KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH
Zentralabteilung Brennelement- und Bestrahlungstechnologie

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

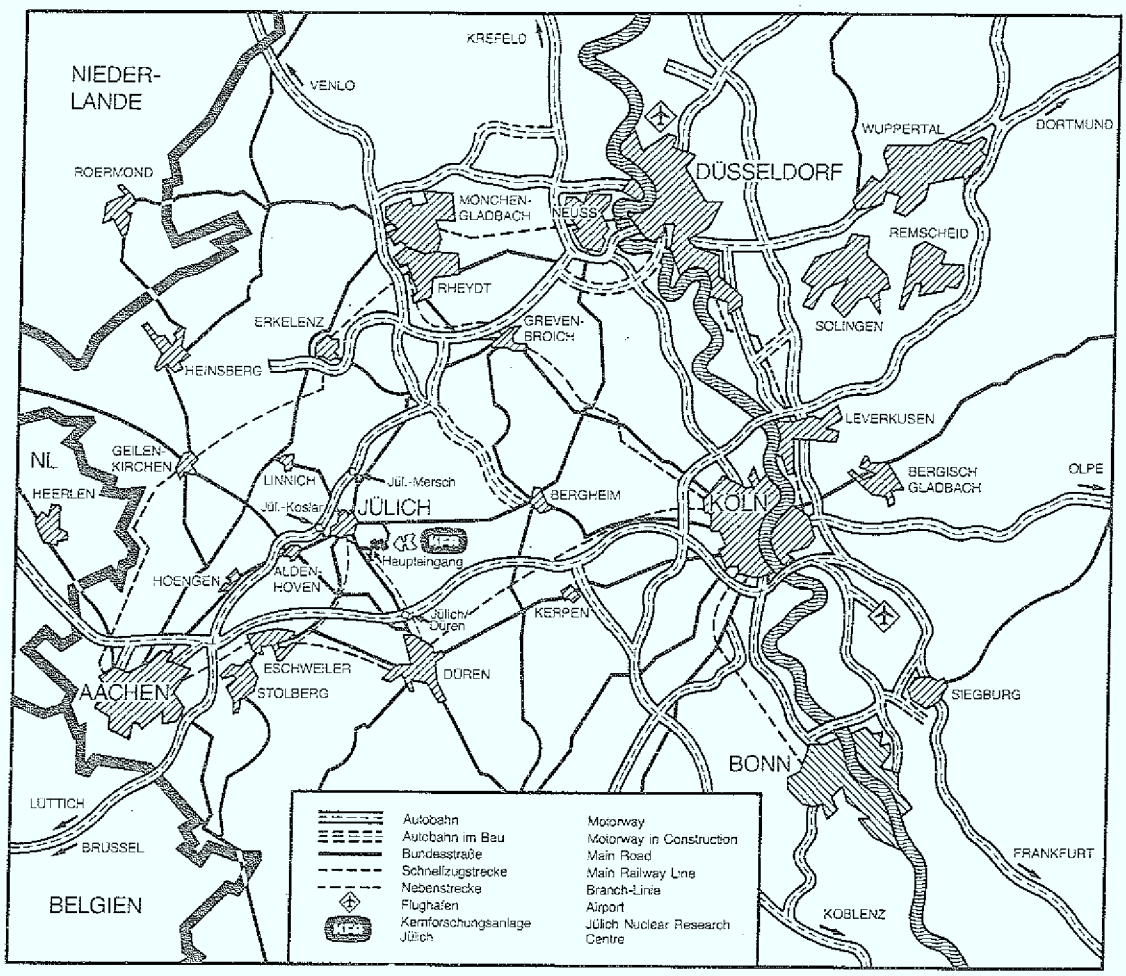
von

Wolfdietrich Schneider

in Zusammenarbeit mit

Günter Borchardt
Herbert Küpper
Günther Pott
Gerd Segelhorst
Ludwig Thöne
Lothar Weise

Jül-2087
Oktober 1986
ISSN 0366-0885



Als Manuskript gedruckt

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

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Postfach 1913 · 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

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.

INHALT

ABBILDUNGEN

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 obengenannten Meßergebnisse angegeben (Kap. 6); erhaltene dpa-Werte und

ihre Prozentanteile im vorliegenden Neutronenspektrum werden für die Referenzposition unserer FKS-Bestrahlungen zuammengestellt 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 20.10.1079); 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-"Spektralpaketen" 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 Spektralpaketen - 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, welch 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 <u>räumlichen</u> Neutronenmonitierung liegen für alle abgeschlossenen FKS-Bestrahlungen vor /17/. Als Meßgröße wurde dabei die spaltspektrum-äquivalente Fluenz $\Phi_{Fe}(E > 1\ MeV)$ entsprechend Gleichung (3.4) für die Meßreaktion Fe-54(n,p) angegeben; diese Fluenz ist - wie näherungsweise in Abschnitt 3.3 geschehen - für das wahre Neutronenspektrum 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:

$$R_i = A_{io} \cdot h_i / N_{io} \qquad (2.1a)$$

mit

A_{io} 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_{io} 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:

$$R_i = A_{io} \cdot h_p / N_{io}\, y_{ip} \qquad (2.1b)$$

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

p als Index für das betrachtete Spaltprodukt,

y_{ip} der Spaltausbeute für die Erzeugung des Spaltproduktnuklids 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 Zählausbeuten 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-1ff) 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-1ff 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 Korrektionen abgeschätzt. Bei Fehlerfortplanzung 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 Korrektionen 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:

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

Rein formal pflegt man noch Wirkungsquerschnitte oberhalb 1 MeV einzuführen:

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

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

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

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

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

3.2. Ermittelung 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" ${}_c\phi_i(E>1\text{MeV})$ (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:

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

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 a l l e hier betrachteten Meßpositionen $\vec{r}$ gleich ist bzw. sind:

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

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

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

und entsprechend die korrigierten Fluenzen:

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

Tabelle VI (Kap. 3) enthält korrigierte Wirkungsquerschnitte $_c\sigma_i(E>1MeV)$, 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 $\sigma_i^f(E>1MeV)$ 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 DELTAI 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

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

Tabelle I : FKS-Stahlbestrahlungskapseln mit Neutronen-Spektral-Fluenz-Monitierung

Kap. 3

Tab. II-1

```
BEGINN?:2 :8 :79 :18 :0
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
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
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
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
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
BEGINN 11 10 79 15  0  ENDE? :20 :10 :79 :21 :0   L?:
BEGINN 20 10 79 21  0  ENDE? :13 :8 :80 :13 :0
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
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
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
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
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
```

← ohne L: Unterbrechung

← inzwischen Kapsel-drehung(und für E51: Absorberschild-Umbau)

```
GESAMT - BESTRAHLUNGSZEIT = 1.281960000000E+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	509400
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	2584680
16.01.82.16.00	23.01.82.20.35	0	621300
23.01.82.20.35	24.01.82.20.35	10	86400
24.01.82.20.35	25.01.82.16.26	0	71460
25.01.82.16.26	19.02.82.16.26	10	2160000
19.02.82.16.26	25.02.82.16.12	0	517560
25.02.82.16.12	27.03.82.16.17	10	2592300
27.03.82.16.17	31.03.82.11.36	0	328740
31.03.82.11.36	31.03.82.14.51	10	11700
31.03.82.14.51	05.04.82.16.14	0	436980
05.04.82.16.14	01.05.82.17.40	10	2251560
01.05.82.17.40	10.05.82.16.53	0	774780
10.05.82.16.53	05.06.82.16.53	8.9	2246400
05.06.82.16.53	16.06.82.20.53	0	964800
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
26.08.82.15.32	24.09.82.11.54	9.3	2492520
24.09.82.11.54	30.09.82.17.45	0	539460
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
19.10.82.16.41	31.10.82.16.41	10	1036800
31.10.82.16.41	04.11.82.18.43	0 *	352920
04.11.82.18.43	04.12.82.17.50	10	2588820
04.12.82.17.50	12.12.82.17.50	0	691200
12.12.82.17.50	08.01.83.17.50	10	2332800
08.01.83.17.50	13.01.83.21.01	0	443460
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
LM = 9.69045

Bestrahlungsgeschichte der

FKS-Standard-Stahlbestrahlungs-Kapsel E53

"Leistung" (in MW): Nominale Reaktorleistung

"LM" (in MW): Mittlere Leistung während der Bestrahlung

LEISTUNG = Ø*: In diesem Zeitraum Drehung der Kapsel

"TB": Kumulierte Bestrahlungsdauer

Lokale Flußdichten hier nicht spezifiziert

Tab. II-3

```
BEGINN?:8 :10 :81 :18 :27
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
```

← ohne L?: Unterbrechung

← Kapseldrehung

GESAMT - BESTRAHLUNGSZEIT = 1.822086000000E+07 SEC

(kumulierte Dauer)

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

```
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
BEGINN 19 10 82 16 41  ENDE? :31 :10 :82 :16 :41   L?:
BEGINN 31 10 82 16 41  ENDE? :4 :11 :82 :18 :43        ←   Kapseldrehung
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)

B e s t r a h l u n g

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

Detektor-Meßreaktion	Material u. Reinheit	Maße mm	Angebrachte Korrekturen: Meß-Element (-Nuklid)	Angebrachte Korrekturen: Verunreinigungen
$^{58}Fe(n,\gamma)\,^{59}Fe$	s. ^{54}Fe			
$^{58}Ni(n,p)\,^{58}Co$	Ni met. 99,995%	0,5 Øx5,0	Co58(n,γ)	-
$^{45}Sc(n,\gamma)\,^{46}Sc$	Sc met. 99,9 %	1,2 Øx2,5		
$Ti(n,x)\,^{46}Sc$	Ti met. 99,917%	3x[0,3 Øx5,0]	-	Ta 182
$^{109}Ag(n,\gamma)^{110}Ag^{m}$	Ag met. 99,999%	0,5 Øx5,0		
$^{54}Fe(n,p)\,^{54}Mn$	Fe met. 99,999%	0,5 Øx5,0	-	-
$^{59}Co(n,\gamma)\,^{60}Co$	Co met. 99,99 %	0,1 Øx5,0		
$^{63}Cu(n,a)\,^{60}Co$	Cu met. 99,999%	1,0 Øx5,0	-	Co 59
$^{232}Th(n,f)F.P.$	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

Detektor-Meßreaktion	Material u. Reinheit	Maße mm	Angebrachte Korrekturen Meß-Element (-Nuklid)	Verunreinigungen
$^{58}Fe(n,\gamma)\,^{59}Fe$	s. ^{54}Fe			
$^{58}Ni(n,p)\,^{58}Co$	Ni met. 99,995%	0,5 Ø x5,0	Co58(n,γ)	-
$^{45}Sc(n,\gamma)\,^{46}Sc$	Sc met. 99,9 %	1,2 Ø x2,5		
$Ti(n,x)\,^{46}Sc$	Ti met. 99,917%	3x[0,3 Ø x5,0]	-	Ta 182
$^{54}Fe(n,p)\,^{54}Mn$	Fe met. 99,999%	0,5 Ø x5,0	-	-
$^{59}Co(n,\gamma)\,^{60}Co$	Co met. 99,99 %			
$^{63}Cu(n,a)\,^{60}Co$	Cu met. 99,999%	0,5 Ø x5,0	-	Co 59

Tab. III-3

Neutronendetektoren-Beschreibung mit Korrektur-Angabe zu:

Experiment: FKS Bestrahlung: E 55/56

Detektor-Meßreaktion	Material u. Reinheit	Maße mm	Angebrachte Korrekturen Meß-Element (-Nuklid)	Verunreinigungen
$^{58}Fe(n,\gamma)\,^{59}Fe$	s. ^{54}Fe			
$^{58}Ni(n,p)\,^{58}Co$	Ni met. 99,995%	0,5 Ø x5,0	Co58(n,γ)	-
$^{45}Sc(n,\gamma)\,^{46}Sc$	Sc met. 99,9 %	1,2 Ø x2,5		
$Ti(n,x)\,^{46}Sc$	Ti met. 99,917%	3x[0,3 Ø x5,0]	-	Ta 182
$^{54}Fe(n,p)\,^{54}Mn$	Fe met. 99,999%	0,5 Ø x5,0	-	-
$^{59}Co(n,\gamma)\,^{60}Co$	Co met. 99,99 %	0,1 Ø x5,0		
$^{63}Cu(n,\alpha)\,^{60}Co$	Cu met. 99,999%	0,5 Ø x5,0	-	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 (-Nuklid)	Verunreinigungen
$^{115}In(n,n)^{115}In^{m}$	In met. 99,97 %	0,4 Ø x5,0		
$^{27}Al(n,\alpha)^{24}Na$	Al met. 99,999%	0,5 Ø x1,0		
$^{63}Cu(n,\gamma)^{64}Cu$	Cu met. 99,999%	0,5 Ø x5,0		
$^{186}W(n,\gamma)^{187}W$	W met. 99 %?	Folie~8mm^{2}x0,1		
$^{48}Ti(n,p)^{48}Sc$	Ti met. 99,917%?	3x[0,3 Ø x5,0]		
$^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au$	Au met. 99,99 %	0,5 Ø x5,0		
$^{47}Ti(n,p)^{47}Sc$	s.^{48}Ti			
$^{58}Fe(n,\gamma)^{59}Fe$	s.^{54}Fe			
$^{58}Ni(n,p)^{58}Co$	Ni met. 99,995%	0,5 Ø x5,0	Co58(n,γ)	-
$^{45}Sc(n,\gamma)^{46}Sc$	Sc met. 99,9 %	1,2 Ø x2,5		
$Ti(n,x)^{46}Sc$	Ti met. 99,917%?	3x[0,3 Ø x5,0]	-	Ta 182
$^{109}Ag(n,\gamma)^{110}Ag^{m}$	Ag met. 99,999%	0,5 Ø x5,0		
$^{54}Fe(n,p)^{54}Mn$	Fe met. 99,999%	0,5 Ø x5,0	-	-
$^{59}Co(n,\gamma)^{60}Co$	Co met. 99,99 %	0,1 Ø x5,0		
$^{232}Th(n,f)$F.P.	ThO_2 *1) 100%Th-232	1,27Øx7,5	U233(n,f) und (γ,f) vernachlässigt	
$^{235}U(n,f)$F.P.	UO_2 *1) 99,89 %U-235	1,27Øx8,0		
$^{238}U(n,f)$F.P.	U_3O_8 *2) 99,999%U-238	1,27Øx7,0	U238(n,γ)Abbrand +(γ,f) vernachlässigt	U235 (n,f)
$^{237}Np(n,f)$F.P	NpO_2 *1) 99,99%Np-237	1,27Øx8,5	Np237(n,γ)Abbrand +(γ,f) vernachlässigt	
$^{239}Pu(n.f)$F.P.	PuO_2 *1) 99,1 %Pu-239	1,27Øx6,9		

*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)	1.03860-12	+- 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/(cm²s)	E (MEV)	Int. Fluß 1/(cm²s)	E (MEV)	Int. Fluß 1/(cm²s)
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	5.000-03	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

Tabelle VI: Korrigierte Wirkungsquerschnitte

gemittelt über das gemäß Abschnitt 3.2 bestimmte Neutronenspektrum

Meßreaktion	Berechnete Reaktionsrate 1/s	Wirkungsquerschnitt in cm^2 spaltspektrum-gemittelter E>0	E>1 MeV	korrigierter E>1 MeV
Np-237(n,f)	1.2425E-11	1.312E-24	1.9024E-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 für 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

Tabelle 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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): 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)	1.0892E-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	8.71647E-02	3.64188E+12	3.14658E+17
10	Ti47(n,p)	4.5325E-14	.0434	1.64519E+12	8.70894E-02	3.64065E+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	1.06891E+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

*

Tabelle VII - 2 : Flußdichte- und Fluenz-Werte *berechnet*

für Neutronen oberhalb 1 MeV zur FKS-Bestrahlung: E 57 mit Bestrahlungsdauer: 86400 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
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	8.70894E-02	3.53101E+12	3.05079E+17
10	Ni58(n,p)	2.3769E-13	.032	1.51082E+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)	5.0682E-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
s

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
3	Np237(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	8.70396E-02	4.50276E+12	3.89038E+17
3	Ni58(n,p)	2.9872E-13	.032	1.89874E+12	6.12291E-02	4.43763E+12	3.83411E+17
3	Fe54(n,p)	2.0971E-13	.047	1.81465E+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)	6.6829E-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	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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	5.46008E-02	2.81554E+12	2.432639+17
17	U238(n,f)	8.5325E-13	.0186	1.92934E+12	4.07426E-02	2.72481E+12	2.35424E+17
17	Ti47(n,p)	3.1508E-14	.0435	1.14367E+12	8.71393E-02	2.53082E+12	2.18663E+17
17	Ni58(n,p)	1.8251E-13	.032	1.16008E+12	6.12291E-02	2.71127E+12	2.34254E+17
17	Fe54(n,p)	1.209E-13	.051	1.04616E+12	8.09136E-02	2.76434E+12	2.38839E+17
17	Ti(n,x)Sc46	1.4212E-14	.0331	8.30625E+11	7.35976E-02	2.64886E+12	2.28861E+17
17	Ti48(n,p)	4.198E-16	.025	9.65057E+11	6.67084E-02	2.92474E+12	2.52698E+17
17	Al27(n,a)	9.7626E-16	.0269	9.55011E+11	.064789	2.61011E+12	2.25514E+17

s

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
6	Np237(n,f)	6.8162E-12	.0232	3.58295E+12	4.69813E-02	1.93706E+12	1.67362E+17
6	In115(n,n')	5.3771E-13	.0316	1.96209E+12	5.46586E-02	2.32496E+12	2.00877E+17
6	U238(n,f)	7.4791E-13	.0187	1.69115E+12	4.07884E-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)	3.0881E-14	.0435	1.12091E+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	2.05709E+17
6	Fe54(n,p)	1.0678E-13	.0535	9.23902E+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

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
14	Np237(n,f)	7.2138E-12	.0232	3.79195E+12	4.69813E-02	2.85006E+12	1.77125E+17
14	In115(n,n')	5.0985E-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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
1	Np237(n,f)	1.36222E-11	.0231	7.16053E+12	.046932	3.87123E+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	3.58051E+17
1	Th232(n,f)	3.11078E-13	.0555	2.6486E+12	8.02851E-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)	2.0036E-13	.0335	1.73374E+12	7.11917E-02	4.58118E+12	3.95814E+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	6.78897E-02	4.59513E+12	3.9702E+17
1	Al27(n,a)	1.53831E-15	.0269	1.50483E+12	.064789	4.1128E+12	3.55346E+17

Tabelle VII - 8 : 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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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	5.46000E-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	9.70396E-02	3.57175E+12	3.08599E+17
5	Ni58(n,p)	2.36086E-13	.0321	1.50063E+12	6.12814E-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	.064789	3.44897E+12	2.97991E+17

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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	2.70766E+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	1.12260E+12	6.12014E-02	2.62385E+12	2.26701E+17
15	Fe54(n,p)	1.22588E-13	.0426	1.06077E+12	7.58997E-02	2.80294E+12	2.42174E+17
15	Ti(n,x)Sc46	1.39507E-14	.0333	8.15354E+11	7.36070E-02	2.68016E+12	2.24654E+17
15	Ti48(n,p)	3.01497E-16	.0346	8.77005E+11	7.08672E-02	2.65789E+12	2.29641E+17
15	Al27(n,a)	1.06105E-15	.0273	1.03074E+12	6.49561E-02	2.83894E+12	2.45285E+17

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
19	Np237(n,f)	7.87278E-12	.0232	4.13834E+12	4.69813E-02	2.23733E+12	1.93385E+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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
1	Fe54(n,p)	2.0036E-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	7.07544E-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	7.56202E-02	3.8212E+12	3.30152E+17

Bemerkung: Stringer 1
:

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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
15	Fe54(n,p)	1.22508E-13	.0426	1.06077E+12	7.58997E-02	2.80294E+12	2.42174E+17
16	Fe54(n,p)	1.35715E-13	.0568	1.17436E+12	8.46891E-02	3.10309E+12	2.68107E+17
17	Fe54(n,p)	1.20896E-13	.051	1.04613E+12	8.09136E-02	2.76425E+12	2.38831E+17
18	Fe54(n,p)	1.14315E-13	.052	9.89184E+11	8.15475E-02	2.61378E+12	2.25831E+17
19	Fe54(n,p)	9.57061E-14	.0336	8.2885E+11	7.12388E-02	2.19012E+12	1.89227E+17

Bemerkung: Stringer 5
:

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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	2.46682E+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)	1.4084E-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)	1.1482E-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
s

Tabelle VII - 14 s 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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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)	1.6839E-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)	1.4608E-13	.0386	1.27097E+12	.073729	3.35837E+12	2.90163E+17
12	Fe54(n,p)	1.2808E-13	.0386	1.10829E+12	.073729	2.92851E+12	2.53024E+17
14	Fe54(n,p)	9.7751E-14	.0453	8.45853E+11	7.74474E-02	2.23585E+12	1.93108E+17

Bemerkung: Stringer 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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
29	Fe54(n,p)	9.3420E-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)	1.1057E-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

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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
39	Fe54(n,p)	4.469E-13	.0385	3.86709E+12	7.36767E-02	1.02182E+13	8.82856E+17
40	Fe54(n,p)	5.7504E-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	6.08158E-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

*

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.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
*

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.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)	2.86712E-13	.0244	1.78871E+12	6.73896E-02	4.72641E+12	6.05926E+19

Bemerkung: Von Stringer-Ebene 4
*

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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
44	Fe54(n,p)	1.5951E-13	.0244	1.38026E+12	6.73896E-02	3.64715E+12	4.67565E+19
45	Cu63(n,a)	9.44872E-16	.0162	1.30327E+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

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
55	Fe54(n,p)	1.8318E-13	.0244	1.58508E+12	6.73896E-02	4.18836E+12	5.36948E+19
57	Fe54(n,p)	1.42181E-13	.0244	1.23031E+12	6.73896E-02	3.25093E+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	2.30836E-14	.0217	1.34913E+12	6.92235E-02	4.30236E+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

*

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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.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	3.37081E+12	4.32138E+19
74	Cu63(n,a)	7.8644E-16	.0163	1.08474E+12	.11417	3.27683E+12	4.2009E+19
75	Ni58(n,p)	1.57428E-13	.0165	1.00065E+12	5.47472E-02	2.33867E+12	2.99817E+19
76	Fe54(n,p)	8.69015E-14	.0247	7.51971E+11	6.74988E-02	1.98698E+12	2.54731E+19
77	Ti(n,x)Sc46	2.48272E-14	.0231	1.45103E+12	.069675	4.62734E+12	5.93225E+19
79	Fe54(n,p)	1.51097E-13	.0244	1.30746E+12	6.73896E-02	3.45479E+12	4.42904E+19
80	Ti(n,x)Sc46	1.92388E-14	.0211	1.12442E+12	6.90377E-02	3.58576E+12	4.59695E+19
81	Ni58(n,p)	1.29304E-13	.0161	8.21891E+11	5.46279E-02	1.92087E+12	2.46256E+19
83	Fe54(n,p)	1.50922E-13	.0244	1.30595E+12	6.73896E-02	3.45079E+12	4.42391E+19
85	Fe54(n,p)	1.25036E-13	.0245	1.08195E+12	6.74259E-02	2.85891E+12	3.66513E+19
87	Fe54(n,p)	1.40321E-13	.0246	1.21422E+12	6.74623E-02	3.2084E+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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.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	3.82853E+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	3.82808E+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
:

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.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	1.20529E-14	.0198	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 Spektalposition(in Stringer IV)
:

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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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)	1.98399E-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	1.09563E+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.	Meßreaktion	Reaktionsrate 1/s	+/- Unsich.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
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 Spektalposition (in Stringer IV)
*

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.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
16	Fe54(n,p)	1.73369E-13	.0255	1.50019E+12	6.77957E-02	3.96403E+12	1.05126E+19
17	Cu63(n,a)	9.00003E-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.	Gem.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)	1.55004E-15	.0167	2.13909E+12	.114227	6.46183E+12	1.71368E+19

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

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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
25	Fe54(n,p)	8.60089E-14	.0233	7.44247E+11	6.69992E-02	1.96657E+12	8.73705E+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	1.88095E+12	8.35667E+19
23	Cu63(n,a)	4.93728E-16	.0168	6.81004E+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-[illegible]

Tabelle VII - 29 : 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.	Spaltspektrumäqu. Flußdichte >1MeV 1/(cm^2*s)	+/- Unsich.	Gem.Gl.(7): Flußdichte 1/(cm^2*s)	Fluenz 1/cm^2
100	Fe54(n,p)	9.74009E-14	.0232	8.42893E+11	6.69645E-02	2.22723E+12	9.89511E+19
100	Ni58(n,p)	1.35256E-13	.0165	8.59723E+11	5.47472E-02	2.00929E+12	8.92687E+19
100	Ti(n,x)Sc46	1.31729E-14	.0206	7.69895E+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:

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

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-Korrektion F_{fi} verstehen wir die Abweichung des Resonanzintegrals $I_i(>E_g(\vec{r}))$ oberhalb der Grenzenergie 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:

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

Die Flußstörungs-Korrektion $K_{ep,i,j}$ (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:

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

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 Neutronendurchstrahlung, 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 Neutronenflußdichte" folgendermaßen aus:

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

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:

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

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

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

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. $= \phi_{th}$ 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

$$M \equiv \frac{\xi \, \Sigma_s}{\Sigma_a} \tag{4.7}$$

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

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

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

Kap. 4

Tab. I - 1

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

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

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate-Meßergebnis Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Fluenz 1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	7.4E-23	.027027	4.77655E-11	3.41221E-02	
	.6	.1	1.0758E+12	.113114	9.29491E+16
RAGW= 12					
Au197(n,g)Au198	1.56E-21	.025641	1.90384E-10	3.76753E-02	
	.128	.1	9.53446E+11	.113916	8.23777E+16
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23	4.16667E-02	8.56251E-12	2.19252E-02	
	.992	.1	7.19297E+11	.114529	6.21472E+16
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.7E-24	5.88235E-02	1.03865E-12	.108651	
	.996	.1	6.13424E+11	.161757	5.29999E+16
RAGW= 15					
U235(n,f)F.P.	2.75E-22	1.81818E-02	2.59651E-10	1.88038E-02	
	1	.1	9.44186E+11	.107493	8.15776E+16
RAGW= 16					
Pu239(n,f)F.P.	3.01E-22	3.32226E-02	3.08729E-10	4.73111E-02	
	.72	.142	1.42455E+12	.156224	1.23081E+17
RAGW= 17					
Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23	.055325	1.18354E-11	1.35239E-02	
	.236	.177	6.93638E+11	.188342	5.99303E+16
RAGW= 18					
W186(n,g)W187	5E-22	.07	1.76385E-10	2.91372E-02	
	.35	.176	1.00791E+12	.193972	8.70838E+16

** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:	9.34288E+11 1/(cm^2*s)	
	Unsich.d.Mittels,+/-%:		4.70381
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:		9.84056E-02
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:		8.65471E-02
	Mittl.Abw.a.W./Uns.d.M.:		1.83994

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte 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. I - 2

08/06/86 16:10:37 10P20087

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+/-.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 RAPW= 11	.561333
Au197(n,g)Au198 234.673	2.15396E-10	3.76653E-02	1.93936E-10	5.33158E-02	2.146E-11 RAPW= 12	.669758
Sc45(n,g)Sc46 694.17	1.15416E-11	2.18392E-02	8.78814E-12	3.10422E-02	2.75346E-12 RAPW= 13	.165422
Fe58(n,g)Fe59 28.3049	1.22674E-12	.108558	1.07218E-12	.153443	1.5456E-13 RAPW= 14	1.38518
U235(n,f)F.P. 619.57	3.1031E-10	1.78332E-02	2.59651E-10	.036	5.0659E-11 RAPW= 15	.263861
Pu239(n,f)F.P. 95.4934	4.31908E-10	3.90227E-02	3.08729E-10	.0946	1.23179E-10 RAPW= 16	.283887
Ag109(n,g)Ag110m 1793.26	1.29596E-11	1.35464E-02	1.20821E-11	1.93427E-02	8.77499E-13 RAPW= 17	.530638
W186(n,g)W187 393.553	1.97974E-10	.029109	1.81312E-10	4.11536E-02	1.6662E-11 RAPW= 18	.653255
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

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.: **9** m.Detektorpos.-Unsich.: 0 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	5.6223E-12	.561333	330.796
	.9668	.0096	1.56411E+11	.561418	1.35139E+16
RAGW= 12					
Au197(n,g)Au198	9.88E-23	3.03644E-03	2.146E-11	.669758	234.673
	.7752	.0649	2.80194E+11	.672902	2.42087E+16
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	2.75346E-12	.165422	694.17
	.9332	.0193	1.08476E+11	.166706	9.37235E+15
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24	3.90625E-02	1.5456E-13	1.38518	28.3049
	.9889	.0032	1.22105E+11	1.38573	1.05499E+16
RAGW= 15					
U235(n,f)F.P.	5.822E-22	2.23291E-03	5.0659E-11	.263861	619.57
	.6216	.1092	1.39982E+11	.285573	1.20945E+16
RAGW= 16					
Pu239(n,f)F.P.	7.425E-22	4.04041E-03	1.23179E-10	.283887	95.4934
	.613	.1117	2.70632E+11	.305898	2.33826E+16
RAGW= 17					
Ag109(n,g)Ag110m	4.7E-24	4.25532E-02	8.77499E-13	.530638	1793.26
	.8587	.0408	2.17424E+11	.533902	1.87854E+16
RAGW= 18					
W186(n,g)W187	3.78E-23	3.96825E-02	1.6662E-11	.653255	393.553
	.9771	.0066	4.51125E+11	.654492	3.89772E+16

** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:	2.04781E+11 1/(cm^2*s)	
	Unsich.d.Mittels,+/-%:		11.8902
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:		.199554
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:		.214484
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:		1.80387

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte 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 von Reaktor FRJ-1 zum Programm **FKS**
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: **E 57** mit Bestrahlungsdauer: 86400 s
Detektorsatz-Nr.: **3** m.Detektorpos.-Unsich.: 0 .Angenomm.Spektrum: **Fermi** (Flußdichte,Fluenz pro Lethargie)
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich.,cm^2 / +/-Unsich.	Reaktionsrate-Meßergebnis Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich.,rel. / +/-Unsich.	Fluenz 1/cm^2
Co59(n,g)Co60	7.4E-23	.027027	5.49046E-11	.033321	
	.6	.1	1.23659E+12	.112875	1.06841E+17
Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23	4.16667E-02	9.87E-12	2.18955E-02	
	.992	.1	8.29133E+11	.114523	7.16371E+16
Au197(n,g)Au198	1.56E-21	.025641	2.2148E-10	.03766	
	.128	.1	1.10918E+12	.113911	9.58327E+16
U235(n,f)F.P.	2.75E-22	1.81818E-02	3.0168E-10	1.78837E-02	
	1	.1	1.09702E+12	.107473	9.47824E+16
Pu239(n,f)F.P.	3.01E-22	3.32226E-02	3.76005E-10	4.84287E-02	
	.72	.142	1.73498E+12	.156567	1.49902E+17
Fe58(n,g)Fe59	1.7E-24	5.88235E-02	1.25054E-12	.108671	
	.996	.1	7.38566E+11	.16177	6.38121E+16
Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23	.055325	1.57607E-11	1.30775E-02	
	.236	.177	9.23688E+11	.188311	7.98066E+16
W186(n,g)W187	5E-22	.07	2.06247E-10	2.90801E-02	
	.35	.176	1.17855E+12	.193963	1.01827E+17

** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:	1.09939E+12 1/(cm^2*s)	
	Unsich.d.Mittels,+/-%:		4.70274
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:		9.89917E-02
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:		8.78823E-02
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:		1.86875

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte 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 - 2

09/03/86 14:45:22 10P20007

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
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+/-.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.
Au197(n,g)Au198 191.175	2.30228E-10	4.88695E-02	2.29192E-10	5.33158E-02	1.03598E-12 RAPW= 12	17.3529
Sc45(n,g)Sc46 696.397	1.40263E-11	2.17837E-02	1.03382E-11	.031007	3.6881E-12 RAPW= 13	.146594
Fe58(n,g)Fe59 28.5313	1.51055E-12	.108601	1.27023E-12	.152496	2.4032E-13 RAPW= 14	1.06808
U235(n,f)F.P. 625.546	3.64591E-10	1.78035E-02	3.0168E-10	.0358	6.29109E-11 RAPW= 15	.246604
Pu239(n,f)F.P. 100.536	5.00727E-10	2.40093E-02	3.76005E-10	.0968	1.32722E-10 RAPW= 16	.301494
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	2.08713E-10	4.11713E-02	1.4049E-11 RAPW= 18	.086128
Cu63(n,g)Cu64 225.475	4.88004E-12	3.82958E-02	4.26115E-12	.054404	6.1889E-13 RAPW= 19	.523997

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** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- 0 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 1/cm^2
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	3.6881E-12	.146594	696.397
	.9332	.0193	1.45298E+11	.148041	1.25537E+16
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24	3.90625E-02	2.4032E-13	1.06808	28.5313
	.9889	.0032	1.89858E+11	1.0688	1.64037E+16
RAGW= 15					
U235(n,f)F.P.	5.822E-22	2.23291E-03	6.29109E-11	.246604	625.546
	.6216	.1092	1.73837E+11	.269709	1.50195E+16
RAGW= 16					
Pu239(n,f)F.P.	7.425E-22	4.04041E-03	1.32722E-10	.301494	100.536
	.613	.1117	2.91599E+11	.321546	2.51941E+16
RAGW= 18					
W186(n,g)W187	3.78E-23	3.96825E-02	1.4049E-11	.886128	393.668
	.9771	.0066	3.80377E+11	.887041	3.28646E+16
RAGW= 19					
Cu63(n,g)Cu64	4.5E-24	4.44445E-03	6.1889E-13	.523997	225.475
	.9851	.0043	1.39611E+11	.524033	1.20624E+16

** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:	2.02073E+11 1/(cm^2*s)	
	Unsich.d.Mittels,+/-%:		11.5597
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:		.197698
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:		.213462
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:		1.8466

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

Kap. 4

Tab. III - 1

07/30/86 12:18:21 20P20079 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.: **17** m.Detektorpos.-Unsich.: 0 .Angenomm.Spektrum: **Fermi** (Flußdichte,Fluenz pro Lethargie)
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich.,cm^2 / +/-Unsich.	Reaktionsrate-Meßergebnis Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich.,rel. / +/-Unsich.	Fluenz 1/cm^2
Co59(n,g)Co60	7.4E-23	.027027	3.87492E-11	3.52815E-02	
	.6	.1	8.7273E+11	.113469	7.54039E+16
Au197(n,g)Au198	1.56E-21	.025641	1.56836E-10	3.76852E-02	
	.128	.1	7.85437E+11	.113919	6.78617E+16
Sc45(n,g)Sc46	1.2E-23	4.16667E-02	8.8227E-12	2.19253E-02	
	.992	.1	7.41154E+11	.114529	6.40357E+16
U235(n,f)F.P.	2.75E-22	1.81818E-02	2.13539E-10	1.81439E-02	
	1	.1	7.76505E+11	.107516	6.70901E+16
Pu239(n,f)F.P.	3.01E-22	3.32226E-02	2.6026E-10	3.80656E-02	
	.72	.142	1.2009E+12	.153677	1.03758E+17
Fe58(n,g)Fe59	1.7E-24	5.88235E-02	8.52345E-13	.108679	
	.996	.1	5.03393E+11	.161776	4.34932E+16
Ag109(n,g)Ag110m	7.23E-23	.055325	9.76681E-12	1.37361E-02	
	.236	.177	5.72404E+11	.188358	4.94557E+16
W186(n,g)W187	5E-22	.07	1.46886E-10	2.91931E-02	
	.35	.176	8.39349E+11	.19398	7.25197E+16

** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:	7.96203E+11 1/(cm^2*s)	
	Unsich.d.Mittels,+/-%:		4.69953
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:		9.35759E-02
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:		7.85605E-02
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:		1.67167

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte 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. 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.: 1 B
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 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	3.31661E-11	3.45656E-02	3.55468E-11	4.92894E-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 RAPW= 12	.597729
Sc45(n,g)Sc46 691.897	9.64438E-12	2.19473E-02	7.64609E-12	3.10422E-02	1.99829E-12 RAPW= 13	.196226
Fe58(n,g)Fe59 28.2906	9.4456E-13	.10864	7.81205E-13	.153443	1.63355E-13 RAPW= 14	.976558
U235(n,f)F.P.	2.55903E-10	1.89933E-02	0	0	RRFI fehlt	
Pu239(n,f)F.P.	3.42713E-10	3.61819E-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 RAPW= 17	.334294
W186(n,g)W187 392.348	1.47362E-10	2.91929E-02	1.35447E-10	.041189	1.1915E-11 RAPW= 18	.682566
Cu63(n,g)Cu64 222.692	3.36561E-12	3.83359E-02	2.79747E-12	5.49624E-02	5.6814E-13 RAPW= 19	.382929

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** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- 0 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 1/cm^2
RAGW= 12					
Au197(n,g)Au198	9.88E-23	3.03644E-03	1.8121E-11	.597729	234.59
	.7752	.0649	2.36598E+11	.601249	2.04421E+16
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	1.99829E-12	.196226	691.897
	.9332	.0193	7.87254E+10	.19731	6.80188E+15
RAGW= 14					
Fe58(n,g)Fe59	1.28E-24	3.90625E-02	1.63355E-13	.976558	28.2986
	.9889	.0032	1.29054E+11	.977345	1.11502E+16
RAGW= 17					
Ag109(n,g)Ag110m	4.7E-24	4.25532E-02	1.05151E-12	.334294	1773.28
	.8587	.0408	2.6054E+11	.339452	2.25106E+16
RAGW= 18					
W186(n,g)W187	3.78E-23	3.96825E-02	1.1915E-11	.682566	392.348
	.9771	.0066	3.226E+11	.68375	2.78726E+16
RAGW= 19					
Cu63(n,g)Cu64	4.5E-24	4.44445E-03	5.6814E-13	.382929	222.692
	.9851	.0043	1.28163E+11	.382979	1.10733E+16

** SFLINES Mittel **	Mittl.Flußdichte:	1.75604E+11 1/(cm^2*s)	
	Unsich.d.Mittels,+/-%:		14.5656
** SFLINES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:		.223825
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:		.246312
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:		1.69105

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte zum Angenomm.Spektrum erscheint m.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

Flußdichte- 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: 1.202E+07 s
Detektorsatz-Nr.: **Spek.** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenomm.Spektrum: **Fermi** (Flußdichte,Fluenz pro Letharg ie)
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate-Meßergebnis Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Fluenz 1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	7.4E-23	.027027	5.04424E-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	.055325	1.30351E-11	1.17112E-02	
	.236	.177	7.63948E+11	.208631	9.79382E+18
** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:		9.23363E+11 1/(cm^2*s)		
	Unsich.d.Mittels,+/-%:			9.1552	
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:			.133217	
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:			.13577	
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:			1.48298	

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte zum Angenomm.Spektrum erscheint m.STUDENTgrenze T= 2.92 entspr. 2 Freih.-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
Programm **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+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos. RR0,1/s / RRF0,1/s	+/-Uns.dazu / +/-Uns.dazu	Reakt.-Rate i.Det.-Pos. RR,1/s / MAFA	+/-Unsich. / Gew.-Fakt.dazu	RR mult.m.Maxwell-Faktor RM,1/s	+/-Unsich.
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	3.28981E-11	2.20169E-02		
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	285.083	3.4152E-12	.25992
					RAPW= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.18392E-02	7.10374E-12	1.89175E-02		
	8.78814E-12	3.10422E-02	.238568	556.037	1.69473E-12	9.76011E-02
					RAPW= 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 vom Reaktor FRJ-1 zum Programm **FKS**
nach Messung durch KFA Jülich GmbH in Kapsel-Bestrahlung: **E 53** mit Bestrahlungsdauer: 4.443E+07 s
Detektorsatz-Nr.: **IV** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	3.4152E-12	.25992	285.083
	.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
** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:		7.75499E+10 1/(cm^2*s)		
	Unsich.d.Mittels,+/-%:			12.0741	
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:			.187121	
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:			.176941	
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:			1.46546	

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte zum Angenomm.Spektrum erscheint m.STUDENTgrenze T= 6.314 entspr. 1 Freih.-Grad(en) noch gerechtfertigt,weil M.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 RRF0: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.m.Maxwell-Faktor	
	RR0,1/s	+/-Uns.dazu	RR,1/s	+/-Unsich.		
	RRF0,1/s	+/-Uns.dazu	MAFA	Gew.-Fakt.dazu	RM,1/s	+/-Unsich.
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	3.54149E-11	.028224		
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	261.807	3.67647E-12	.260519
					RAPW= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.18392E-02	7.11149E-12	.05204		
	8.78814E-12	3.10422E-02	.238568	241.038	1.69658E-12	.108978
					RAPW= 13	
Fe58(n,g)Fe59	1.22674E-12	.108558	6.8378E-13	.107322		
	1.07218E-12	.153443	.125992	21.3458	8.61511E-14	.234153
					RAPW= 14	

Kap. 4

Tab. VI - 2

09/03/86 16:45:42 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 54** mit Bestrahlungsdauer: 1.822E+07 s
Detektorsatz-Nr.: **IV** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.71BE-23	1.61377E-03	3.67647E-12	.260519	261.007
	.9668	.0096	1.02279E+11	.275799	1.86352E+10
RAGW= 13					
Sc45(n,g)Sc46	2.72E-23	7.35294E-03	1.69658E-12	.100978	241.038
	.9332	.0193	6.68389E+10	.142039	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	.253097	1.24007E+10
** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:		8.51914E+10 1/(cm^2*s)		
	Unsich.d.Mittels,+/-%:			11.3466	
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:			.145529	
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:			.146575	
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:			1.29179	

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte zum Angenomm.Spektrum erscheint m.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 18P20007

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

Meßreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos.		Reakt.-Rate i.Det.-Pos.		RR mult.m.Maxwell-Faktor	
	RR0,1/s	+/-Uns.dazu	RR,1/s	+/-Unsich.		
	RRF0,1/s	+/-Uns.dazu	MAFA	Gew.-Fakt.dazu	RM,1/s	+/-Unsich.
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	7.4535E-11	.029054		
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	258.589	7.73758E-12	.26061
					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	.100301		
	1.07218E-12	.153443	.125992	21.2501	3.09643E-13	.234603
					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** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- .09 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

MeBreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 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	3.90625E-02	3.09643E-13	.234603	21.2501
	.9889	.0032	2.44624E+11	.254313	5.22272E+18
** SFLIMES Mittel **	Mittl.Flußdichte:		2.006E+11 1/(cm^2*s)		
	Unsich.d.Mittels,+/-%:			10.9013	
** SFLIMES Abweichung **	Mittl.Abw.,ungewicht.:			9.66041E-02	
	Mittl.Abw.,mit Wichtg.:			4.87653E-02	
	Mittl.Abw.m.W./Uns.d.M.:			.447336	

Die Zuordnung der Mittl.Flußdichte zum Angenomm.Spektrum erscheint m.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 10P20007

Maxwell-Faktor (MAFA)-Ausrechnung als Vorbereitung zur Ermittlung der Maxwell-Flußdichte
Programm FKS Bestrahlung: E 56 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

Meßreaktion	Reakt.-Rate in Ref.-Pos.		Reakt.-Rate i.Det.-Pos.		RR mult.m.Maxwell-Faktor	
	RR0,1/s	+/-Uns.dazu	RR,1/s	+/-Unsich.		
	RRF0,1/s	+/-Uns.dazu	MAFA	Gew.-Fakt.dazu	RM,1/s	+/-Unsich.
Co59(n,g)Co60	5.41588E-11	3.52745E-02	7.62975E-11	2.91865E-02		
	4.85365E-11	4.21749E-02	.103811	258.074	7.92055E-12	.260625
					RAPW= 11	
Sc45(n,g)Sc46	1.15416E-11	2.18392E-02	1.60283E-11	1.74773E-02		
	8.78814E-12	3.10422E-02	.238568	572.729	3.82384E-12	9.73323E-0
					RAPW= 13	
Fe58(n,g)Fe59	1.22674E-12	.108558	1.74679E-12	.104368		
	1.07218E-12	.153443	.125992	21.6346	2.20082E-13	.232814
					RAPW= 14	

Kap. 4

Tab. VIII - 2

09/03/86 17:09:27 40P20079 Detector Data: A:DSK1

Flußdichte- und Fluenz-Werte für langsame Neutronen von 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** m.Detektorpos.-Unsich.: +/- .21 .Angenomm.Spektrum: **Maxwell**
Filter Kor.Faktor Ffi=1+/-.03 angenommen

Meßreaktion	Wirkungsquerschnitt Wert,cm^2 / Flußstörungs-Korrektion Faktor	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Reaktionsrate*Maxwell-Faktor Wert,1/s / Flußdichte,Auswert.-Ergebnis 1/(cm^2*s)	+/-Unsich. / +/-Unsich.	Maxwell-Gewichtsfaktor / Fluenz 1/cm^2
RAGW= 11					
Co59(n,g)Co60	3.718E-23	1.61377E-03	7.92055E-12	.260625	258.074
	.9668	.0096	2.20348E+11	.334044	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.m.W./Uns.d.M.:			.811067	

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

Maxwell/Fermi-Flußdichteverhältnis

ϕ^{MX}/ϕ^{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 Nr.	Verhältnis ϕ^{MX}/ϕ^{FE}
2	$0{,}17_6$
9	$0{,}21_{\bar{5}}$
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-Korrektionen 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 l o k a l e n Flußdichte auftreten, aus folgenden Ursachen:

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

Mögliche Auswirkungen der ersteren Ursache auf die Bestrahlungsgeschichte-Korrektion 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 $\pm$ 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 ${}_c\phi_i(>1\text{MeV})$ könnte der Mittelwert der in Tab. VII-1 (Kap. 3) mitgeteilten Unsicherheitsangaben zu den dortigen Spaltspektrumäquivalenten Flußdichten ${}_f\phi_i(>1\text{MeV})$ 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-Korrektion h für die eingesetzten radiometrischen Detektoren verursacht werden; denn eine solche Korrektion 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 Korrektion 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 $A(t)/A_o$, wobei A die momentane Aktivität zur Zeit t und A_o 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-Korrektion 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 kurzlebiges 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

$t_{\substack{<\bar{t}-\Delta t \\ >\bar{t}+\Delta t}}$ für die Aktivierung als weniger wichtig angesehen werden können?

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

$$\bar{t}_{act} = \frac{\int_o^{t_I} A(t)t\,dt}{\int_o^{t_I} A(t)\,dt} = \frac{1}{\lambda} - t_I \frac{e^{-\lambda t_I}}{1-e^{-\lambda t_I}} . \tag{5.1}$$

Das Maximum für $\bar{t}_{act}$ ereichen 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

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

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

$$\pm\,\Delta t \approx \frac{1}{2\lambda} . \tag{5.3}$$

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

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

wobei für die Fe-59-Aktivität in Zahlen

$$\pm\,\Delta t \approx \pm\,32\ \text{d}, \tag{5.5}$$

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 Flußdichte-Schwankungen. 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 Korrektionen 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:

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

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

$$\overline{\delta h} = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{Max } \delta h \tag{5.8}$$

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.I

Änderung	vom frischen BE	zum stärkst abgebrannten BE
des Abbrandzustands	0	46,0 %
des U-235-Gehalts	140	75,6 g
der ${}_f\phi_{Ni}(>1\text{MeV},\vec{r})$ in Rand-BE Position	3,24 x	$2{,}7 \times 10^{13}$ 1/cm²s

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

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

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

$$\phi(x_o) = \phi_o \sum_{k,l} \left[1 \,/\, \left[x_o + m_k x)^2 + (n_l x)^2\right] \right]. \qquad (5.10)$$

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

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

$$K_\phi = \frac{\Delta\phi}{\phi_0} \quad \frac{1 \,/\, \left[(x_o+mx)^2 + (nx)^2 \right]}{\sum\limits_{k,l} \left[1 \,/ \left[(x_o+m_k x)^2 + (n,x)^2\right] \right]} \tag{5.11}$$

Der stärkste Korrektionseffekt 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_o und bis zu den Grenzen $x_p = \pm 50$ mm der Stahlprobe:

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

Erst wenn der Aufpunkt x_o 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 I	Bestrahlungs-Intervall-Länge II	Anschl. Abstand bis Bestrahlende I	Anschl. Abstand bis Bestrahlende II	Relative lokale Flußdichte* I	Relative lokale Flußdichte* 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):

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

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

5.2.2. Korrekturen und Unsicherheiten bei stattgefundenem Bestrahlungsortwechsel (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-Korrektion h treten Gewichtsfaktoren f auf, die für jedes Bestrahlungszeitintervall die auf den Detektor treffende relative Flußdichte repräsentieren sollen (vgl. Abschn. 5.2.1). Diese Gewichtsfaktoren 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 Gewichtsfaktoren 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-Korrektion

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 $\phi(E>1MeV,x)$ in Stahl gemäß /30/ aus, die mit der Schwächung der im Vorversuch /16/ gemessenen Ni-58-(n,p)-Reaktionsraten $R_{Ni}(x)$ befriedigend übereinstimmt (Abb. 13). Im übrigen würde eine Ersetzung von $R_{Ni}(x)$ 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):

$$\phi^M(E_L,\vec{r}) = \frac{R_{ir}(\vec{r})}{\sigma^M_{ir}(E_L)} \qquad (5.14)$$

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:

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

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 v o r 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:

$$f^{\phi_N i(>1\text{MeV},x=0)} = \begin{cases} 6{,}3\text{x}10^{12}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1} & \text{hinter Pb-Absorber} \\ 4{,}3\text{x}10^{12}\ \text{s}^{-1} & \text{hinter Fe-Absorber} \end{cases} \tag{5.16}$$

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 Gewichtsfaktoren 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 Schwächungskoefizienten μ, s. Gl. (5.15);

b: für die technische Einhaltung der vorausgesetzten Detektorposition x, der der Gewichtsfaktor f(x) zugeordnet ist; angenommen sei eine mittlere Schwankung von $\pm$ 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:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm\ 4\% \ , \qquad \frac{\Delta h}{h} = \pm\ 1{,}1\% \tag{5.17}$$

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.

---

h* = Bestrahlungsgeschichte-Korrektion

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

$$\frac{\Delta f}{f} = +/- \ 14\%, \qquad \frac{\Delta h}{h} = +/- \ 6\% \tag{5.18}$$

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:

$$\frac{\Delta f}{f} = -/+ \ 14\%, \qquad \frac{\Delta h}{h} = -/+ \ 6\% \tag{5.19}$$

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:

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm \ 21\%, \qquad \frac{\Delta h}{h} = \pm \ 9\% \tag{5.20}$$

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 stattgefundener 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:

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

zuzuordnen sein, die über die Spektralbereiche $E_A^n \ldots E_B^n$ 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 $j = 1,\ldots, n-1$ (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

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

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 $j=1,\ldots n-1$ 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 $\delta\sigma_{Fe} \gtrless 0$ für ein vorliegendes Spektrum, das mit dem Referenzspektrum verglichen werden soll? Liegt für die zur $\delta\sigma_{Fe}$-Ermittlung benutzten Reaktionen die gemeinsame Untergrenze $E_L^{(n-1)}$ noch oberhalb der Untergrenze $E_L^{(Fe)}$ für die Fe-54(n,p)-Reaktion, dann bedeutet $\delta\sigma_{Fe} > (<) 0$: im betreffenden Spektrum gehen prozentual weniger (mehr) von den höherenergetischen Neutronen durch Streuung verloren als im Referenzspektrum. Im Fall $E_L^{(n-1)} < E_L^{(Fe)}$ rührt dagegen $\delta\sigma_{Fe} > (<) 0$ 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 $E_L = E_L^{(2)},\ldots,E_L(N^{-1})$. Diese Flußdichte ist definiert (in der Position $\vec{r}$) als:

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

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 $\vec{r}_c$):

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

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

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

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:	
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. $j = 1, 2, 3, 4 = n-1$		(5.26)
...		
N-3. $j = 1, 2, \ldots, N-2 = n-1$	$\phi(E_L^{(N-2)}, E_L^{(N-1)}, \vec{r})$	
N-2. $j = 1, 2, \ldots, N-2, N-1 = n-1$		

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 $\vec{r}_c$:

$$I_{Cu}(r_c) = {}_f\phi_{Cu}(\vec{r}_c) \;/\; {}_f\phi_{Fe}(\vec{r}) \tag{5.27}$$

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:

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

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 x (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-Spektralpakete 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 Spektralpaketstringers 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

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

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

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

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 Tabelen IV-1 bis 5 (Kap. 5) aufgeführt sind. In den soeben geschilderten Verfahren steckt noch die Annahme, daß die Gradienten aller im Spektralpaket 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 Korrektion 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 e i n e m 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

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

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):

Tab. 5.3

mit $E_L^{(n-1)}$/MeV =	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

Blatt 1 zu Tab. I-1

Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichte-Korrektion 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)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)		für Bestrahlungszeit vor*	nach*	|Δf/f| :4 |Δh/h| :1,1	14 6	21% 9%
1	01		3,05	6,83	±		
	02		5,52	3,77	±		
	03		10,00	2,08	±		
2	04		3,05	6,83	±		
	05	Cu	5,52	3,77		+/-	
	06	Ni	5,52	3,77	±		
	07		5,52	3,77		-/+	
	08	Co	10,00	2,08	±		
3	09		3,05	6,83	±		
	10		5,52	3,77	±		
	11		10,00	2,08	±		
4	12		3,05	6,83	±		
	13		5,52	3,77	±		
	14		10,00	2,08	±		
5	15		3,05	6,83	±		
	16		5,52	3,77	±		
	17		10,00	2,08	±		

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

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

Blatt 2 zu Tab. I-1

Detektor-Bezeichnung			f(x)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)		für Bestrahlungszeit vor*	nach*	|Δf/f|:4 |Δh/h|:1,1	14 6	21% 9%
6	18		3,05	6,83	±		
	19		5,52	3,77	±		
	20		10,00	2,08	±		
1-kurz	21		3,05	6,83	±		
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	±		
2-kurz	35		10.00	2,08	±		
10	36		3,05	6,83	±		
	37		5,52	3,77	±		
	38		10,00	2,08	±		
3-kurz	39		3,05	6,83	±		
4-kurz	40		3,05	6,83	±		

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

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

Blatt 3 zu Tab. I-1

Detektor-Bezeichnung			f(x)		± Unsicherheit, mittlere**	
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)		für Bestrahlungszeit vor*	nach*	|Δf/f|:4 |Δh/h|:1,1	14 6	21% 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	±		
5-kurz	49		10,00	2,08	±		
6-kurz	50		10,00	2,08	±		
Spektral-paket (unter Gd)		am Ende					
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 Bestrahlungszeit vor*	nach*	|Δf/f|:4 |Δh/h|:1,1	14 6	21% 9%
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 Kapseldrehung

Blatt 5 zu Tab. I-1

Detektor-Bezeichnung			f(x)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)		für Bestrahlungszeit vor*	nach*	|Δf/f| :4 |Δh/h| :1,1	14 6	21% 9%
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

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)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrahlungszeit vor*	nach*	$\lvert\Delta f/f\rvert$:4 $\lvert\Delta h/h\rvert$:1,1	14 6	21% 9%
I-1 bis 4	alle Det.	1	1		keine	
II-1,2	alle Det.	1	1		"	
III	13	2,07	0,484	±		
	14	1	1	±		
	15	0,484	2,07	±		
IV	alle Det.	1	1			±
VI-1,2	"	1	1		keine	
VII-1,2	"	1	1		"	
VIII	"	1	1		"	

* (vor, nach) Drehung der Kapsel

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

Tab. I-3

Zur Ermittlung der Bestrahlungsgeschichte-Korrektion 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)		± Unsicherheit, mittlere**		
Stringer-Nr.	Kapsel-Nr. (und Detektor, falls nicht Fe)	für Bestrahlungszeit vor*	nach*	|Δf/f|:4 |Δh/h|:1,1	14 6	21% 9%
I-1,2	4 bis 9	1	1	k e i n e		
IV	alle Det.	1	1			±
VI-1	1 bis 3	1	1	k e i n e		
VI-2	10 bis 12***	1	1			±
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: ± statistisch; +/- systematisch vor/nach Kapseldrehung

*** Detektoren nicht erhalten

Table II

DOBISI 01LP2054 07/04/85 15:02:40
** Double - by Simple - 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	1.2750	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	.113856	.113233
Ref.Flu.Ds.Eq./1/(cm^2*s):	2.54143E+12	1.2222E+12	1.30094E+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	1.00190	.853657	.921164
Sp.I.Rel.Uncert.: +/-	.13187	.130921	.130900	.13077	.131319
Doub.Spec.Ind.: %	5.38465	15.3529	20.7201	2.8582	10.9837
D.Sp.Ind.Uncert.: +/-	.178297	.177596	.177646	.177405	.17789

Table III-1

DOSI 208P2810 07/04/85 16:02:50
** Double Spectrum Index Related to Fe-54(n,p)Mn-54 And to Reference Position **

Exper.: FKS Irrad.: E 51 Source: FRJ-1
Ref.Pos.: E57 No.18 Meas.Pos.: Spectrum

Measuring Reaction	Reference Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Measuring Pos. React.Rate,1/s	Its Unc.,+/-%	Doub.Spec.Ind. %	DSI 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	18.03	-22.4664	12.56	
Ni58(n,p)	2.3286E-13	3.2	2.7093E-13	1.56	-6.77962	6.48228	
Fe54(n,p)	1.6173E-13	4.5	2.02552E-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

Ref.Pos.: E57 No.10 Meas.Pos.: IV

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	19.5069	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

Ref.Pos.: E57 No.10 Meas.Pos.: IV

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.: IV

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.: IV

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

Table IV-1

UCUPIS 01LP2055 07/09/85 14:44:10
** 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 5%

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane,in mm
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	1.0	Plus	25	
					1.49200

Uncertainty for the Mean Deviation from the Average Flux Density Fav RHDP= +/- 3.46236 %

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

Measuring Reaction	Uncertainty in +/-% Reported for the Double Spec.Index	Resulting with Inclusion of RHDP and RHGM
U238(n,f)	6.01935	7.1736
Th232(n,f)	12.56	13.1522
Ni58(n,p)	6.40228	7.49781
Cu63(n,a)	17.0297	18.2318

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

Table IV-2

UCUPIS 02LP2055 07/09/85 15:54:57
** 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 53

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane,in mm
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	Uncertainty in +/-% Reported for the Double Spec.Index	Resulting with Inclusion 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

Table IV-3

UCUPIS 02LP2055 07/09/85 15:59:42
** 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 54

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane,in mm
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= +/- 1.0 %

Measuring Reaction	Uncertainty in +/-% Reported for the Double Spec.Index	Resulting with Inclusion of RHDP and RHGM
Ni58(n,p)	6.22467	7.10197
Ti(n,x)Sc46	6.34568	7.20826
Cu63(n,a)	17.7646	18.0987

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 mm
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= +/- 1.0 %

Measuring Reaction	Uncertainty in +/-% Reported for the Double Spec.Index	Resulting with Inclusion of RHDP and RHGM
Ni58(n,p)	6.17922	17.2681
Ti(n,x)Sc46	6.50007	17.3008
Cu63(n,a)	17.7485	23.9794

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

Table IV-5

UCUPIS 82LP2855 07/09/85 16:07:59
** 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 56

x: Radial Distance(=0 for Capsule Mean Plane) from/to the Source Centre in the Spectrum Set Plane,in mm
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 RMDP= +/- 16.0239 %

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

Measuring Reaction	Uncertainty in +/-% Reported for the Double Spec.Index	Resulting with Inclusion of RMDP and RMGM
Ni58(n,p)	6.33607	17.3248
Ti(n,x)Sc46	6.46197	17.3713
Cu63(n,a)	17.789	24.0094

Table V-1

22LP2052 07/16/85 15:56:35
** Neutron Spectrum Variation Assessment by Least Squares Fit **

Experiment: FKS Irradiation: E 51
Source: FRJ-1 Ref.Pos.: E57 No.10 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 %	7.32074E-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 %	9.73038E-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 %	.105826	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.: 5.07516 %	4.49714E-02	166.712

100*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(I-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	37.3048
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.103581	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 %	.147074	33.3362
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	9.54017E-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 %	.162045	29.8988
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	9.03373E-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 > 1.8 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
1.72832E+12 1/(cm^2*s)
Correction factor for the spectrum variation according to the significance test above: 1

The corrected flux density > 1.8 MeV for this measuring position is then: **1.72832E+12** 1/(cm^2*s)

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.: 0 %	.157083	32.1826
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.161083	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 %	.170495	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	30.4187
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.181897	30.8487
	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	30.281
	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	29.7707

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:
1.84104E+12 1/(cm^2*s)
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: **1.84104E+12** 1/(cm^2*s)
From this with the irradiation time: 1.282E+07 s the resulting fluence is: 2.36821E+19 1/cm^2

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-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)	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 %	.190985	40.4574
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	.202788	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	35.1064
	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 %	.250339	32.3854
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-5 %	.131552	55.8048
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.262231	31.2898
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-6 %	.119781	60.6934
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.274124	30.1362
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-7 %	.107863	66.6507
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.286017	29.1519
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-8 %	9.60407E-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 %	.309807	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 %	.321704	26.6355
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-11 %	6.07672E-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 %	.049151	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 %	.037715	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	24.0368
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-15 %	1.69898E-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 %	.393091	22.9734
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-17 %	1.68289E-02	378.843
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 18 %	.40499	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.:-16.0041 %	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: 10.0394
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 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: 7.28775E+10 1/(cm^2*s)
From this with the irradiation time: 4.44279E+07 s the resulting fluence is: 3.23779E+18 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 %	.132970	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 %	.120241	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	46.0843
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.190954	31.0288
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-6 %	.106789	46.3721
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 7 %	.200244	29.8354
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-7 %	.104218	46.121
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.20969	28.7216
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-8 %	.102747	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 %	.102421	43.9703
	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 %	.103253	42.2135
No.of Reactions I= 4	With the	F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.:-8.78151 %	.102393	43.6424

100*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(I-2)= 1.59223
So a variation from the reference spectrum appears as Shown with > .07383 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 1/(cm^2*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 1/(cm^2*s)
From this with the irradiation time: 4.44279E+07 s the resulting fluence is: 1.59874E+19 1/cm^2

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)	20.7201		10.0907		
Ti(n,x)Sc46	2.86745		7.20026		
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	8.11897E-02	98.0874
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	8.80683E-02	89.7616
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-1 %	7.42195E-02	107.043
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	9.70874E-02	82.3047
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-2 %	6.81752E-02	116.008
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	.105721	75.7470
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-3 %	6.33227E-02	123.812
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 4 %	.114675	70.0265
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-4 %	5.99519E-02	128.70
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 5 %	.123001	65.0425
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-5 %	5.83205E-02	129.207
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 6 %	.133206	60.6932
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-6 %	5.85739E-02	124.753
No.of Reactions I= 3	With the	F o u n d	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(I-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+10 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+10 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		7.10197		
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 0 %	6.01593E-02	95.7681
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 1 %	6.48252E-02	89.4617
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-1 %	5.69633E-02	99.7825
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	7.06706E-02	82.2573
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-2 %	5.54919E-02	100.154
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	7.74287E-02	75.1117
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-3 %	5.58814E-02	96.4275
No.of Reactions I= 4	With the	F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.:-2.2907 %	5.54133E-02	100.815

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(I-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*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*s)
From this with the irradiation time: 1.822E+07 s the resulting fluence is: 6.36163E+18 1/cm^2

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.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)	2.8502		23.9794		
Ti(n,x)Sc46	2.04794		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	1054.86
	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	3046.89
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 3 %	5.40843E-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.:-2.20821 %	4.38469E-03	3055.23

100*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(I-2)= 1.59223
So a variation from the reference spectrum appears as Not Confirmed with > .02149 significance probability
(one-sided test)
The flux density > 4.5 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
2.05052E+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: 2.05052E+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 %	9.15071E-02	136.2
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 2 %	.11782	108.159
	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	100.377
	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 %	.136805	94.4602
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-4 %	7.04064E-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 %	6.02676E-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 %	6.04596E-02	179.688
No.of Reactions I= 4	With the	F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.:-7.39913 %	.068116	187.991

Table V-4, cont.

100*Mean spec.var.to and with the found Fe cross sec.dev.in % both to be compared with the T 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 MeV as found using the reference spectrum and reaction for this measuring position is:
9.23582E+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: 9.23582E+11 1/(cm^2*s)
From this with the irradiation time: 2.135E+07 s the resulting fluence is: 1.97185E+19 1/cm^2

Table V-5

23LP2852 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 One: Fe54(n,p)

Measuring Reaction	Doub.Spec.Ind. %		DSI Uncert. +/-%	Mean Spectrum Variation,Abs.Val.	Variation Uncert.,+/-%
Cu63(n,a)	10.9837		24.0094		
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	32.7037
	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 %	.263208	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	25.0528
	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	50.2572
	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 %	.257038	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 %	.354015	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 %	.359858	21.9844
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 16 %	.256587	56.0471
No.of Reactions I= 3	With the	F o u n d	Fe Cross Sec.Dev.: 15.0475 %	.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(I-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 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: 2.00777E+11 1/(cm^2*s)

Table V-5, cont.

From this with the irradiation time: 2.652E+06 s the resulting fluence is: 5.32461E+17 1/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	33.6504
	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 %	.21903	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 %	.210155	39.943
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-5 %	.249473	28.7209
	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 %	.260181	27.8592
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 8 %	.204302	44.2549
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.:-8 %	.265807	26.2805
	For the	A d o p t e d	Fe Cross Sec.Dev.: 9 %	.20387	45.7209
	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	49.9706
	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*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 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:
9.04327E+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: 9.04327E+11 1/(cm^2*s)
From this with the irradiation time: 2.652E+06 s the resulting fluence is: 2.39827E+18 1/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 $\phi(E_L)$ $1/cm^2 \cdot s$	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:

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

Dabei ist

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

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

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

für ferritischen Stahl (m = Fe) in unserer Referenzposition besprochen wird, unter Bezugnahme auf die neuerdings besonders häufig angewendete Wertetabelle in /48/. Der durch Neutronenspektrums-Adjustierung ermittelte $\sigma^{I}_{n,m}$-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 $E_{Gd} \approx 0{,}1$ eV gesetzt wird (nach /34/ ist $E_{Gd} \approx 0{,}15$ eV).

6.2. dpa-Werte in der Referenzposition nach spektralen Anteilen

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

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

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

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

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

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

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

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

anstelle von Gl. (6.5). Dabei wurde

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

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:

$$\dot{d}^c = 7{,}7 \; 10^{-9} \; s^{-1} \qquad (6.8)$$

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) E_A I	E_B II	dpa-Anteil-Prozentsatz $p_c(E_A,E_B)$ FKS-E57 Pos.10 III	Vergleichsposition (s.Abschn.6.3) IV	Bemerkungen 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}	$2\ 10^{-7}$	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, Bestrahlungsuntersuchungen 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: Vorbestrahlungsbericht. 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 Temperaturfelder 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, Neutronenspektrumenfaltungen 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).

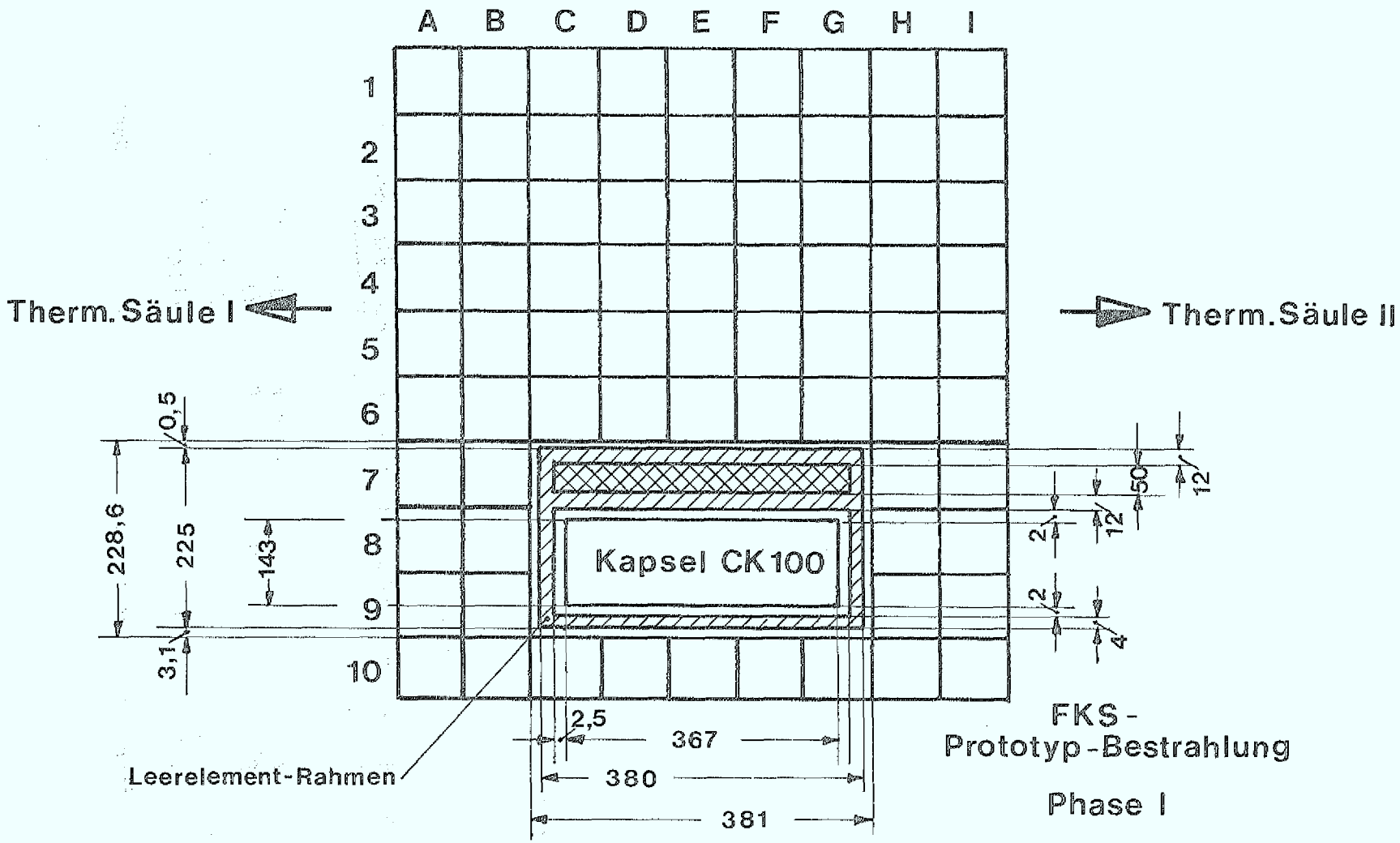
/47/ Nuclear Data for Radiation Damage Assessment and Related Safety Aspects. IAEA-TECDOC-263 (1982).

/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).

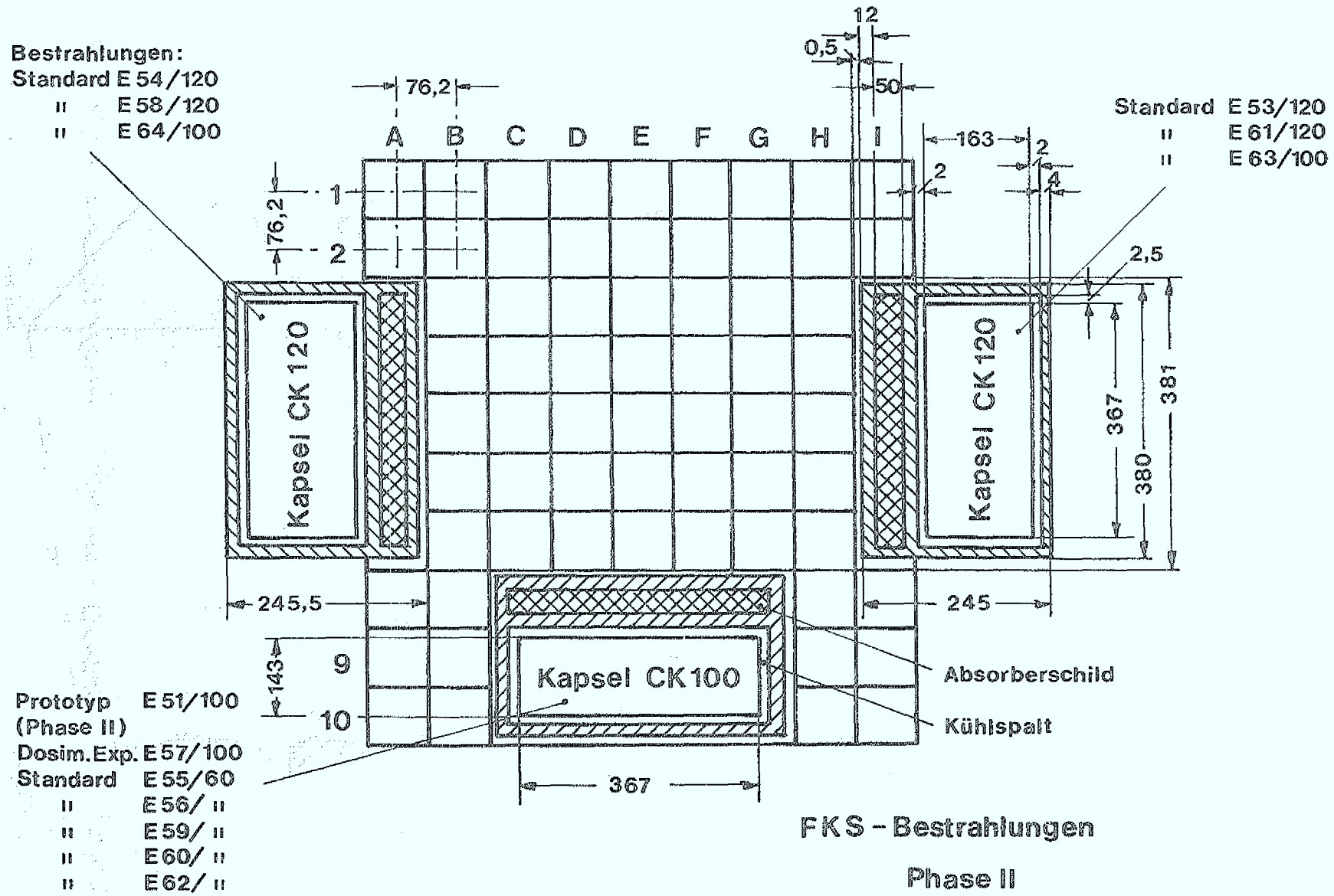
/50/ C.Z. Serpan jr., B.H. Menke, Nuclear reactor neutron energy spectra. ASTM Dat. Ser. Publ. DS 52. ASTM (1974).

/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

Abb. 1



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

Abb. 2

Abb. 3 - Blatt I

Sonden-Belegungsplan

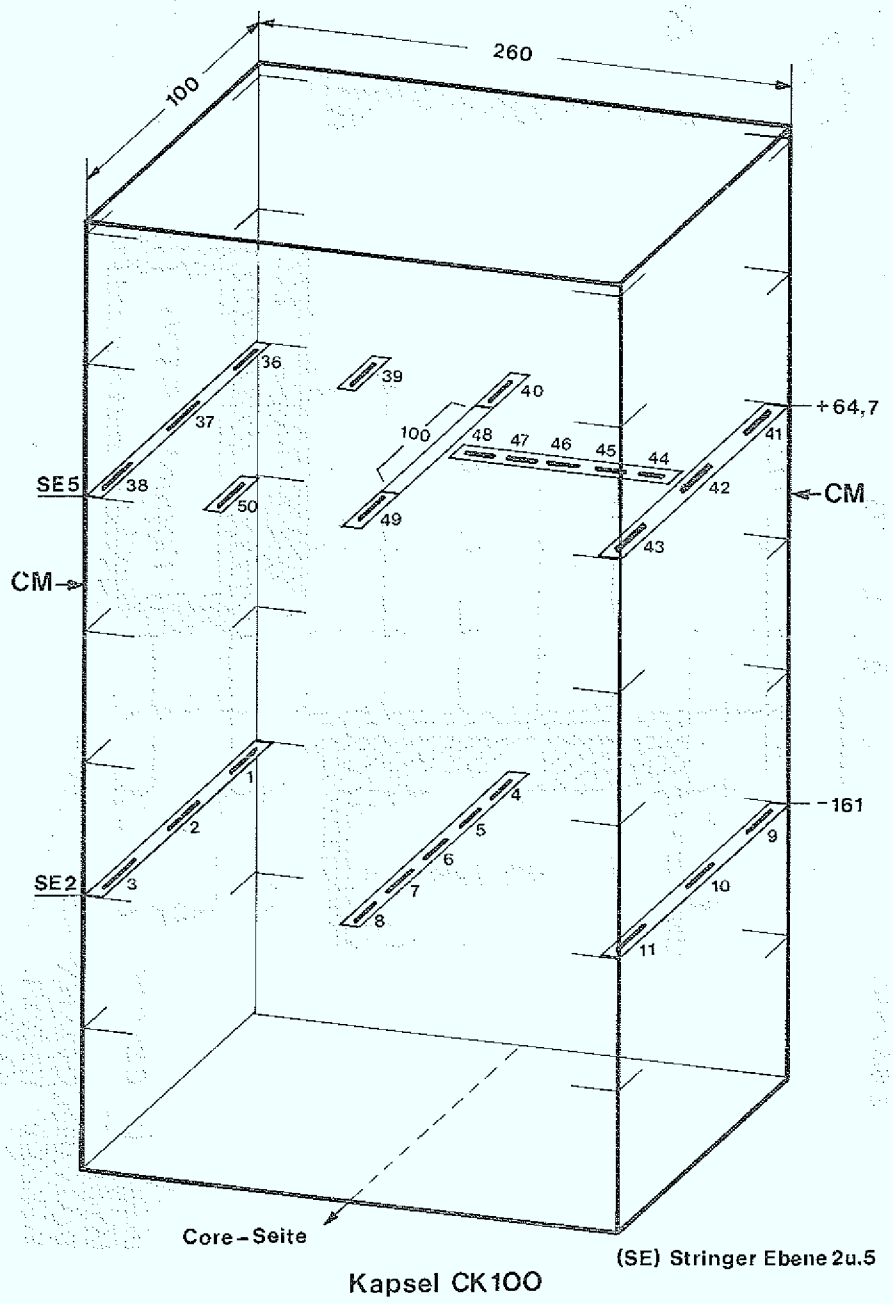
für die FKS-Prototyp-Bestrahlung

in CK100-Kapsel E51

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

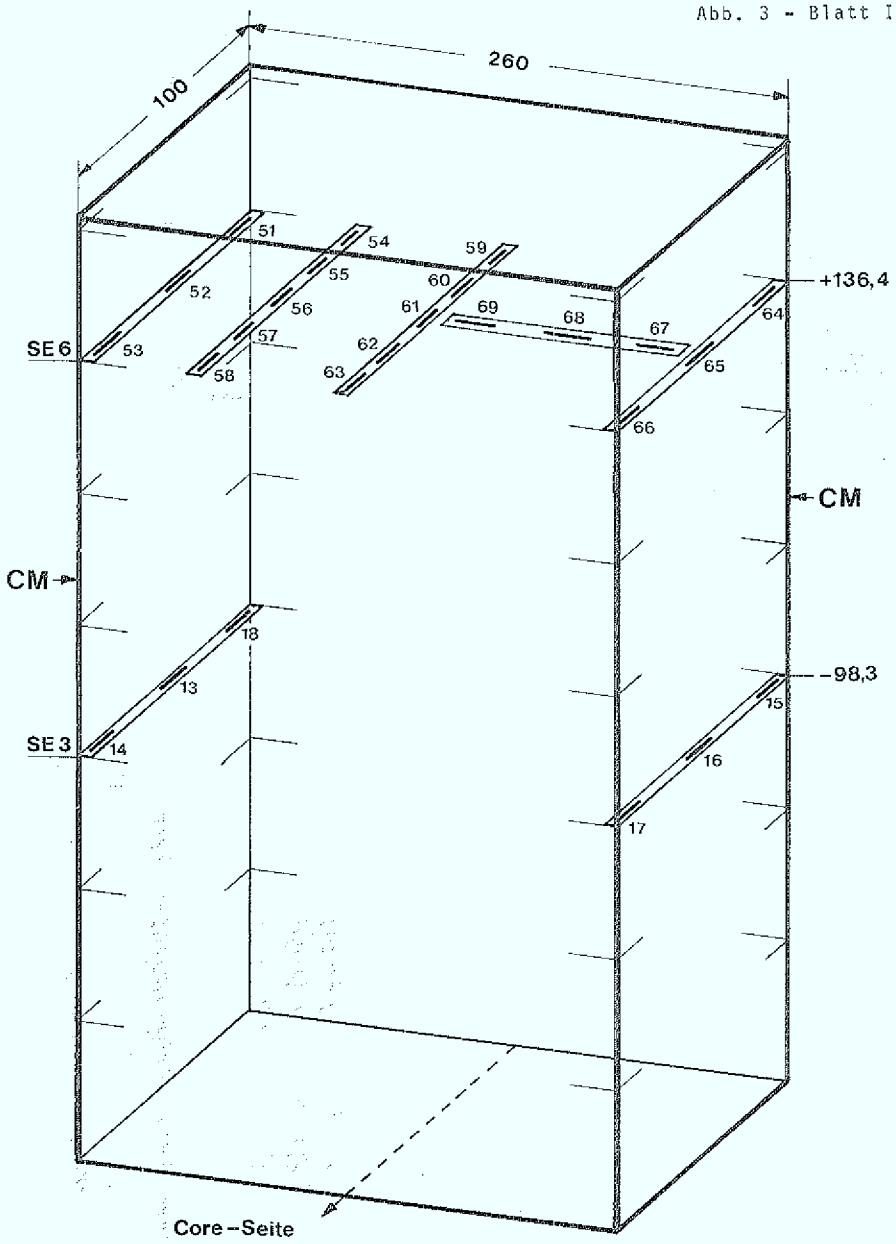
$\boxed{\text{Nr.}}$: " " " " mit " "

Richtungsangabe "Core-Seite" gilt vor Drehung der Kapsel



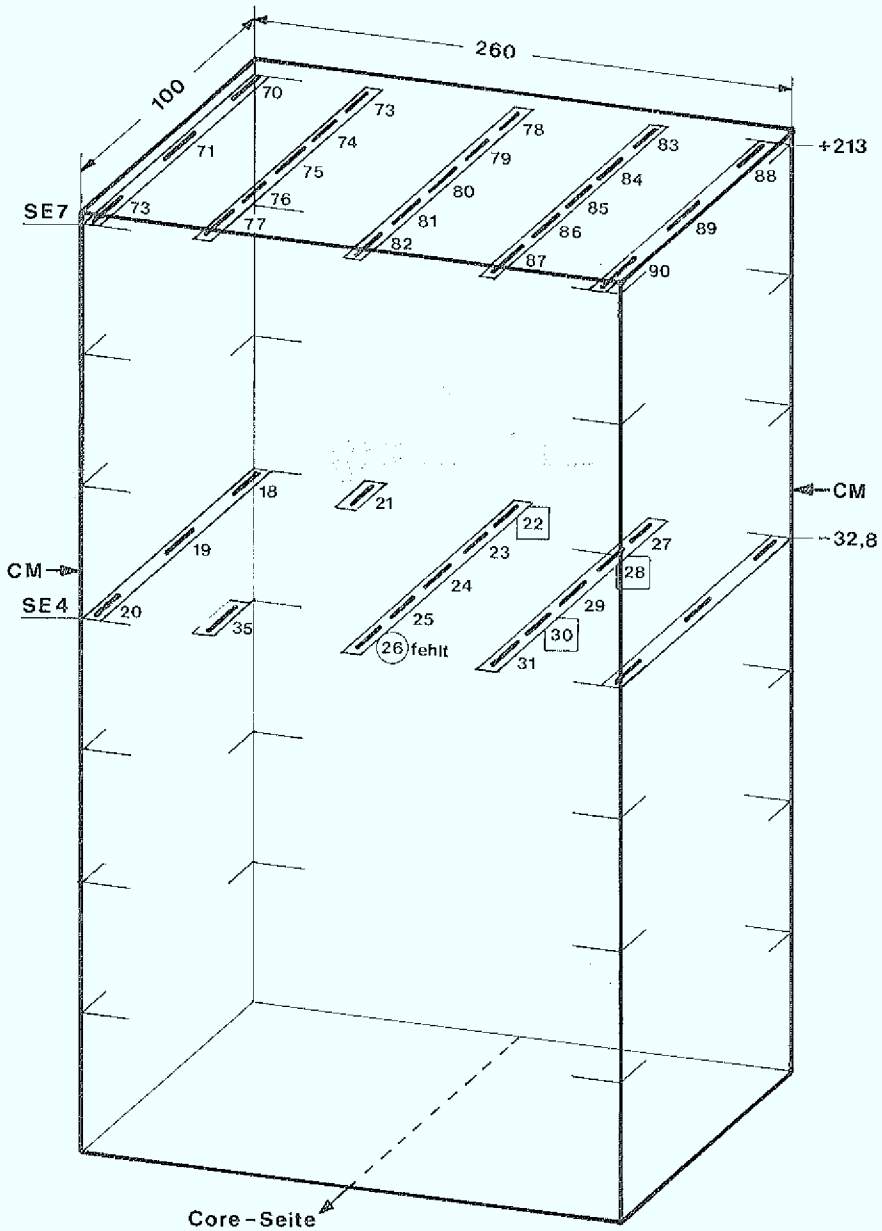
Kapsel CK100

Abb. 3 - Blatt II



Kapsel CK100

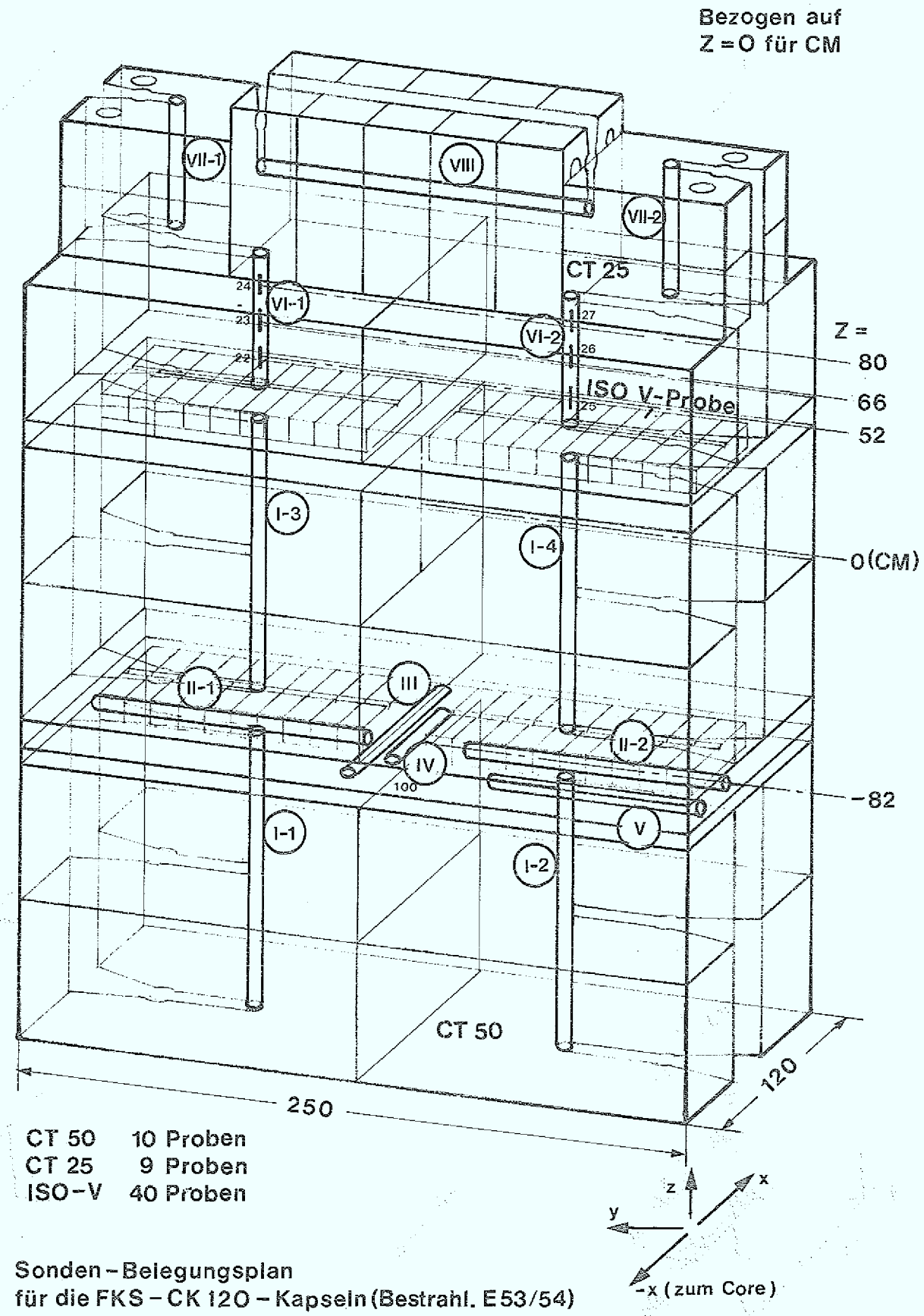
(SE) Stringer Ebene 3 u. 6



Kapsel CK 100

(SE) Stringer Ebene 4 u. 7

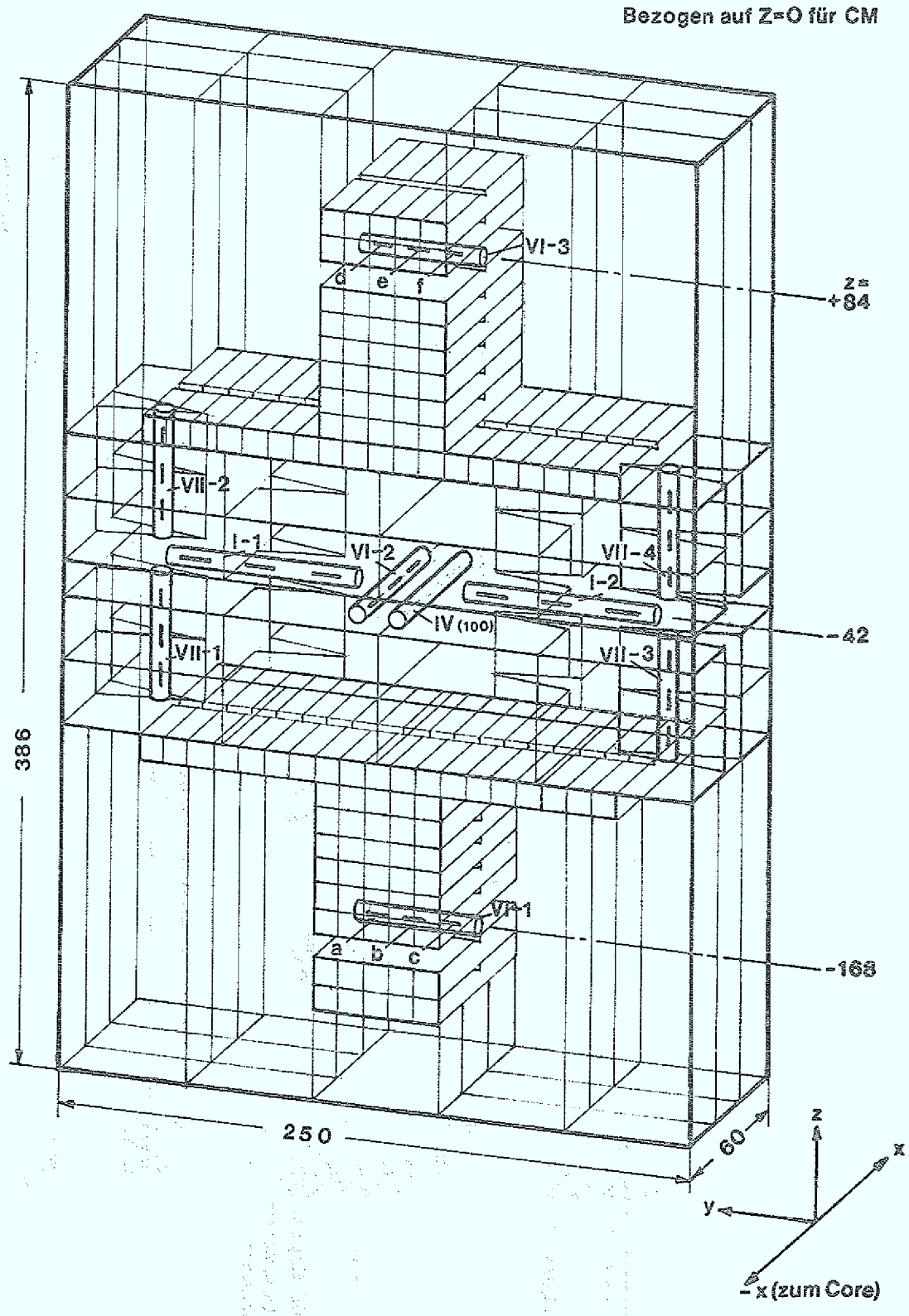
Abb.4



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

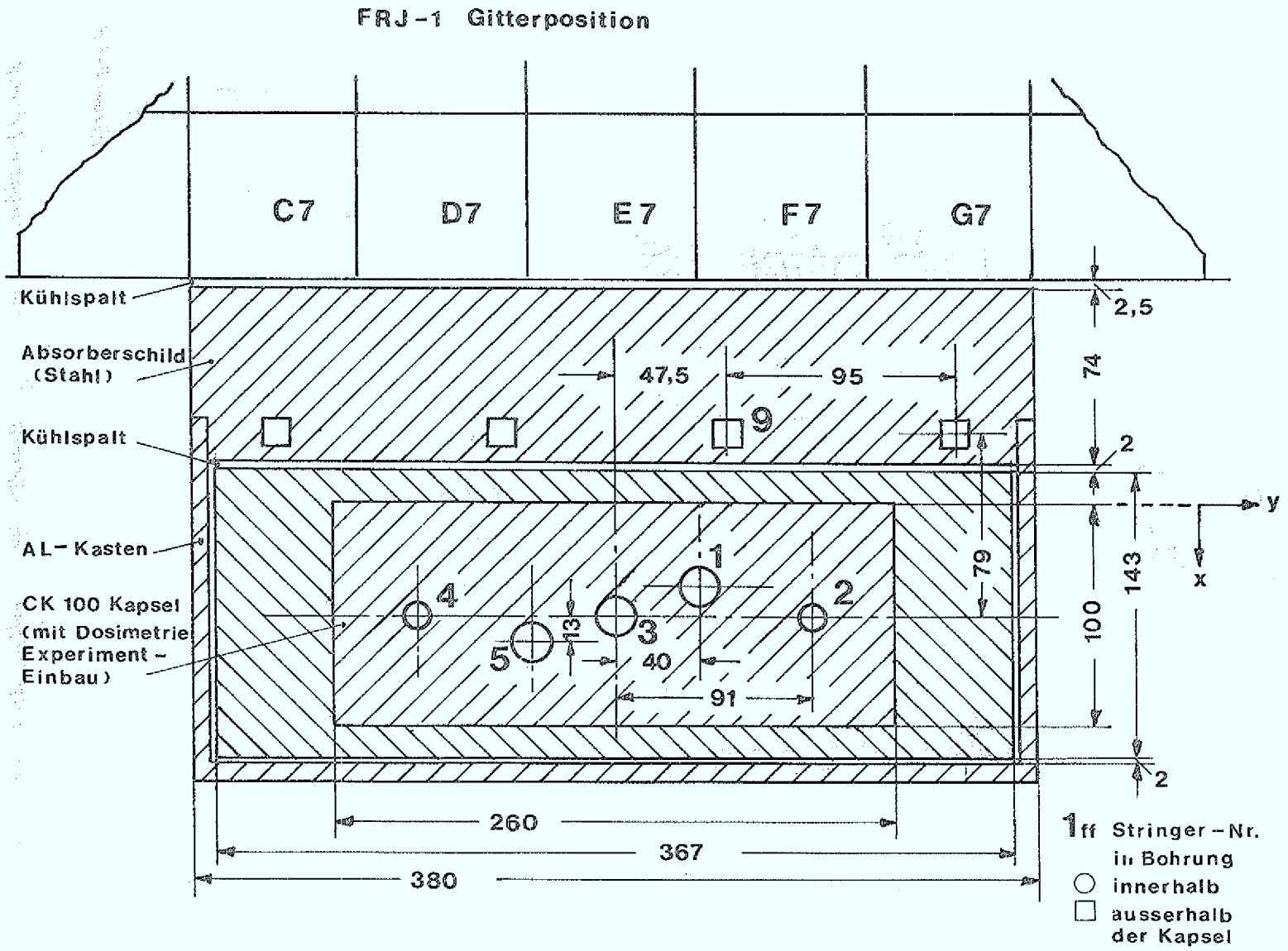
Sonden-Belegungsplan
für die FKS-CK 120-Kapseln (Bestrahl. E53/54)
Römische Zahlen: Stringer-Nrn.
Arabische Zahlen: Detektor-Nrn.

Abb. 5



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

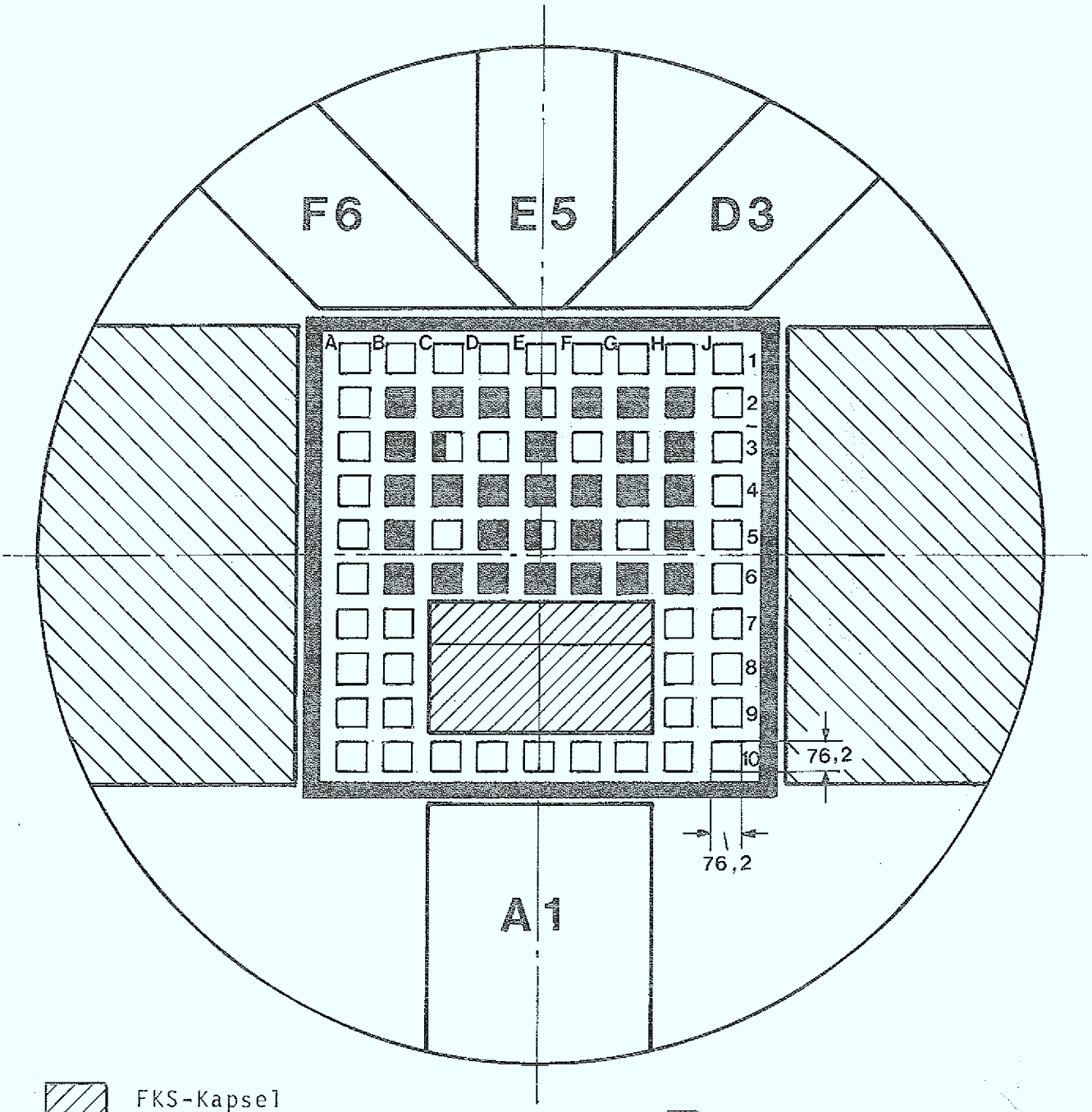
gem. Sondenbelegung für die CK60- Kapseln $\frac{E55}{E56}$



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

Abb. 6

Abb. 7



FKS-Kapsel mit Blei-Absorberschild

Graphit + H_2O in Al-Kasten

Pos. F1: Spaltkammer

Pos. B7: Quelle

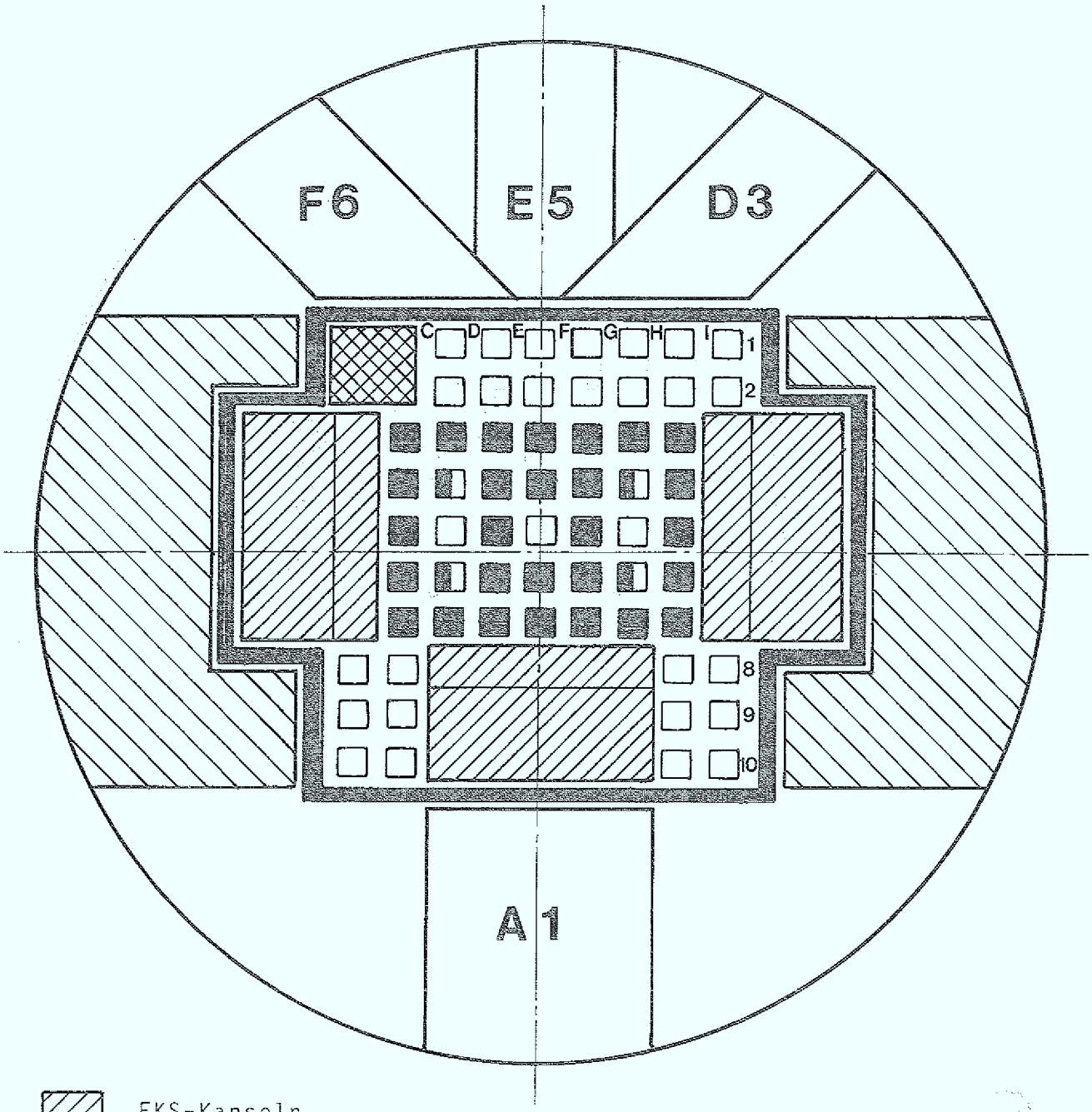
Brennelement

Absorberelement

übrige Gitterplätze (teilweise mit Bestrahlungseinrichtungen)

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

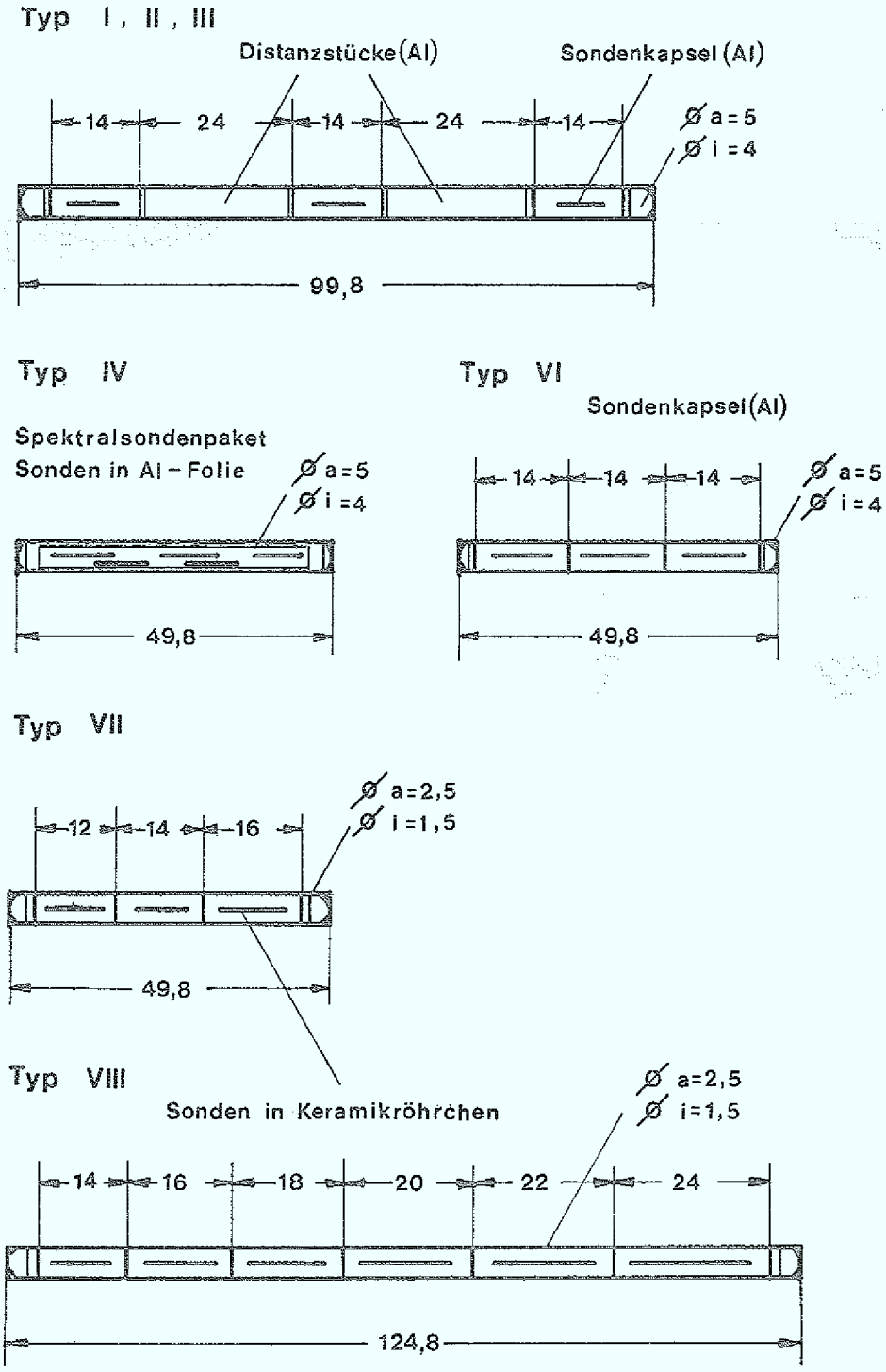
Absorberelement

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

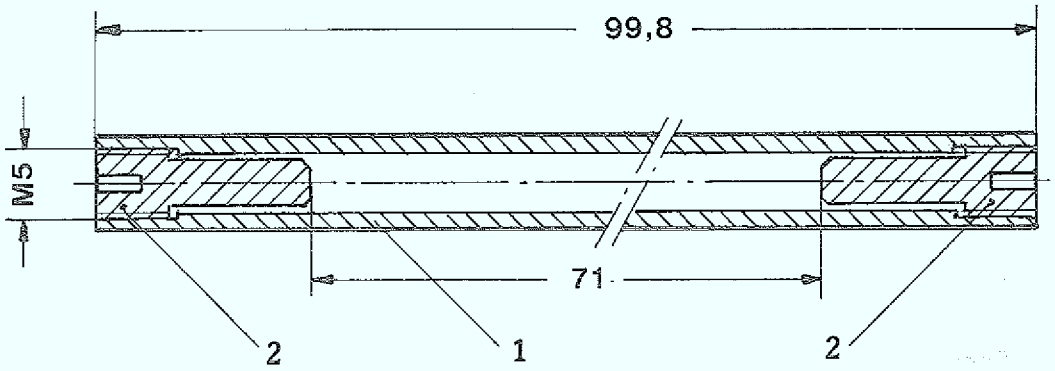


Sonden-Stringer: Werkstoff 1.4541
Alle Stringer an den Enden verschweisst

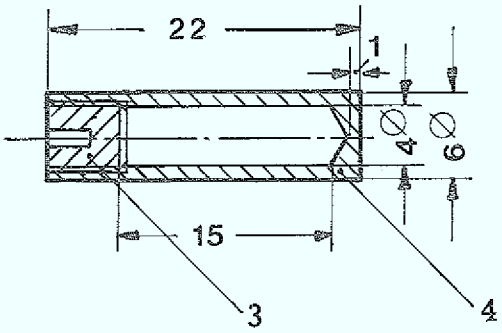
Sonden-Stringer und -Kapseln
für FKS-Standard-Bestrahlungen

Abb. 10

Typ: lang



Typ: kurz



1 Rohr 6∅×1

2 Stiftschrauben M5×14,4

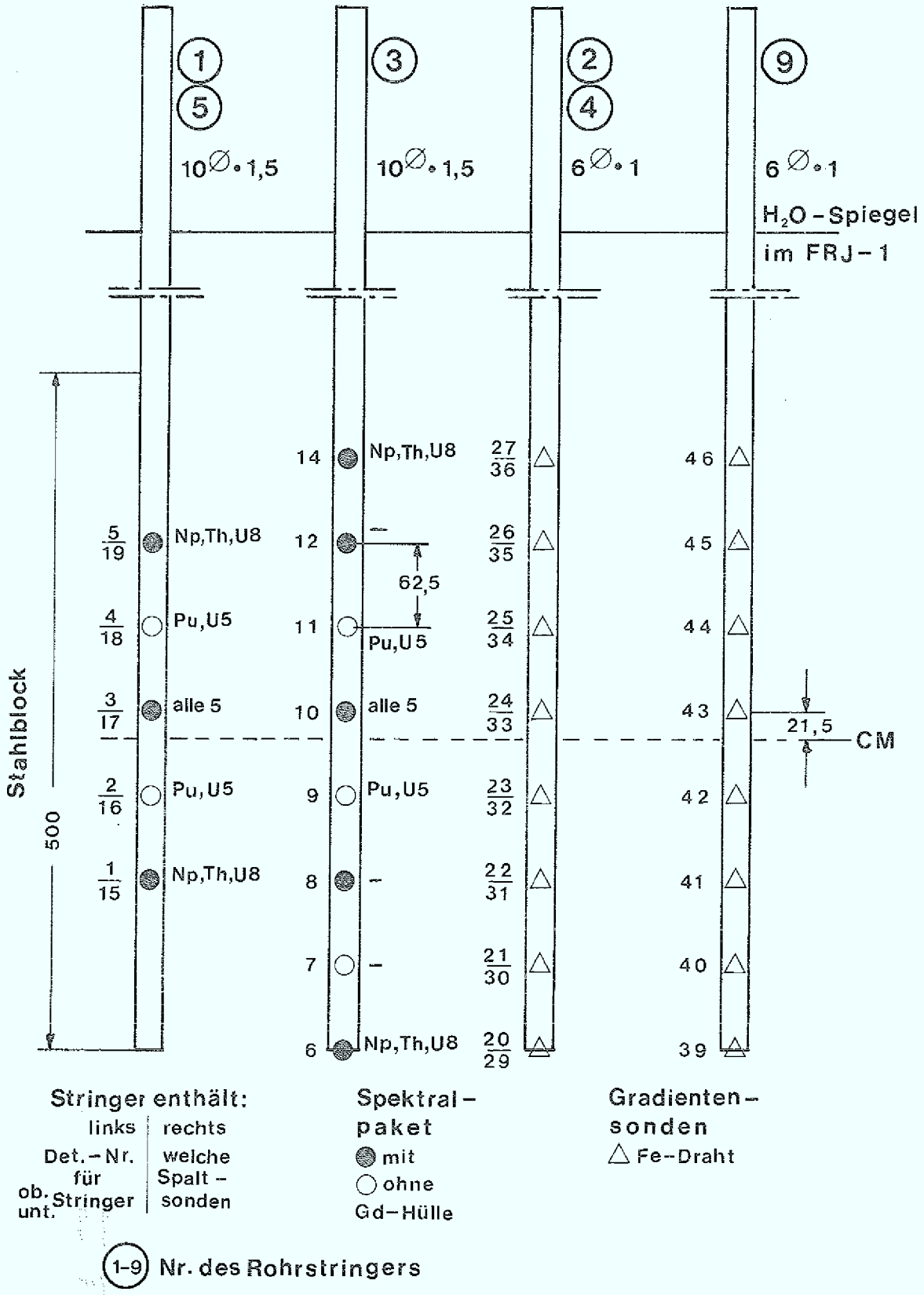
3 Stiftschrauben M5×5

4 Kapsel

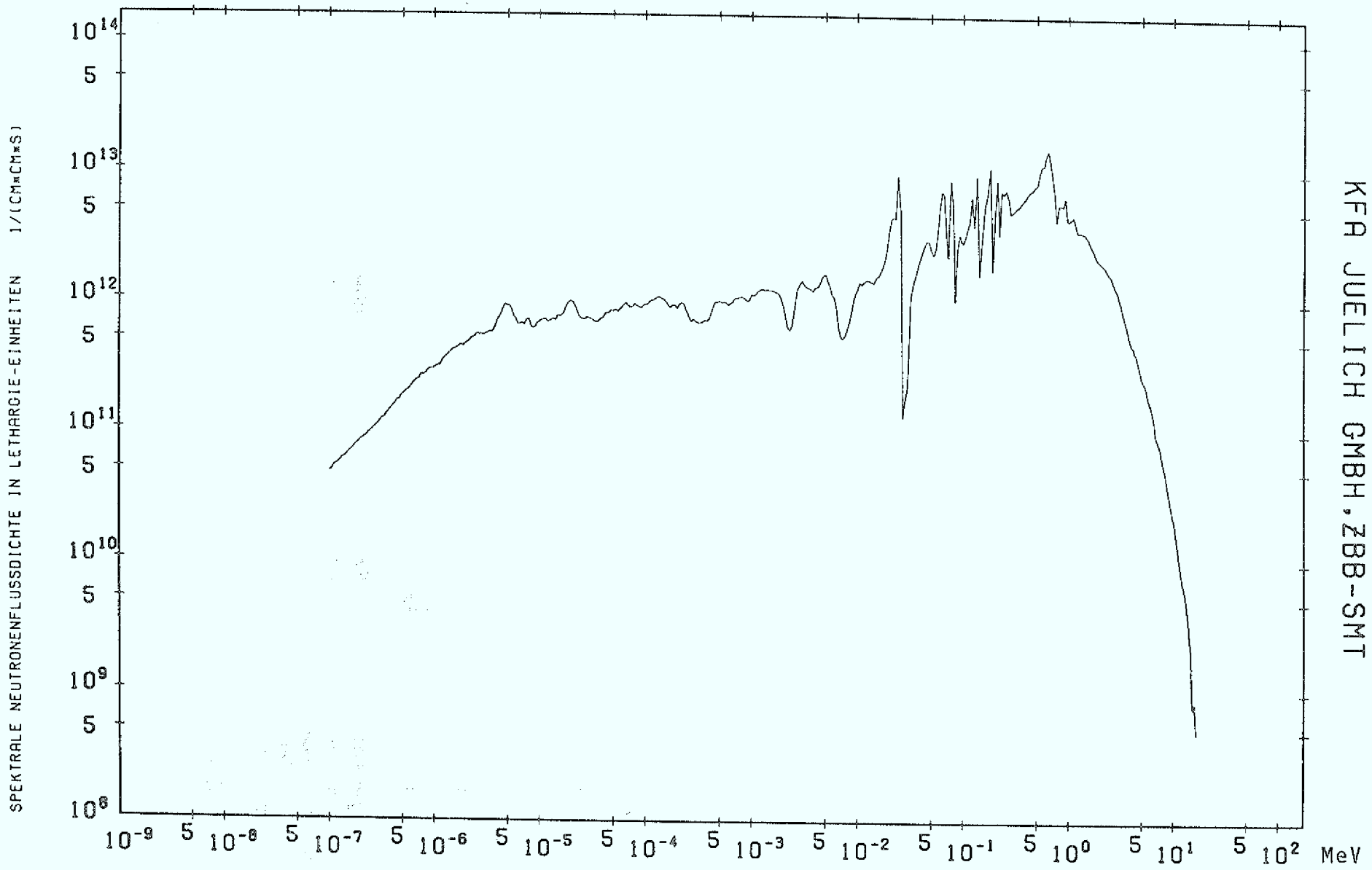
Sonden - Stringer: Werkstoff Al Mg 3

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

Abb. 11



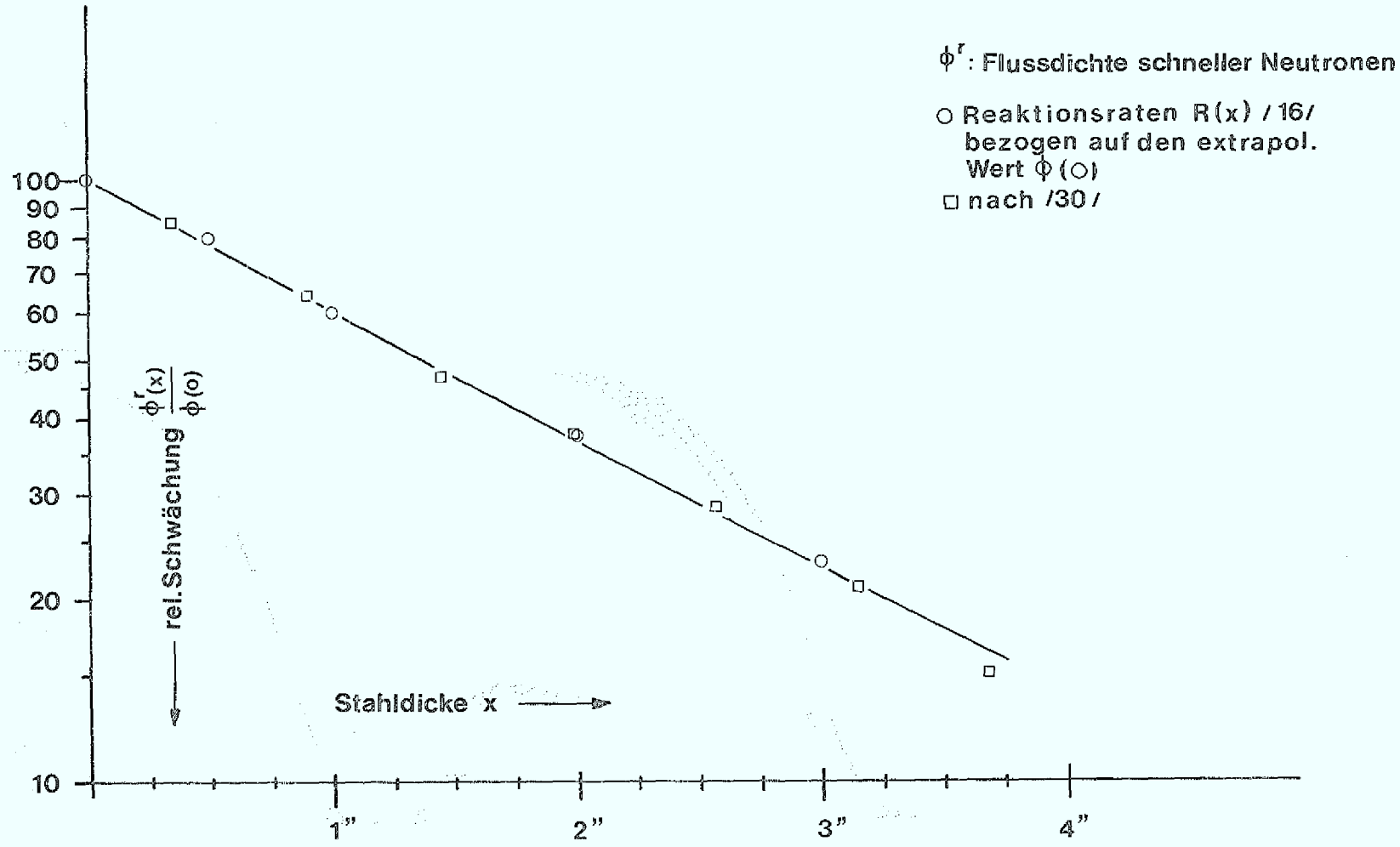
Stringer- und Sonden-Belegungsplan
für die FKS-Dosimetrie-Experiment-Kapsel (E57)



KFA JUELICH GMBH, ZBB-SMT

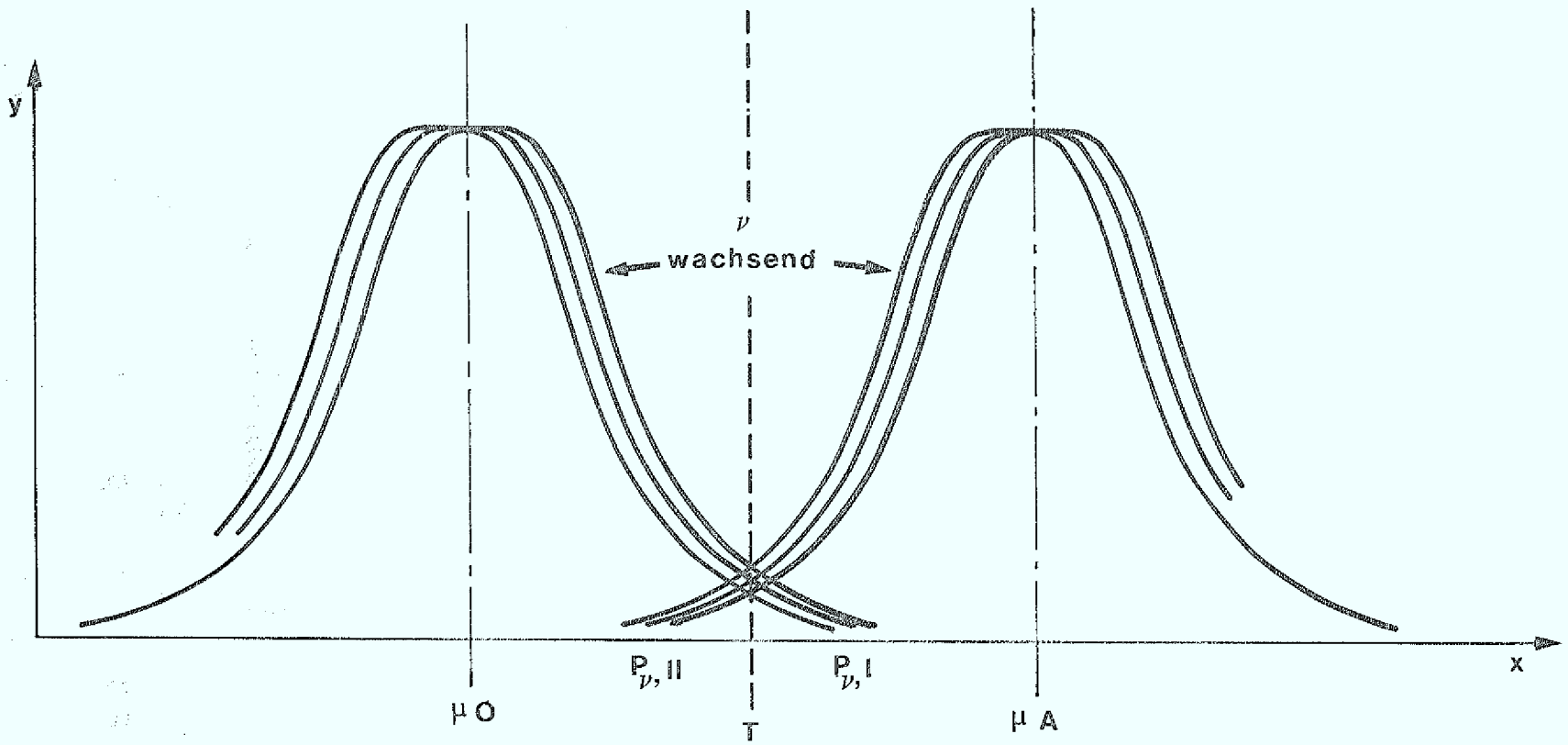
Abb. 12

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



Schwächung der Flußdichte schneller Neutronen in Stahlblock

Abb. 13



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

Abb. 14