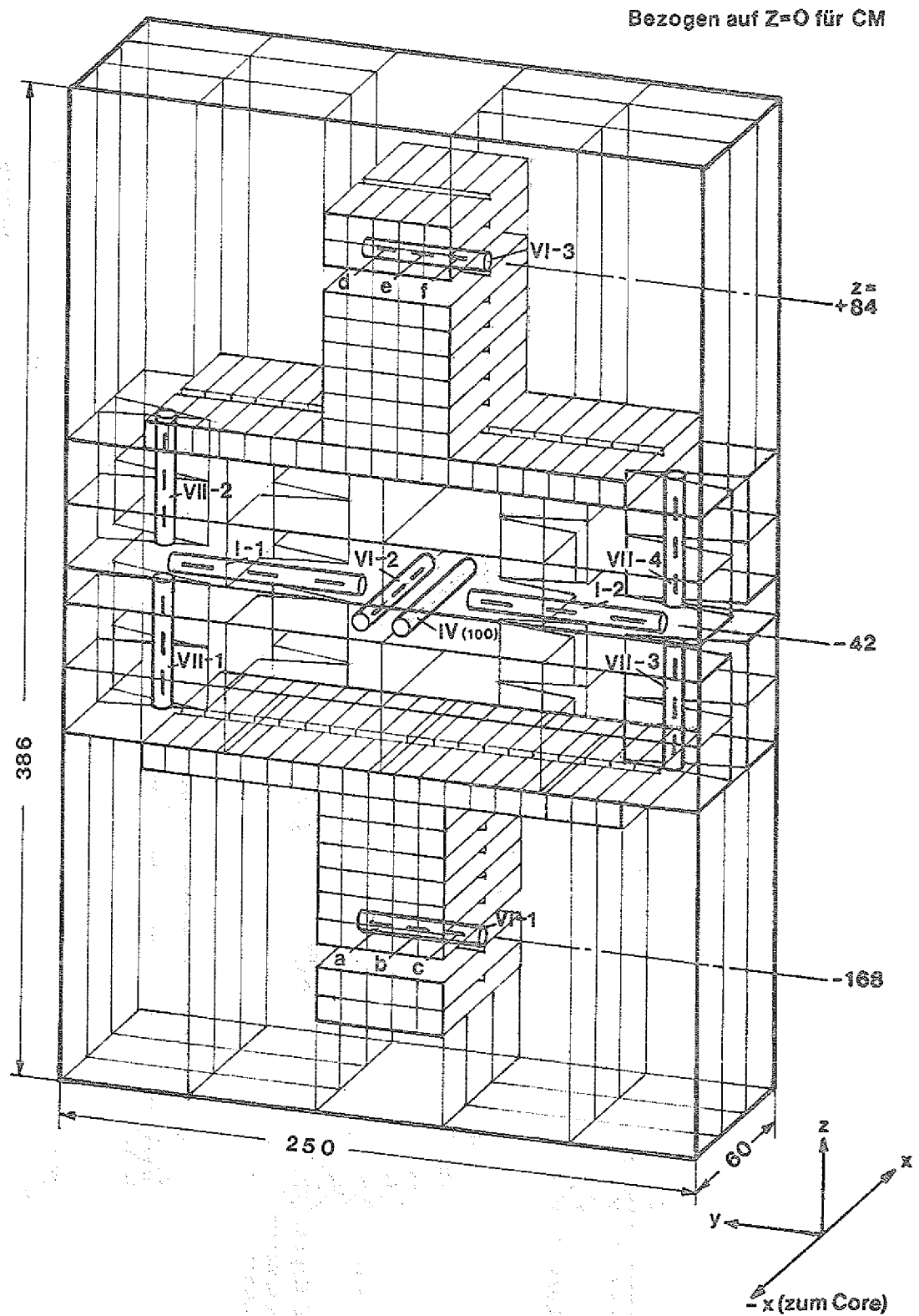
Bezogen auf
Z=0 für CM



CT 50 10 Proben
CT 25 9 Proben
ISO-V 40 Proben

Sonden-Belegungsplan
für die FKS-CK 120-Kapseln (Bestrahl. E53/54)
Römische Zahlen: Stringer-Nrn.
Arabische Zahlen: Detektor-Nrn.

Abb. 5



Sonden-Nrs. $abc = \frac{1}{16} \frac{2}{17} \frac{3}{18}$, $def = \frac{13}{28} \frac{14}{29} \frac{15}{30}$

gem. Sondenbelegung für die CK60- Kapseln $\frac{E55}{E56}$

FRJ-1 Gitterposition

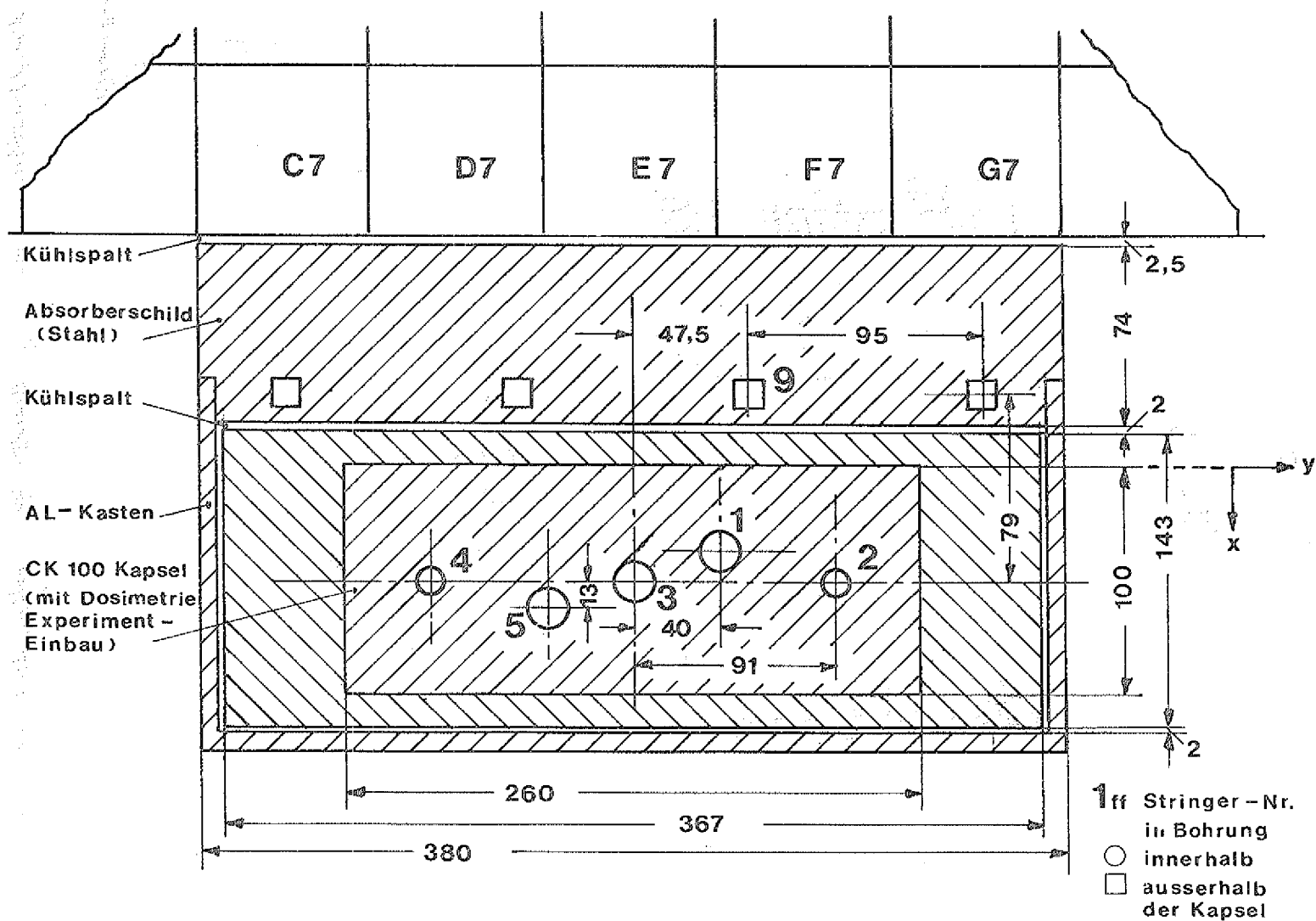
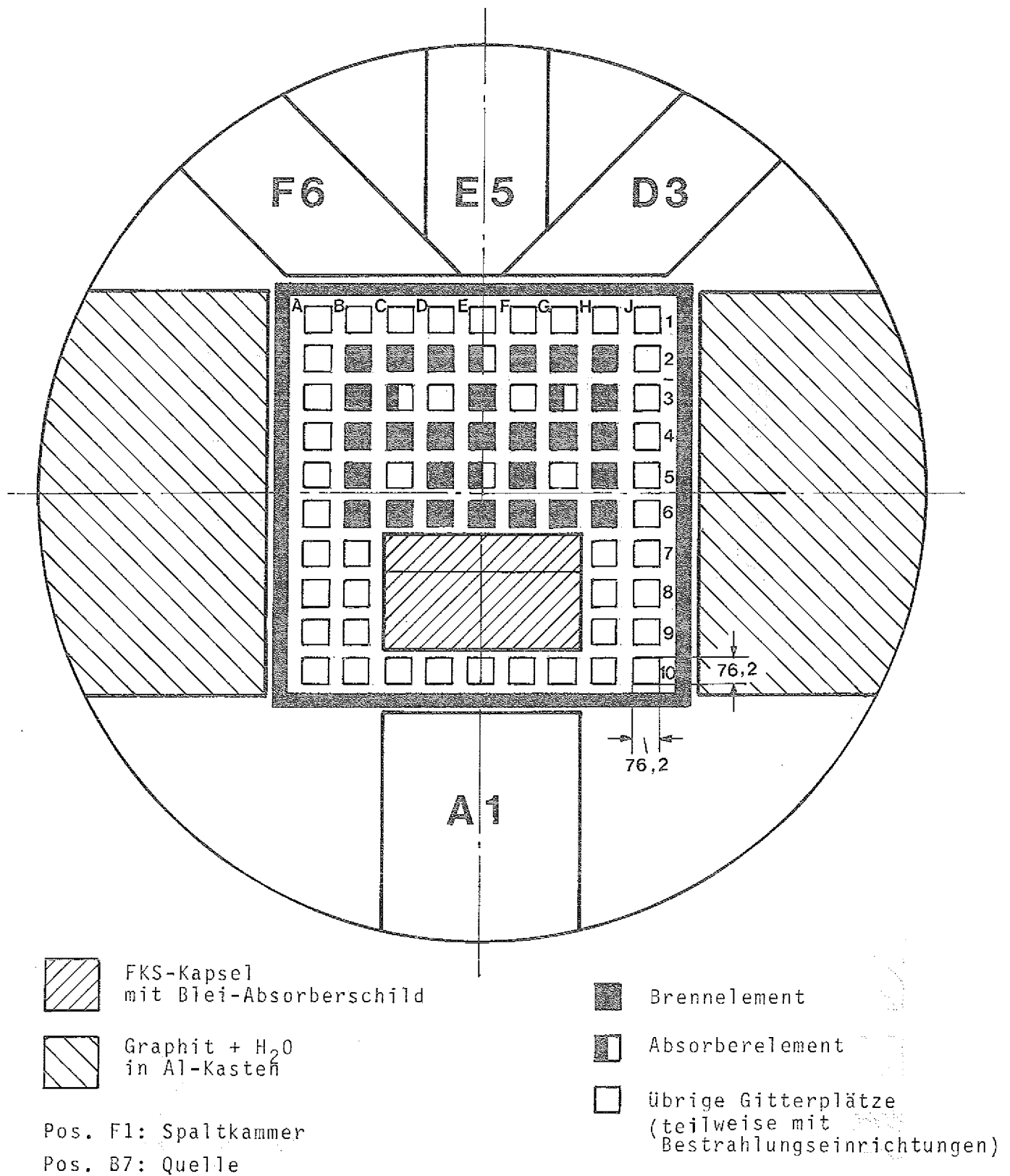


Abb. 6

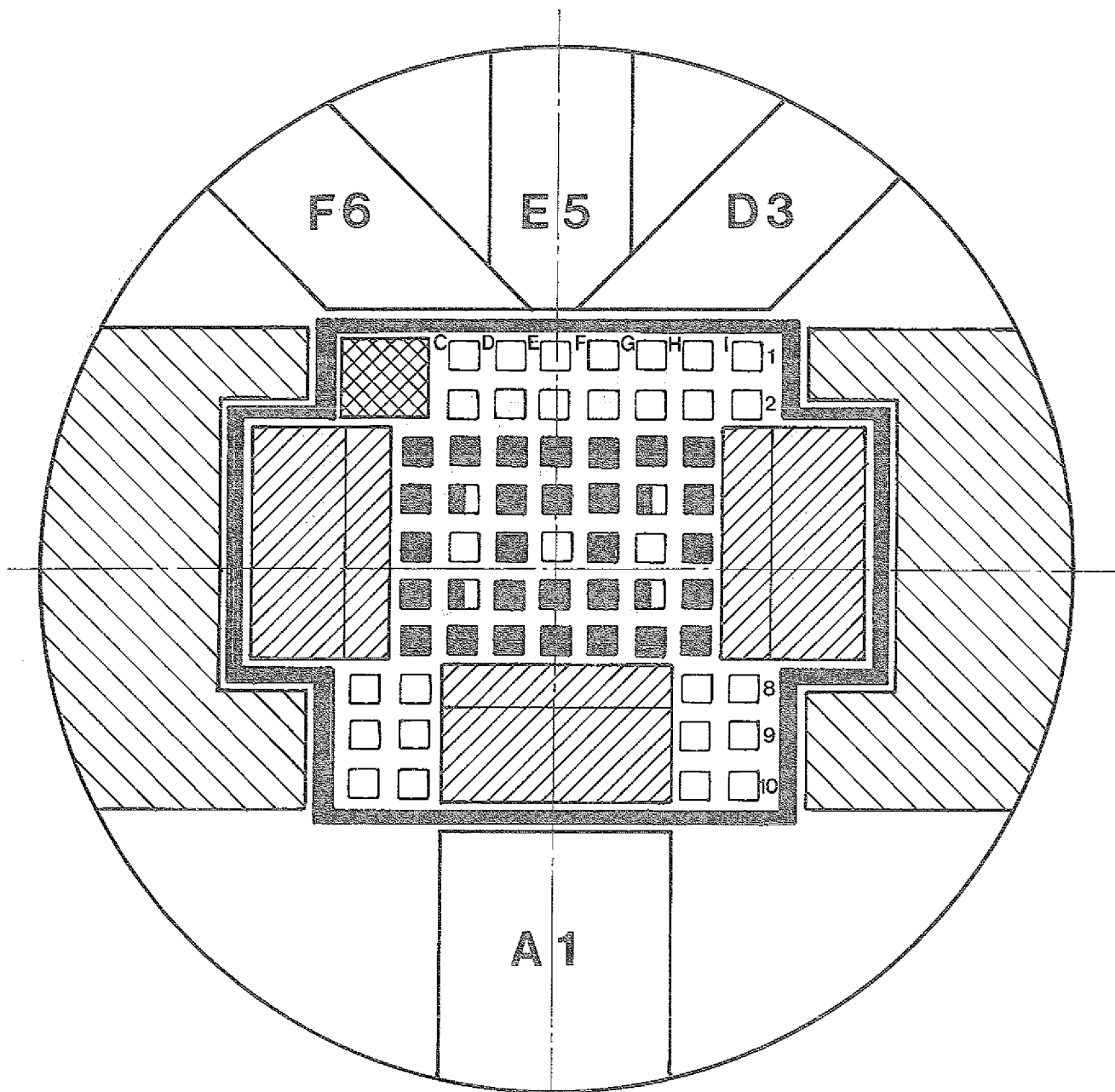
Stringer-Anordnung für das Dosimetrie-(Test-)Experiment E57

Abb. 7



FRJ-1 - Gitterplatzbelegung (gemäß Auskunft KFA-ZFR)
vor dem Umbau des Absorberschildes, d.h. bis 20.10.1979

Abb. 8



FKS-Kapseln
mit Stahl-Absorberschild



Neutronenflußbrücken
(Aluminium)



Experiment BE 43



Brennelement



Absorberelement



Bestrahlungseinrichtung
oder Leer-Al-Element

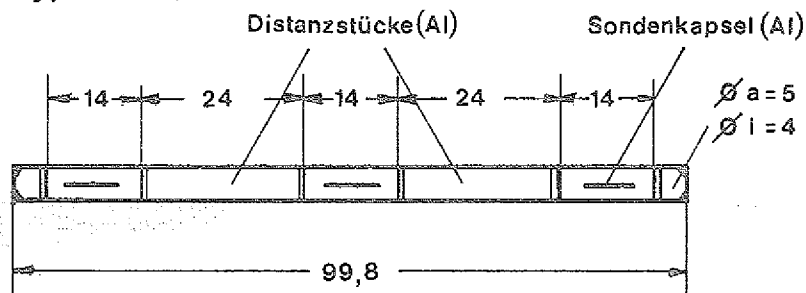
Pos. F2: Spaltkammer

Pos. H8: Quelle

FRJ-1-Gitterplatzbelegung (gemäß Auskunft KFA-ZFR)
nach dem Umbau des Absorberschilds, also ab 13.8.1980

Abb. 9

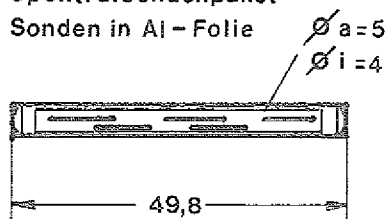
Typ I, II, III



Typ IV

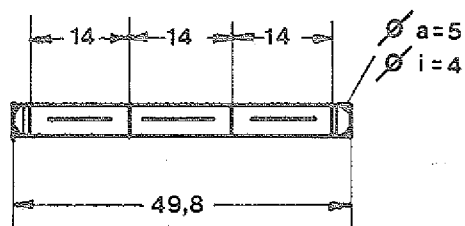
Spektralsondenpaket

Sonden in Al-Folie

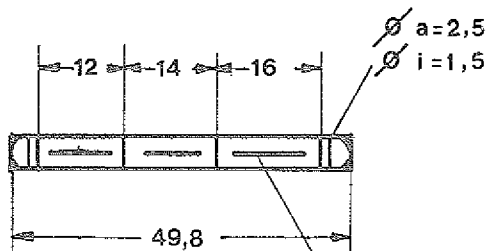


Typ VI

Sondenkapitel (Al)

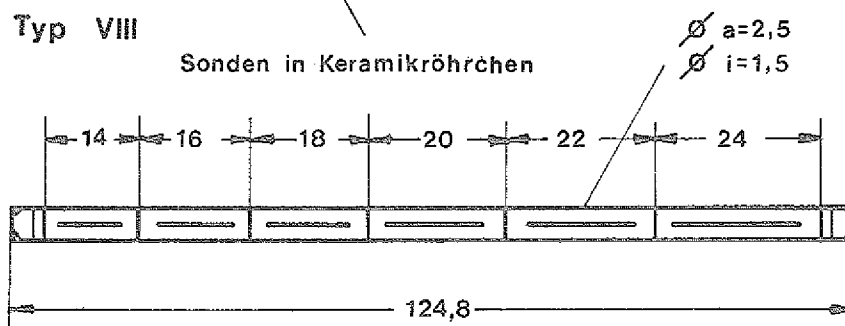


Typ VII



Typ VIII

Sonden in Keramikröhrchen

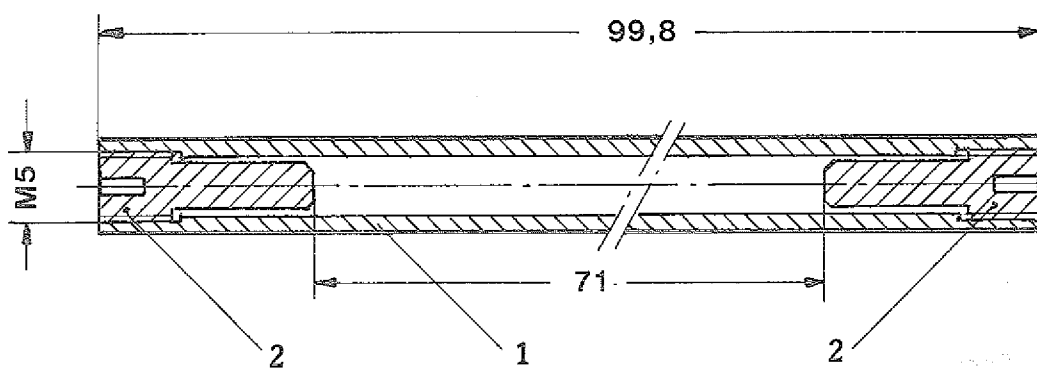


Sonden-Stringer: Werkstoff 1.4541
Alle Stringer an den Enden verschweisst

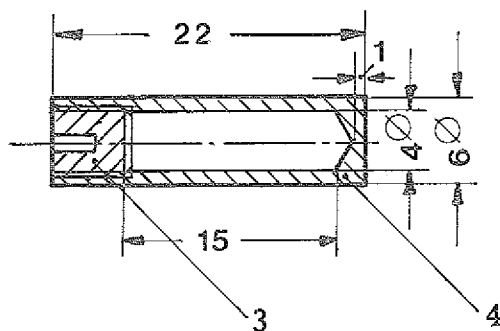
Sonden-Stringer und -Kapseln
für FKS-Standard-Bestrahlungen

Abb. 10

Typ: lang



Typ: kurz



1 Rohr 6 $\varnothing \times 1$

2 Stiftschrauben M5x14,4

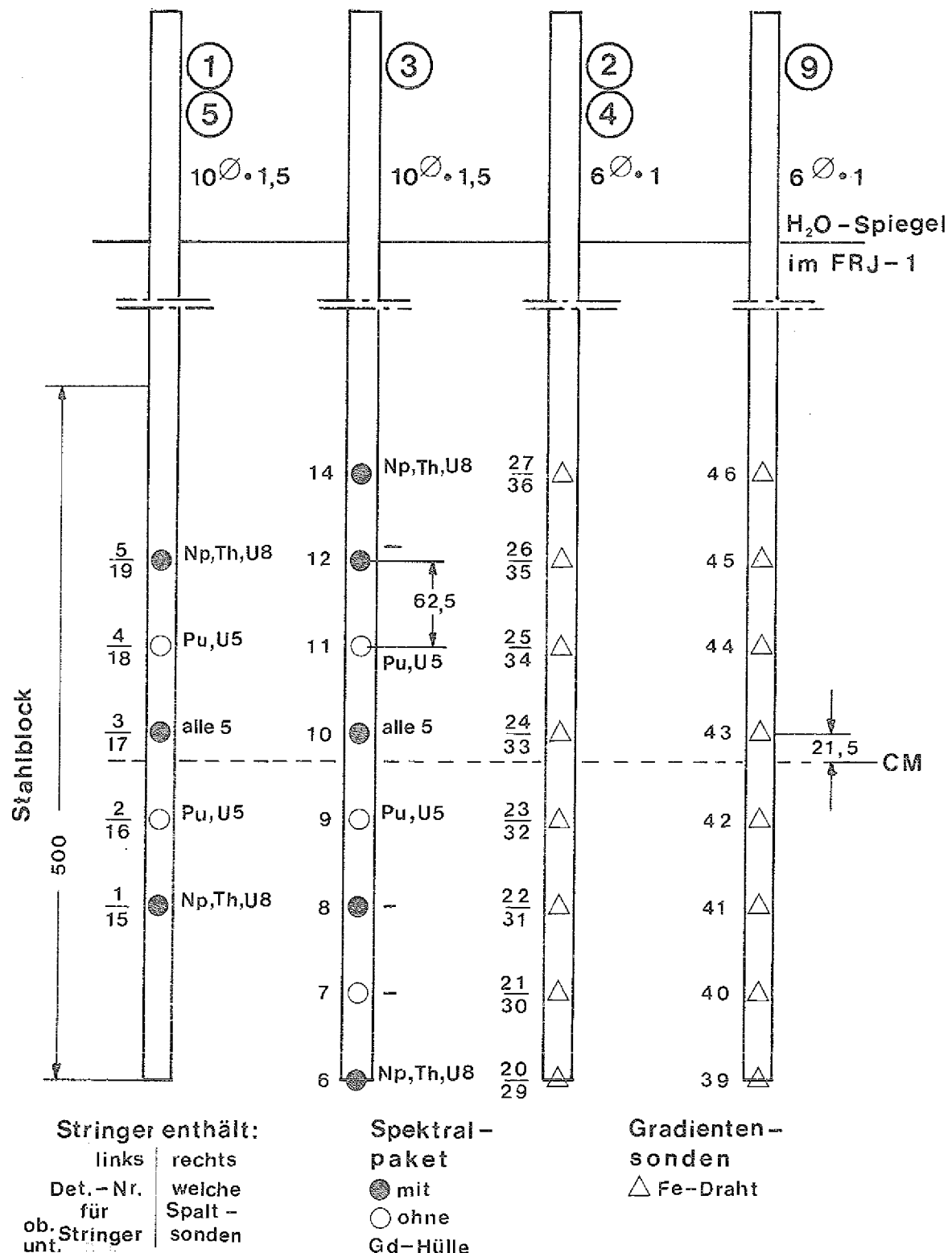
3 Stiftschrauben M5x5

4 Kapsel

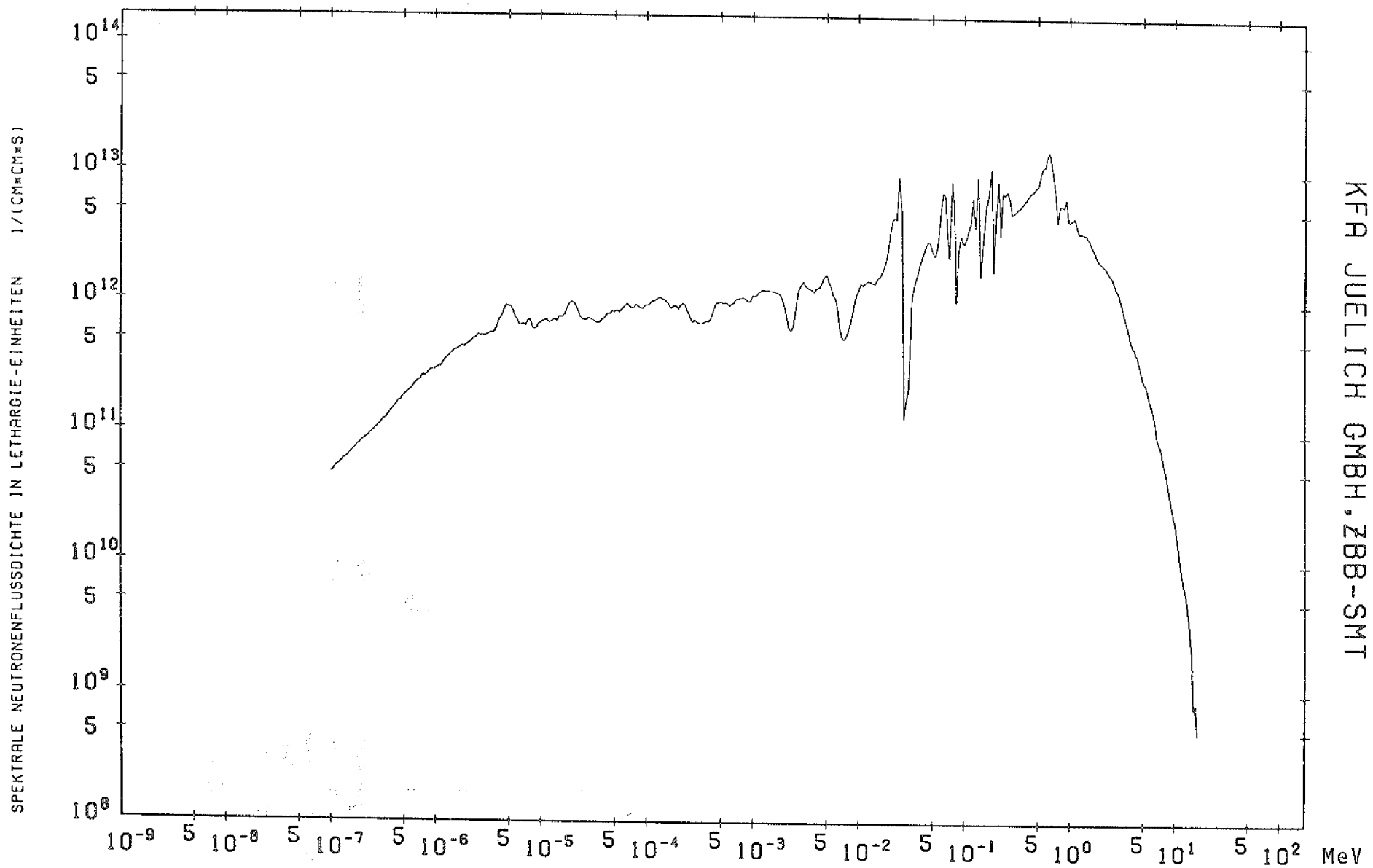
Sonden - Stringer:Werkstoff Al Mg 3

Stringer für die FKS-Prototyp-Bestrahlung (E 51)

Abb. 11



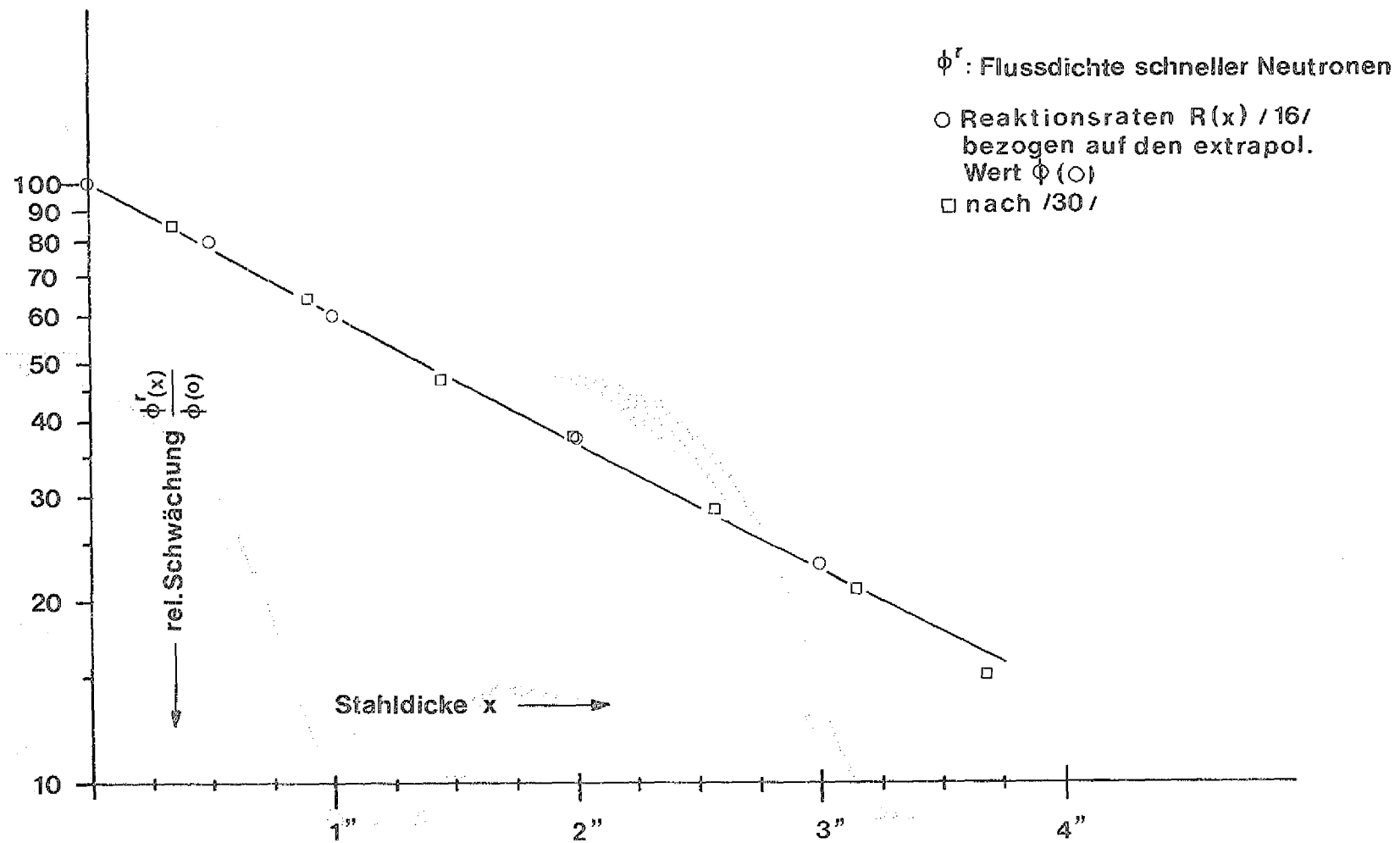
Stringer- und Sonden-Belegungsplan
für die FKS-Dosimetrie-Experiment-Kapsel (E57)



KFA JUELICH GMBH, ZBB-SMT

Abb. 12

Spektrale Neutronenflußdichte bestimmt in FKS-Dosimetrie-Experiment (E57) Position 10



Schwächung der Flußdichte schneller Neutronen in Stahlblock

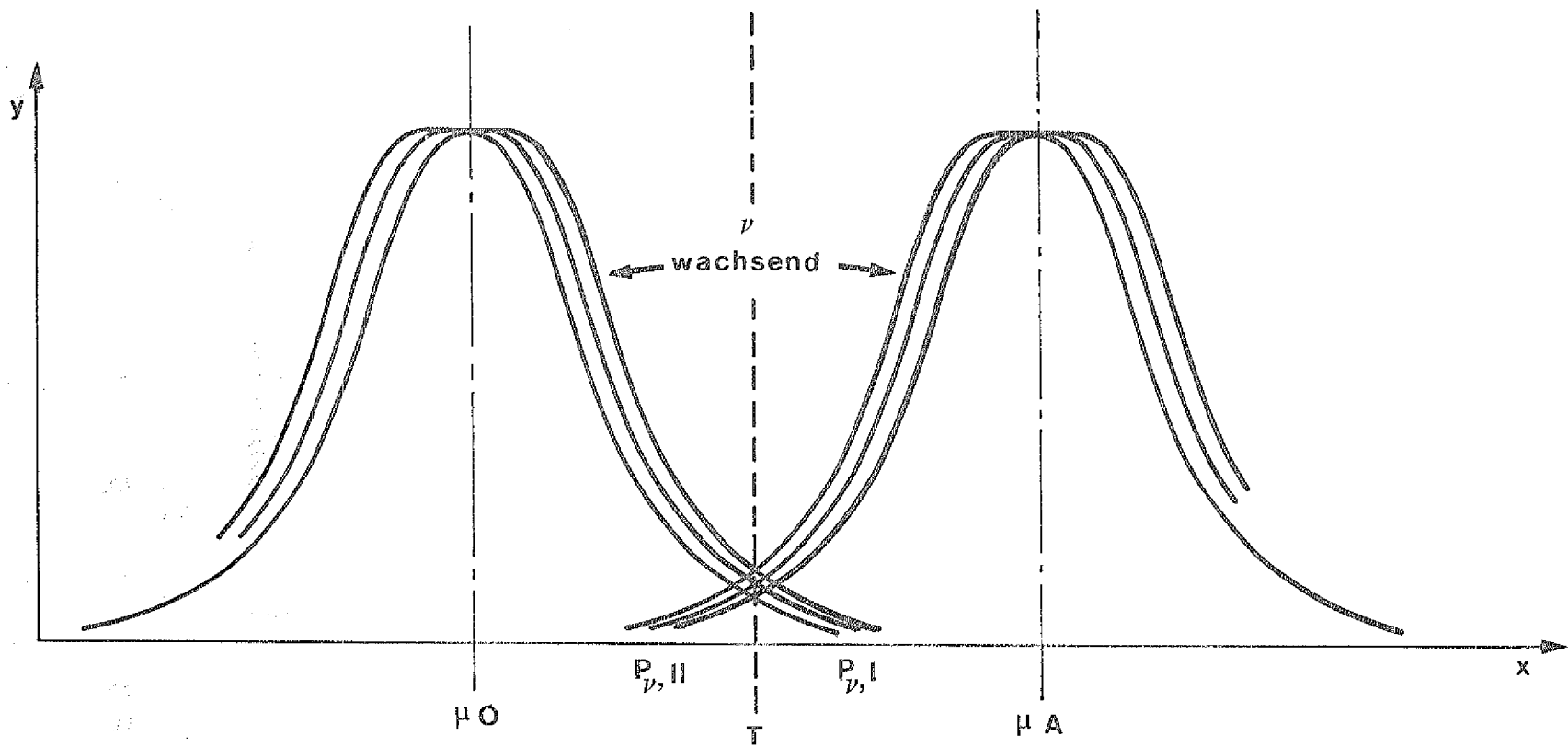


Abb. 14

Zwei statistische Hypothesen (wahrscheinlichste Werte: μ_0 , μ_A)
mit Restrisiken $P_{\nu,I}$, $P_{\nu,II}$ mit variabler Freiheitsgrade-Anzahl ν
bei fester Trennschranke T

