

KFK-86

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

NOVEMBER 1961

KFK 86

INSTITUT FÜR NEUTRONENPHYSIK UND REAKTORTECHNIK

EIN VERFAHREN ZUR MESSUNG VON NEUTRONENFLUSSPROFILIEN

D. KOMPE

**KERNREAKTOR**  
Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.  
Verwaltung der Zentrallbücherei



KERNREAKTOR

Bau- und Betriebs-Gesellschaft m. b. H.

Verwaltung

## Ein Verfahren zur Messung von Neutronenflußprofilen

Von D. Kompe

Aus dem Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (Direktor: Prof. Dr. K. Wirtz) des Kernforschungszentrums Karlsruhe

### 1. Einleitung

Zur Bestimmung des thermischen Neutronenflusses in Reaktoren bestrahlt man meist kleine, scheibenförmige Sonden im Neutronenfeld und mißt anschließend ihre induzierte  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Aktivität. Die Ermittlung der Flußverteilung in einem größeren Bereich, etwa längs einer ganzen Linie, durch Messungen an verschiedenen Punkten mit Hilfe solcher Scheibensonden ist jedoch mühsam und erlaubt im allgemeinen keine genaue Bestimmung des Flußprofils in Bereichen starker Flußänderungen. Es ist daher naheliegend, band- oder drahtförmige Sonden zu verwenden. Nach der Bestrahlung im Reaktor kann man die kontinuierliche Aktivitätsverteilung längs der Sonde untersuchen, indem man das Band oder den Draht an einem geeigneten Detektor mit Bleikollimator vorbeiführt und die Aktivität des jeweils ausgeblendeten kurzen Intervalles mißt. Man kann nach diesem Verfahren dann auch Feinstrukturen im Neutronenfluß erfassen, wie sie in der Umgebung starker Neutronenabsorber (Uranstäbe, Regelstäbe usw.) auftreten.

Nach diesem Prinzip wurde eine Apparatur entwickelt, die zur Messung des thermischen Neutronenflusses am Karlsruher Reaktor FR 2 eingesetzt wird<sup>1</sup>. Damit das Verfahren auch bei umfangreichen Routinemessungen angewandt werden kann, wurde die Apparatur weitgehend automatisiert. Um eine Umrechnung aller nacheinander gemessenen Aktivitätswerte auf den gleichen Zeitpunkt zu umgehen, wird die Aktivität des jeweils ausgeblendeten Sondenintervalls auf die Aktivität einer gleichzeitig mitbestrahlten Vergleichssonde aus dem gleichen Material bezogen. Das Verfahren liefert dann zunächst nur relative Flußwerte. Die Normierung auf Absolutwerte kann durch Anschluß der gemessenen Flußverteilung in einem Punkt an einen gesondert gemessenen Absolutwert erfolgen.

### 2. Meßmethode und Apparatur

#### a) Die Sonden

Als Sondenmaterial wurde aus verschiedenen Gründen Kupfer gewählt. Gehärtetes Kupfer besitzt eine für unseren Zweck hinreichende mechanische Festigkeit und Elastizität. Auch die kernphysikalischen Eigenschaften von Kupfer sind günstig. Es gibt nur die beiden Isotope  $^{63}\text{Cu}$  (69,1%) und  $^{65}\text{Cu}$  (30,9%). Nach dem Abklingen der 5,14 min-Aktivität des  $^{60}\text{Cu}$  bietet die 12,8 h-Aktivität des  $^{64}\text{Cu}$  genügend Spielraum für ausreichende Meßzeiten. Der Aktivierungsquerschnitt des  $^{63}\text{Cu}$  von 3,9 barn für thermische Neutronen macht Kupfer geeignet für Messungen in Flüssen von etwa  $10^7 \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  an aufwärts.

<sup>1</sup> Über ähnliche Geräte für diesen Zweck haben andere Autoren bereits in einigen Veröffentlichungen berichtet [3...7].

\* Nach einer unveröffentlichten Arbeit von S. Hagen.

Die epithermische Aktivierung von  $^{63}\text{Cu}$  ist klein. Nach Westcott [1] ist der effektive Aktivierungsquerschnitt

$$\sigma = \sigma_0 (g + rs). \quad (1)$$

Dabei ist  $\sigma_0$  der Querschnitt für eine Neutronengeschwindigkeit von 2200 m/sec. Die Größen  $g$  und  $s$  beschreiben den Verlauf der Energieabhängigkeit des Querschnitts; für  $^{63}\text{Cu}$  ist bei einer Neutronentemperatur von 20°C  $g = 1,00$  und  $s = 0,723$ .  $r$  gibt den Anteil epithermischer Neutronen am gesamten Fluß an. Aus Messungen<sup>2</sup> ergab sich für den FR 2  $r \leq 0,039$ . Danach ist der epithermische Aktivierungsanteil für  $^{63}\text{Cu}$   $r \cdot s < 0,029$ . Er soll hier vernachlässigt werden.

Für ein gutes räumliches Auflösungsvermögen des eingangs schon erwähnten Bleikollimators ist es günstig, daß der  $^{64}\text{Cu}$ -Zerfall nur von verhältnismäßig wenig  $\gamma$ -Strahlung begleitet ist. Versuche mit  $^{60}\text{Co}$ , dessen harte  $\gamma$ -Strahlung die Bleischicht der Blenden noch gut durchdringt, ergaben beispielsweise ein merklich schlechteres Auflösungsvermögen als bei Kupfer. Außerdem hat Kupfer vor anderen Sondenmaterialien wie Gold, Kobalt und Mangan-Nickel-Legierungen noch den weiteren praktischen Vorteil, daß es in großer Reinheit verhältnismäßig leicht und billig zu beschaffen ist.

Die Apparatur wurde so konstruiert, daß sowohl Band- als auch Drahtsonden verwendet werden können. Cu-Drähte von 0,1 bis 0,5 mm Durchmesser sind brauchbar für Flüsse von etwa  $10^9 \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  an aufwärts. Drahtsonden sind für manche Zwecke (wie z. B. Messungen der radialen Flußverteilung durch ein Brennelement hindurch oder ähnliches) besonders geeignet, weil man sie gut durch dünne Bohrungen hindurchführen kann. Für Flüsse von  $10^7$  bis  $10^{12} \text{ sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  wurden 10 mm breite und 0,05 mm dicke Cu-Bänder aus gehärtetem Elektrolytkupfer vorgesehen. Folien dieser Dicke besitzen noch genügend Festigkeit, verursachen vernachlässigbar kleine Flußstörungen und haben bereits einen so großen  $\beta$ -Selbstabsorptionsfaktor, daß der Einfluß ungleichmäßiger Banddicke auf das Meßergebnis klein bleibt.

Da der FR 2 vorläufig nur bei kleiner Leistung betrieben wird, werden zunächst keine Drähte, sondern nur Bänder für die Messungen benutzt.

#### b) Die Wirkungsweise der Apparatur

Abb. 1 zeigt ein Blockschaltbild der Apparatur, das durch die folgende Funktionsbeschreibung kurz erläutert werden soll. Die Band- oder Drahtsonde wird von einem Transportmechanismus, den wir Radiograph nennen, schrittweise unter einem Detektor mit Bleikollimator weiterbewegt. Die Aktivität des jeweils aus-

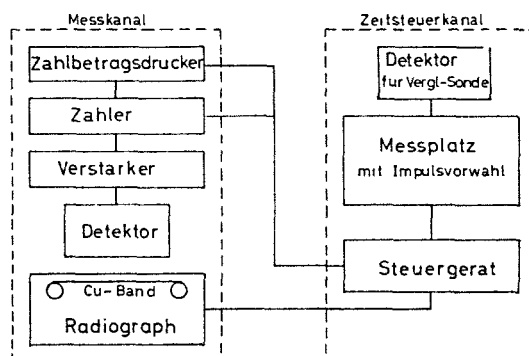


Abb. 1. Blockschaltbild der Apparatur

geblendeten kurzen Sondenstückes wird in den Geräten des Meßkanals erfaßt. Die Detektorimpulse werden nach Verstärkung einem Zähler zugeleitet, dessen Stand am Ende jeder Meßperiode von einem Drucker registriert wird. Diese schrittweise Messung mit digitaler Anzeige hat vor der Methode des kontinuierlichen Sondentransportes in Verbindung mit einem Zählratenmesser und Registrierung durch einen Schreiber den Vorteil, daß sich durch Vorgabe genügend langer Meßzeiten eine größere Genauigkeit erreichen läßt. Durch einen kleinen Kunstgriff werden Umrechnungen der Meßwerte mit Zeitfaktoren vermieden: Die Meßzeiten bleiben nicht konstant, sondern werden der zeitlichen Aktivitätsabnahme entsprechend vergrößert. Das wird durch einen Zeitsteuerkanal erreicht, der aus einer Cu-Vergleichssonde, einem Detektor und einem Meßplatz besteht, der bei Erreichen einer vorgewählten Impulszahl  $N'$  den Meßkanal mit Hilfe eines Steuergerätes stoppt.

Im Meßkanal gilt für die Impulsrate  $N$  pro Meßzeit  $T$  zur Zeit  $t$  nach der Bestrahlung, die für die Zeitdauer  $t_0$  im Fluß  $\Phi$  am Ort  $x$  stattgefunden hat:

$$\frac{N(x)}{T} = \sigma \cdot R \cdot \Phi(x) \cdot (1 - e^{-\lambda t_0}) \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Dabei ist

- $\sigma$  der Aktivierungsquerschnitt der Sonde,
- $R$  ein Faktor, der die Abmessungen der Sonde sowie die Ansprechwahrscheinlichkeit des Meßkanals enthält,
- $\lambda$  die Zerfallskonstante der Sondensubstanz.

Entsprechend gilt für die gleichzeitig im Fluß  $\Phi'$  mitbestrahlte Vergleichssonde des Zeitsteuerkanals:

$$\frac{N'}{T} = \sigma \cdot R' \cdot \Phi' \cdot (1 - e^{-\lambda t_0}) \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Aus (2) und (3) folgt:

$$\frac{\Phi(x)}{\Phi'} = \frac{R'}{R \cdot N'} N(x) = c \cdot N(x) \quad (4)$$

Zu Beginn einer Bandmessung lassen sich  $R$  und  $R'$  durch Verschieben der Zahlrohre in weiten Grenzen so einrichten, daß die Zählraten  $\frac{N}{T}$ ,  $\frac{N'}{T}$  und die Meßzeiten  $T$  für einen Punkt in einer solchen Größenordnung liegen, daß man genügend statistische Genauigkeit bei annehmbaren Zeiten für die ganze Meßreihe erhält. Da  $N'$  die konstante vorgewählte Impulszahl ist, gilt  $\frac{R'}{R \cdot N'} = c = \text{const}$  für die ganze Meßreihe, d. h.  $c$  hängt weder von der Bestrahlungsdauer  $t_0$  noch vom Zeitpunkt  $t$  der Messung ab. Da in (4) auch  $\sigma$  nicht mehr auftritt, sind die Meßwerte auch nicht abhängig von der Reinheit der Sonden, sofern man in beiden Kanalen Sonden aus dem gleichen homogenen Material verwendet. Da die beiden Flüsse  $\Phi(x)$  und  $\Phi'$  der Reaktorleistung proportional sind, sind die Meßwerte  $N(x)$  nach (4) auch unabhängig von der Reaktorleistung und ihren Schwankungen.

Die Meßwerte  $N(x)$  stellen nach (4) bis auf einen konstanten Faktor relative Flußwerte dar. Will man diese Kurve  $N(x)$  noch an die absoluten Flußwerte  $\Phi(x)$  anschließen, so muß man den Normierungsfaktor  $c \cdot \Phi'$  bestimmen. Dazu muß durch eine gesonderte Messung mit einer kleinen Scheibensonde an einer Stelle  $x = x_1$  des Bandes der absolute Neutronenfluß  $\Phi(x)_1$  ermittelt werden<sup>3</sup>.

Dann ist nach (4)  $\frac{\Phi(x_1)}{N(x_1)} = c \cdot \Phi'$  der Normierungsfaktor, der durch die Einstellung der Apparatur und den Einfluß der Reaktorgeometrie auf die Vergleichssonde im Fluß  $\Phi'$  gegeben ist. Solange man diese Parameter nicht ändert, bleibt die Apparatur geeicht.

Eine für manche Zwecke, wie z. B. Leistungsbestimmungen, nützliche Anwendungsmöglichkeit der Apparatur besteht in der Integration des Neutronenflusses längs einer Linie. In den Zähler des Meßkanals wurde ein Schalter eingebaut, mit dem man das Löschen des Zählbetrages nach dem jeweiligen Ausdrucken verhindern kann, so daß automatisch alle Meßwerte fortlaufend aufsummiert werden. Ihre Summe stellt dann das Linienintegral des Flusses dar. Will man nur diese Summe mit gleicher statistischer Genauigkeit bestimmen wie sonst die einzelnen Meßwerte  $N_i$ , so kommt man natürlich mit wesentlich kürzeren Meßzeiten aus.

### c) Der Aufbau der Apparatur (Abb. 2)

Ein serienmäßig hergestellter Radiopapierchromatograph FH 452 wurde zu einem Gerät umgebaut, das den mechanischen Transport der Band- oder Drahtsonden übernimmt. Als Transportvorrichtung für Cu-Bänder dient eine Antriebsrolle aus Hartgummi, die

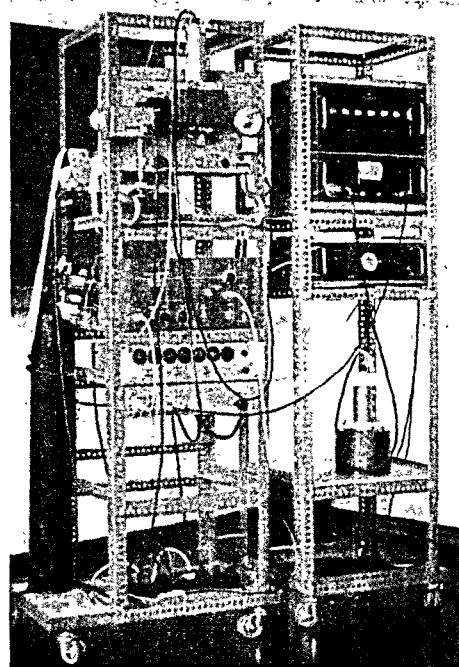


Abb. 2.  
Gesamtansicht  
der Apparatur

in Verbindung mit zwei Andruckrollen aus Gummi einen rutschsicheren Vorschub gewährleistet. Eine Aufwickelvorrichtung sammelt das Band hinter der Antriebsrolle. Für Drahtsonden wurde eine Rolle gebaut, auf die der Draht sauber in Gewindegängen auf dem Mantel aufgespult wird. Kleine Rollen sorgen für eine genaue Führung der Bänder und Drähte unter dem Detektor dicht an der Blende. Durch Umbau des Antriebsaggregates und des im Gerät eingebauten Relaissteuerwerkes konnte die jeweils für einen Schritt der Transport- und Schaltautomatik benötigte Pausenzeit zwischen zwei Meßzeiten erheblich verkürzt werden. Ein Schrittschaltwerk ermöglicht die Einstellung vieler verschiedener Schrittlängen. Es wurde noch ein Mikroschalter eingebaut, der nach dem Durchlauf eines Bandes die Automatik stoppt.

\* Über Methoden der Absolutmessung vgl. z. B. [2].

Der Detektor wurde in einen Bleiklotz eingelassen, um eine gute Abschirmung gegen Streustrahlung von den Seiten zu erreichen. In diesen Klotz können Bleiblenen verschiedener Größen eingesetzt werden. Die Breite der rechteckigen unteren Blendenöffnung ist um 2 mm geringer als die der Cu-Bänder, so daß ein Einfluß von etwaigen Schwankungen in der Bandbreite ausgeschaltet wird.

Aus Gründen des räumlichen Auflösungsvermögens ist es günstig, im Meßkanal einen  $\gamma$ -unempfindlichen Detektor für  $\beta$ -Strahlung zu verwenden. Daher wurden zwei Methandurchflußzählrohre (Typ FH 407) mit Endfenster für die beiden Kanäle verwendet. Solche Proportionalzählrohre sind außerdem wegen des guten zeitlichen Auflösungsvermögens, wegen ihrer Konstanz und Zuverlässigkeit vorteilhaft. Beide Zählrohre wurden an die gleiche Hochspannungsquelle angeschlossen, wodurch das Meßergebnis nahezu unabhängig von Hochspannungsschwankungen wird. Denn nach (4)

ist  $\Phi(x) \sim \frac{N/T}{N'/T} = \frac{N}{N'}$ , so daß wegen der gleichsinnigen Änderung von  $\frac{N}{T}$  und  $\frac{N'}{T}$  bei Schwankungen der Hochspannung  $U$  die Charakteristik  $\frac{N}{N'}(U)$  in einem

gewissen Bereich einen viel flacheren Verlauf zeigt als die einzelnen Zählrohrcharakteristiken  $N(U)$  und  $N'(U)$ . In unserem Fall war an der flachsten Stelle die

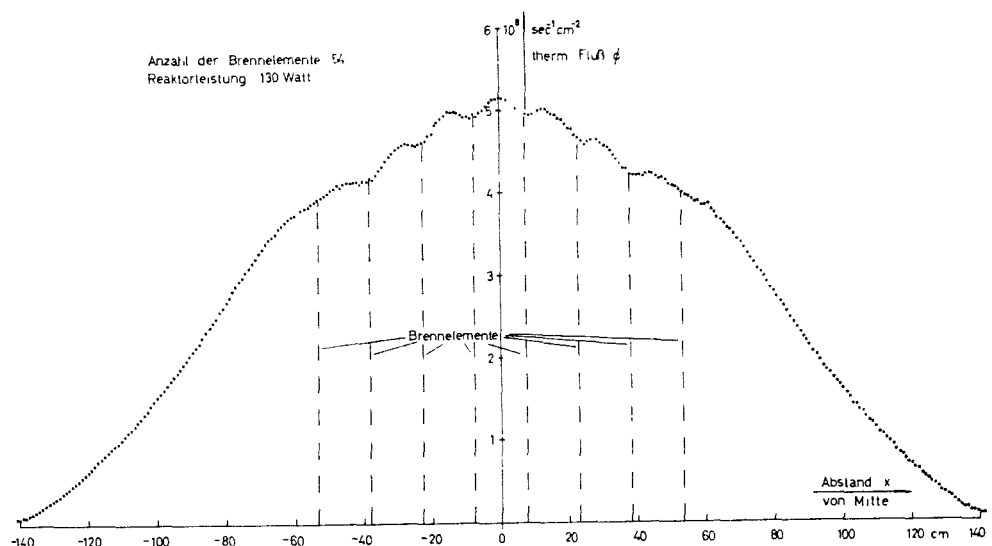
$$\text{Änderung } \frac{\Delta \left( \frac{N}{N'} \right)}{\Delta U} < \frac{0,4\%}{100 \text{ Volt}}$$

Der Meßkanal muß ein gutes zeitliches Auflösungsvermögen besitzen, damit die hohen Zählratenunterschiede längs eines im Reaktor aktivierten Bandes verarbeitet werden können. Der verwendete Verstärker mit Integrodiskriminator (Typ Hamner 301) hat eine Totzeit von  $1,5 \mu\text{sec}$ . Ein schneller Zähler mit  $1 \mu\text{sec}$  Auflösungszeit, der mit Trochotron- und Dekatron-Zählrohren arbeitet und an einen Kienzle-Zählbetragdrucker (D 1 E) angeschlossen werden kann, wurde für dieses Gerät entwickelt.

Der Zeitsteuerkanal enthält den Strahlungsmeßplatz FH 90 und das Steuergerät FH 902, die so abgeändert wurden, daß auch die Geräte des anderen Kanals an diese Steuerung angeschlossen werden konnten.

Die Bedienung der Apparatur beschränkt sich im wesentlichen auf das Einlegen der Bänder, wobei der Anfang des

Abb. 3. Flußverlauf im horizontalen  $D_2$ -Kanal des FR 2



aktivierten Bandes von Hand auf den Blendenrand eingestellt wird. Nach dem Drücken des Startknopfes läuft die ganze Meßreihe automatisch ab. Der Bedienungsaufwand läßt sich noch dadurch verringern, daß man mehrere Bänder mit Klebestreifen aneinanderklebt. Die Übergangsstellen kann man durch Einfügen kurzer nichtaktivierter Blindstreifen markieren.

### 3. Meßgenauigkeit

Im folgenden sollen nur kurz die Ergebnisse der Fehlerabschätzungen angegeben werden; sie werden an anderer Stelle ausführlicher diskutiert [8].

Die Totzeit der beiden Kanäle geht in etwas anderer Weise in das Meßergebnis ein, als das bei einem einzelnen Kanal der Fall ist. Es gilt die Korrekturformel

$$N_0 = \frac{n}{1 - \frac{n\tau e^{-\lambda t} + n'\tau'(1-e^{-\lambda t})}{T_0}} \quad (5)$$

Dabei bedeuten

- $n, n'$  die in der Zeit  $T$  gemessenen Zählraten im Meß- und Steuerkanal mit den zugehörigen wahren Zählraten  $N, N'$ ,
- $\tau, \tau'$  die Totzeiten der beiden Kanäle,
- $t$  die Zeit seit Beginn der Meßreihe,
- $T_0$  die Zeitdauer für den 1. Meßpunkt ( $t = 0$ ),
- $N_0$  die auf die Zeit  $t = 0$  bezogene wahre Zählrate.

Glücklicherweise kann man diese mühsame zeitabhängige Korrektur bei nicht zu hohen Zählraten  $N, N'$  und kleinen Totzeiten  $\tau, \tau'$  im allgemeinen vernachlässigen. Bei unseren Meßreihen blieben die Änderungen dieses Totzeitkorrekturfaktors meist kleiner als 0,2%.

Das endliche Auflösungsvermögen der Blenden läßt sich auch durch eine Korrektur erfassen. Diese Korrektur läßt sich aber ebenfalls meist vernachlässigen, weil sie nur bei starker Krümmung der Flußverteilung ins Gewicht fällt, im allgemeinen aber unter 0,1% liegt.

Für die Meßkurve längs des  $D_2$ -Kanals (Abb. 3) z. B. wird die Korrektur maximal 0,05%. Lediglich für den starken Aktivitätssprung an den Bandenden ist diese Auflösungskorrektur wichtig. Sie macht dort je nach Art der Blende 5% bis 10% aus.

Der relative statistische Fehler  $r$  von  $N$  setzt sich geometrisch aus denen von  $N$  und  $N'$  zusammen:

$$r = \sqrt{1/N + 1/N'} \quad (6)$$

Man wird also zweckmäßig beide Zählraten  $N$  und  $N'$  in der gleichen Größenordnung halten.

Eine weitere Fehlerquelle bilden Schwankungen (bis zu 1%) in der Dicke der Cu-Bänder. Infolge der  $\beta$ -Selbstabsorption entsteht dadurch jedoch nur ein Meßfehler von etwa 0,3%.

Durch diesen Fehler und die Inkonstanz der elektronischen Geräte ist die Meßgenauigkeit schon auf ungefähr 0,4% beschränkt. Hinzu kommt noch der statistische Fehler, der sich bei unseren Messungen meist in der Größenordnung von 0,1% bis 0,5% bewegt. Bei Vernachlässigung der Korrekturen für Totzeit, Auflösungsvermögen und Nulleffekt läßt sich dann also eine Meßgenauigkeit von etwa 0,7% bis 1% erreichen, je nach Zählrate und Zeit, die für die Meßreihe zur Verfügung stehen.

#### 4. Erprobung des Verfahrens durch Flußmessungen am FR 2

Im folgenden soll an Hand einiger Beispiele über die Anwendungen der Apparatur bei den Flußmessungen am Karlsruher Forschungsreaktor FR 2 berichtet werden. Bei den ersten Flußmessungen wurden die Bänder auf Trägern aus Aluminium befestigt, die für die Halterung kleiner Scheibensonden gebaut worden waren. Für größere Meßprogramme wurden von der Reaktorbetriebsgruppe noch Bandträger mit ausfahrbaren Armen gebaut, die das gleichzeitige Aufhängen einer ganzen Reihe von Bändern im Reaktor ermöglichen. Die Bänder werden dabei durch Beschweren mit einem Bleigewicht straff gehalten. Bei Bestrahlung außerhalb der Kanäle müssen die Bänder gemäß den Vorschriften

zur Vermeidung von Korrosion wasserdicht eingepackt werden; das geschieht durch Bekleben mit einer Kunststoffklebefolie, die selber kaum aktiv wird, oder durch Einschweißen in Polyäthylen.

Der heterogene Schwerwasserreaktor FR 2 wird bei einer Besetzung des Cores mit 54 Brennelementen aus Natururan gerade kritisch. Zwei der bei diesem Beladungszustand des Reaktors gemessenen Flußverteilungen sind als Beispiele für unser Verfahren in Abb. 3 und 4 wiedergegeben. Abb. 3 zeigt den Flußverlauf im  $D_2$ -Kanal, einem horizontalen, durchgehenden Experimentierkanal, der nahe am Reaktorzentrum vorbeiläuft. Die gemessene Kurve läßt deutlich die Struktur des Reaktorgitters mit den Absenkungen für den thermischen Neutronenfluß in der Nähe der stark absorbierenden Uranstäbe erkennen. Abb. 4 zeigt einen bei gleicher Beladung des Reaktors gemessenen Flußverlauf in einem vertikalen Isotopenkanal. Die Kurve hat ungefähr Sinusform. Schwach erkennbar ist am oberen Übergang vom Core zum Reflektor die Flußaufwölbung, die durch Abbremsung schneller Neutronen im Reflektor bei fehlender Absorption entsteht.

Am FR 2 wurden inzwischen umfangreiche Flußmessungen durchgeführt, bei denen unsere Apparatur eingesetzt wurde. Über diese Arbeit wird aber noch an anderer Stelle gesondert berichtet werden.

Herrn Prof. Wirtz möchte ich danken für die Anregung zu dieser Arbeit, Herrn Dr. Beckurts für viele wertvolle Ratschläge.

#### Literatur

- [1] Westcott C. H. et al.: „Effective cross sections and cadmium ratios for the neutron spectra of thermal reactors“, Genf Paper 16, S. 70, 1958
- [2] Wirtz K. und Beckurts K. H.: „Elementare Neutronenphysik“, Springer 1958
- [3] Preston R. J.: „The MTR automatic wire scanner“, IDO-16243, 1955
- [4] Abson W. und Awcock M.: „2 ionisation chambers for activity measurements on wires used for neutron flux scanning“, AERE EL/M-100, 1958
- [5] Raievski V. und Pellé M.: Journal de Physique et de Radium 463 (1953)
- [6] Mulot P., Poussot R., Schmitt A. P. und Zaleski C. P.: Nucl. Instr. and Meth. 8 (1960)
- [7] Behringer K. und Brunner J.: Neue Technik 8, 135 (1960)
- [8] Kompe D.: Diplomarbeit, Karlsruhe 1961

Anschrift des Verfassers: Dieter Kompe, Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Weberstr. 5

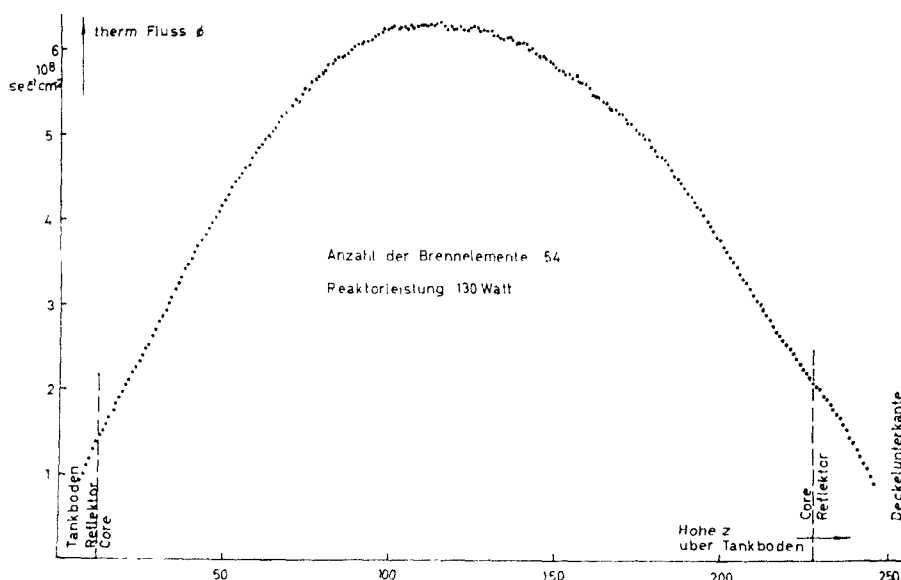


Abb. 4. Flußverlauf in einem vertikalen Isotopenkanal des FR 2

**Ein Verfahren zur Messung von Neutronenflußprofilen**

Es wird ein Verfahren zur Messung des Neutronenflusses in Reaktoren beschrieben, bei dem bandförmige Cu-Sonden bestrahlt werden. Die kontinuierliche Verteilung der induzierten  $\beta$ -Aktivität längs eines Bandes entspricht der Flußverteilung bei der Aktivierung. Für diese Meßmethode wurde eine automatische Apparatur aufgebaut.

**A Method for Measuring Neutron-Flux Profiles**

The article describes a method for measuring neutron flux in reactors by the irradiation of ribbon-shaped copper probes. The continuous distribution of induced  $\beta$  activity along the ribbon corresponds to the flux distribution during activation. An automatic device was constructed for this method.

**Un procédé pour la mesure des profils du flux neutronique**

Un procédé pour la mesure du flux neutronique dans les réacteurs nucléaires, basant sur l'exposition de sondes en cuivre en forme de ruban, est décrit. La répartition continue de l'activité bêta induite le long du ruban correspond à la distribution lors de l'activation. Un appareil automatique a été spécialement mis au point pour cette méthode de mesure.