

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

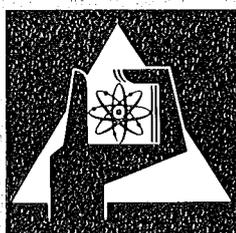
Juni 1974

KFK 1994

Institut für Angewandte Systemtechnik und Reaktorphysik  
Projekt Schneller Brüter

Ein Protonenrückstoß-Spektrometer für in-pile-Messungen  
im Energiebereich zwischen 500 keV und 3 MeV

E. Korthaus



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

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

1974

KFK 1994

Institut für Angewandte Systemtechnik und Reaktorphysik  
Projekt Schneller Brüter

Ein Protonenrückstoß-Spektrometer für in-pile-Messungen  
im Energiebereich zwischen 500 keV und 3 MeV

E. Korthaus

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe



Ein Protonenrückstoß-Spektrometer für in-pile-Messungen  
im Energiebereich zwischen 500 keV und 3 MeV

Kurzfassung

Ein Protonenrückstoß-Spektrometer für in-pile-Messungen von Neutronenspektren zwischen 500 keV und 3 MeV in schnellen Nullenergieanordnungen wird beschrieben. Es verwendet eine sphärische Ionisationskammer von 43 mm Durchmesser, die mit Methan unter einem Druck von 11 Atmosphären gefüllt ist und mit einer Spannung von 12 kV betrieben wird.

Aus Testmessungen mit monoenergetischen Neutronen wurde eine Energieauflösung von etwa 10% ermittelt.

Die Ergebnisse von Messungen an einer  $^{252}\text{Cf}$ -Spontanspaltungsquelle und einer  $^{241}\text{Am/F}-(\alpha, n)$ -Quelle sowie Messungen in der SUAK-Anordnung 7A zeigen eine gute Übereinstimmung mit Ergebnissen anderer Autoren.

27.5.1974

A Proton Recoil Spectrometer for In-Pile-Measurements  
in the Energy Range between 500 keV and 3 MeV

Abstract

A proton recoil spectrometer for in-pile-measurements of neutron spectra between 500 keV and 3 MeV in fast zero energy assemblies is presented. It uses a spherical ionization chamber filled with methane at 11 atmospheres and works at a high voltage of 12 kV.

Test measurements with monoenergetic neutrons have revealed an energy resolution of 10%.

Results of measurements on a  $^{252}\text{Cf}$ -spontaneous fission neutron source and a  $^{241}\text{Am/F}$ - $(\alpha, n)$ -source as well as measurements in the SUAK assembly 7A are in good agreement with results of other authors.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Das Zählrohr und der Spektrometeraufbau	2
3. Meßergebnisse	5
3.1 Protonen aus der Reaktion $^{14}\text{N}(n_{\text{th}},p)^{14}\text{C}$	5
3.2 Monoenergetische Neutronen	6
3.3 $^{252}\text{Cf}$ -Spontanspaltungsquelle	9
3.4 $^{241}\text{Am/F}$ - $(\alpha,n)$ -Quelle	10
3.5 SUAK-7A	11
4. Zusammenfassung	12
Literaturverzeichnis	14
Abbildungen	16

## 1. Einleitung

Die Anwendung der Protonenrückstoßmethode mit Proportionalzählrohren für die in-pile-Messung des Neutronenflußspektrums von schnellen kritischen Anordnungen war bisher auf den Energiebereich zwischen etwa 10 keV und 1.5 MeV beschränkt. Für das Verständnis des neutronenphysikalischen Verhaltens von schnellen Brutreaktoren sind jedoch Messungen bis wenigstens 5 MeV von Interesse. Dasselbe gilt auch für die Blanketzone von Fusionsreaktoren.

Andere Meßmethoden, wie zum Beispiel die  $^6\text{Li}$ - oder  $^3\text{He}$ -Sandwichspektrometer, haben den Nachteil, daß die zugrundeliegenden Reaktionsquerschnitte nicht hinreichend genau bekannt sind. Außerdem sind diese Spektrometer relativ kompliziert und kostspielig. Es wurden daher bereits von verschiedener Seite Versuche unternommen, den Meßbereich der Protonenrückstoßmethode nach höheren Energien hin auszudehnen.

Abgesehen von den Methoden, die nur für Messungen außerhalb der Anordnungen an einem extrahierten Strahl geeignet sind, /1/ und /2/, waren bisher keine praktischen Lösungen gefunden worden. Der Grund dafür lag darin, daß man bei den bisher gebräuchlichen Zählrohren den Druck des Füllgases (i.a. Methan) nicht wesentlich über 3 atm erhöhen konnte, ohne daß sich die Energieauflösung auf Grund von Rekombinations- und Elektronenanlagerungseffekten unzulässig verschlechterte.

Das im folgenden beschriebene Protonenrückstoß-Spektrometer ist in seinem Aufbau und in der Konstruktion des Zählrohres so aus-

gelegt, daß es die Verwendung einer Betriebsspannung von 12 kV erlaubt. Dadurch kann ein Druck des Füllgases (Methan) von 11 atm verwendet werden, was bei den vorgegebenen Abmessungen des Zählrohres einer oberen Grenze des Energiebereiches von 3 MeV entspricht.

Über Eichmessungen mit monoenergetischen Neutronen sowie über Messungen verschiedener Neutronenspektren mit diesem Spektrometer wird in Abschnitt 3. berichtet.

## 2. Das Zählrohr und der Spektrometeraufbau

Das Spektrometer besteht aus dem Zählrohr, einer sphärischen Ionisationskammer von 43 mm Innendurchmesser (Abb. 1), die zusammen mit einem Vorverstärker (Abb. 3) in einem Abschirmgehäuse mit den Ausmaßen 50 x 50 x 80 mm<sup>3</sup> untergebracht ist. Das Zählrohr ist durch 1 mm starke Teflonscheiben gegen das geerdete Gehäuse isoliert, so daß der Zählrohrmantel auf negative Hochspannung gelegt werden kann. Die Signalelektrode ist direkt mit dem Vorverstärkereingang verbunden und liegt daher praktisch auf Erdpotential. Der Signalelektrodenisolator des Zählrohres besteht aus zwei Teilen, die durch eine geerdete Schutzelektrode getrennt sind. Dieses Konzept der hochspannungsfreien Signalelektrode, das einen hochspannungsfesten Koppelkondensator erübrigt, sowie die Auslegung des Isolators am Zählrohr und der Hochspannungszuführung erlauben die Verwendung von Hochspannungen bis zu etwa 13 kV. Die normale Betriebsspannung des Spektrometers beträgt 12 kV.

Durch diese hohe Spannung wird die elektrische Feldstärke im Innern des Zählrohres relativ groß. Dies führt zu einer Reduktion der Rekombinations- und Elektronenanlagerungseffekte, so daß bei vorgegebener Energieauflösung der Gasdruck wesentlich erhöht werden kann. Die hier beschriebene Spektrometeranordnung verwendet eine Zählrohrfüllung von 11 atm Methan ( $10.8 \text{ atm CH}_4 + 0.2 \text{ atm N}_2$  für Eichzwecke). Es wurden bisher handelsübliche Gase (Verunreinigungen:  $\text{O}_2 \leq 5 \text{ vpm}$ ,  $\text{H}_2\text{O} \leq 5 \text{ vpm}$ ) verwendet, ohne zusätzliche Maßnahmen zur weiteren Reinigung der Gase vorzunehmen. Der Fülldruck von 11 atm ergibt bei den gegebenen Zählrohrabmessungen einen Meßbereich von etwa 0.5 MeV bis 3.0 MeV (Spurenlänge / Zählerradius  $\approx 0.7$ ). Die untere Grenze des Meßbereichs wird dabei im wesentlichen durch die  $\gamma$ -Empfindlichkeit des Zählers festgelegt, jedoch auch dadurch, daß sich bei niedrigen Energien die relative Energieauflösung des Spektrometers durch das Vorverstärkerrauschen (ca. 25 keV) verschlechtert.

Die Verwendung einer sphärischen Ionisationskammer anstelle eines zylindrischen Proportionalzählrohres bringt die Vorteile einer isotropen Richtungsempfindlichkeit und einer einfachen und kompakten Bauweise, die nur einen Hochspannungsisolator benötigt, mit sich. Die Verwendung von sphärischen Proportionalzählern in Anlehnung an bekannte Konstruktionen /3/ erscheint prinzipiell möglich. Die optimale Auslegung der Elektrodengeometrie, die für eine gute Energieauflösung dieser Zähler notwendig ist, würde allerdings einen beträchtlichen Entwicklungsaufwand erfordern.

Bei der Verwendung der sphärischen Ionisationskammer ist zweierlei zu beachten:

- a) Auf Grund der fehlenden Gasverstärkung sind die Impulse relativ klein. Der Signal/Rausch-Abstand läßt sich jedoch mit Hilfe eines

rauscharmen Vorverstärkers, der direkt an die Signalelektrode angeschlossen ist, hinreichend klein halten ( $\leq 5\%$  bei 500 keV).

- b) Wegen des sogenannten Induktionseffektes sind die Impulsgrößen vom Entstehungsort der Primärionisation im Zählrohr abhängig. Dies hat eine leichte Asymmetrie der Linienform in Verbindung mit einer kleinen "Schwanzfläche" zur Folge. Bei der vorliegenden Zählergeometrie ist dieser Effekt jedoch ziemlich klein: Nur etwa 12% der Impulse liegen unterhalb 90% der Maximalgröße. Da dieser Effekt nur schwach von der Neutronen- bzw. Protonenenergie abhängt, kann leicht an den gemessenen Impulshöhenspektren näherungsweise eine entsprechende Korrektur vorgenommen werden (siehe Kapitel 3.). Das Problem ist vergleichbar mit den Verhältnissen in sphärischen Proportionalzählrohren, wo ein Abfall der Gasverstärkung an den Enden des Anodendrahtes auftritt /4/.

Abb. 2 zeigt das Blockschaltbild der Spektrometerelektronik. Als Hochspannungsgerät konnte eine einfache, ungestabilisierte Kaskadenschaltung verwendet werden, da das Zählrohr ohne Gasverstärkung arbeitet, so daß die Impulsgröße praktisch nicht von der Betriebsspannung abhängt.

Die kurze Klippzeit von 1.3  $\mu\text{sec}$  ermöglicht die Verarbeitung relativ hoher Zählraten (ca.  $10^4/\text{sec}$ ). Sie hat keine negative Auswir-

kung auf die Energieauflösung, da die Anstiegszeit (0 - 100%) der Zählrohrimpulse weniger als 1  $\mu$ sec beträgt (Elektronenanteil).

Mit dem einfachen Vorverstärker (Abb. 3) und der hier gewählten Impulsformung (1.3  $\mu$ sec Klippen, ca. 100 nsec Integrationszeit) ergibt sich ein elektronisches Rauschen von etwa 25 keV.

Für die Überwachung des Vorverstärkerrauschens und der Verstärkung der Spektrometerelektronik ist ein Testpulserschluß am Vorverstärkereingang vorgesehen.

### 3. Meßergebnisse

#### 3.1 Protonen aus der Reaktion $^{14}\text{N}(n_{\text{th}},p)^{14}\text{C}$

Aus der Reaktion  $^{14}\text{N}(n_{\text{th}},p)^{14}\text{C}$ , deren Q-Wert 626 keV beträgt, erhält man Protonen mit einer Energie von 584.3 keV und  $^{14}\text{C}$ -Kerne mit 41.7 keV Energie. Der Zusatz einer kleinen Menge (0.2 atm) Stickstoff zum Füllgas eröffnet daher die Möglichkeit, mit Hilfe von thermischen Neutronen jederzeit eine Eichlinie erzeugen zu können, mit der sich die Energieauflösung und die Energieeichung des Spektrometers überprüfen lassen. Die von den  $^{14}\text{C}$ -Kernen in Methan erzeugten Ionisationsbeiträge entsprechen einer Protonenenergie von nur etwa 30 keV, da der Energieverlust pro Ionenpaar in Methan für Kohlenstoffkerne um etwa 40% größer ist als für Protonen /1/. Demnach müßte die Stickstoff-Eichlinie einer Pro-

tonenenergie von etwa 614 keV entsprechen. Es kommt jedoch hinzu, daß die von  $^{14}\text{C}$ -Kernen herrührenden Beiträge infolge der hohen Ionisationsdichte wesentlich stärker von Rekombinations- bzw. Elektronenanlagerungsverlusten betroffen werden als die Protonenbeiträge. Mit einer Schätzung von  $(20 \pm 10)$  keV für den Beitrag der  $^{14}\text{C}$ -Rückstoßkerne zum Gesamtimpuls erhält man für die effektive, d.h. auf Protonen bezogene Energie der Stickstoff-Eichlinie den Wert  $(604 \pm 10)$  keV. Dieser Wert wurde von den Messungen mit monoenergetischen Neutronen (siehe Kapitel 3.2) innerhalb der Fehlergrenzen bestätigt.

Die Abb. 4 zeigt eine Stickstoff-Eichlinie zusammen mit einer Pulserlinie, die den Beitrag des Vorverstärkerrauschens zeigt. Für die reduzierte Zählrohrauflösung, die bei höheren Energien nahezu erreicht wird, ergibt sich daraus ein Wert von etwa 9.5%.

Die leichte Asymmetrie der Linie ist auf den bereits erwähnten Induktionseffekt zurückzuführen.

### 3.2 Monoenergetische Neutronen

Zur Überprüfung der Linearität, der Energieeichung und der Response-Funktion des Spektrometers wurden Eichmessungen mit monoenergetischen Neutronen durchgeführt. Über die Reaktionen  $^3\text{H}(p,n)^3\text{He}$  am Van de Graaff in Cadarache und  $\text{D}(\text{D},n)^3\text{He}$  an einem Neutronengenerator wurden Neutronen mit den Energien 0.707, 1.027, 1.421, 1.81 und 2.315 MeV bzw. 2.84 und 3.02 MeV erzeugt. Die Abbildungen 5-7

zeigen als Beispiel die bei 1.027, 1.81 und 2.84 MeV gemessenen Impulshöhenspektren zusammen mit den daraus berechneten Neutronenverteilungen. Die Entfaltung der Rückstoßprotonenspektren wurde mit Hilfe des FORTRAN-Programms SPEC4 /5/ vorgenommen. Aus den Halbwertsbreiten der Neutronenpeaks läßt sich eine Energieauflösung von etwa 9 - 10% ablesen - in guter Übereinstimmung mit dem Ergebnis, das mit der Stickstoff-Eichlinie ermittelt wurde. Die 1.02 MeV-Linie ist durch ein elektronisches Störsignal, das sich den Zählrohrimpulsen überlagerte, zusätzlich etwas verbreitert. Dieses Störsignal entstand über einen Mikrofonieeffekt durch das Geräusch der Preßluftkühlung des Targets.

Die Linienformen zeigen wieder die leichte Asymmetrie, die durch den Induktionseffekt hervorgerufen wird. In den Abbildungen sind punktiert die Ergebnisse eingezeichnet, die nach einer näherungsweise Korrektur des Impulshöhenspektrums für diesen Effekt erhalten wurden. Es wurde dabei angenommen, daß durch den Induktionseffekt 8% bzw. 4% des Inhalts eines Kanals mit der Energie  $E$  in den Kanal mit der Energie  $0.9E$  bzw.  $0.8E$  verlagert wird. Dies entspricht recht gut der theoretischen Linienform für punktförmige Spuren, wenn man die "Verschmierung" durch die begrenzte Energieauflösung von 10% mit hinzunimmt. Die Abbildungen zeigen, daß durch diese Korrektur tatsächlich die Asymmetrie der Linien weitgehend beseitigt wird. Ein direkter Vergleich zwischen den korrigierten Impulshöhenverteilungen und den mit SPEC4 berechneten Response-Funktionen zeigt, daß die experimentellen Verteilungen immer etwas steiler verlaufen, d.h. stärkere Wandeffekte zeigen als die theoretischen. Das Verhältnis zwischen der extrapolierten Höhe des Impulshöhenspektrums bei  $E_N$  und dem Wert bei  $0.5E_N$  ist jeweils um etwa 10% kleiner als berechnet. Derartige Unsicherheiten führen zu Fehlern von weniger als  $\pm 3\%$  im relativen Verlauf der gemessenen Spektren. Es können jedoch noch zu-

sätzliche Fehler bei der Berücksichtigung des Beitrags von Neutronen oberhalb von 3 MeV auftreten, da in diesem Energiebereich die Response-Funktion des Spektrometers noch nicht experimentell überprüft wurde.

Interessant ist, daß für sphärische Proportionalzähler, die mit Wasserstoff unter 10 atm Druck gefüllt waren, ganz ähnliche Diskrepanzen zwischen gemessenen und berechneten Response-Funktionen gefunden wurden /4/.

Die Abb. 8 zeigt die Eichgerade, die aus den Messungen am Van de Graaff gewonnen wurde. Zusätzlich eingezeichnet ist die Lage der Stickstoff-Eichlinie, für die sich aus der Eichgerade eine effektive Energie von  $610 \pm 20$  keV ergibt.

Während die Linearität des Spektrometers offensichtlich sehr gut ist, zeigt der extrapolierte Nullpunkt der Eichgeraden die bemerkenswerte große Verschiebung um  $85 \pm 15$  keV. Dies ist jedoch zumindest qualitativ in Übereinstimmung mit Messungen anderer Autoren. So werden für Methan bei Gasdrücken zwischen 1 und 3 atm Werte von  $30 \pm 10$  keV /1/, /6/ und  $16 \pm 3$  keV bei 2 atm /4/ berichtet, während bei 8 atm Werte von  $43 \pm 25$  keV und  $87 \pm 24$  keV gemessen wurden /4/.

Die Fülldrücke und Reinheitsgrade der verschiedenen Methanfüllungen sowie die unterschiedlichen Zählrohrabmessungen und elektrischen Feldstärken lassen einen quantitativen Vergleich dieser Messungen mit den hier zu berichtenden Ergebnissen nicht zu. Sie zeigen jedoch eindeutig, daß die Nullpunktverschiebung bei Methan mit steigendem Druck wächst. Als Erklärung liegt die auch in /4/ geäußerte Vermutung nahe, daß mit steigendem Druck beträchtliche Verluste durch Rekombination und Elektronenanlagerung im Bereich der höchsten Ionisationsdichte, d.h. am Ende der Spuren, den beobachteten konstanten Impulshöhenverlust verursachen.

Dieser Effekt verursacht im Falle des hier beschriebenen Hochdruckzählers nicht die zu erwartende Verschlechterung der Energieauflösung. Dies hängt vermutlich damit zusammen, daß er zumindest teilweise durch den Induktionseffekt kompensiert wird: Spuren, die näher an der Anode liegen, erleiden weniger Rekombinations- bzw. Elektronenanlagerungsverluste, erzeugen jedoch auf Grund des Induktionseffektes kleinere Impulse.

Die angegebene Unsicherheit von  $\pm 15$  keV für die Nullpunktsverschiebung hat bei typischen schnellen Reaktorspektren Fehler bis zu etwa 4% im Meßergebnis oberhalb von 500 keV zur Folge, so daß eine etwas genauere Bestimmung dieses Wertes wünschenswert wäre.

### 3.3 $^{252}\text{Cf}$ -Spontanspaltungsquelle

Die Abb. 9 zeigt das an einer  $^{252}\text{Cf}$ -Quelle gemessene Neutronenspektrum im Vergleich mit zwei Messungen an derselben Quelle /7/, die einerseits ebenfalls nach der Protonenrückstoßmethode, jedoch mit großen zylindrischen Zählrohren, zum anderen mit einem  $^3\text{He}$ -Sandwich-Spektrometer durchgeführt wurden.

Das leichte Abflachen des Spektrums unterhalb 800 keV ist auf den Einfluß der Kohlenstoffrückstoßkerne zurückzuführen, deren Beitrag zum Impulshöhenspektrum von dem verwendeten Entfaltungsprogramm nicht berücksichtigt wird. Mittels einer groben Abschätzung dieses Effektes erhält man den punktiert eingezeichneten Spektrumsverlauf unterhalb 900 keV. Der Einfluß des Induk-

tionseffektes liegt bei diesem Spektrum in der Größenordnung von 1% und ist daher nicht gesondert eingezeichnet.

### 3.4 $^{241}\text{Am}/\text{F}$ - $(\alpha, n)$ -Quelle

Die Abb. 10 zeigt das an einer Am/F-Quelle gemessene Spektrum im Vergleich mit einer anderen Messung an derselben Quelle, die mit großen zylindrischen Protonenrückstoßzählrohren durchgeführt wurde /1/.

Der punktierte Verlauf ergibt sich nach Berücksichtigung des Induktionseffektes.

Die Quelle bestand aus einer homogenen Mischung von 1 g  $\text{AmO}_2$  entsprechend einer  $\alpha$ -Aktivität von 3 Ci, und etwa 19 g  $\text{CaF}_2$ , die sich in einer zylindrischen Stahlkapsel mit den Abmessungen 48.5 x 22.4 mm Durchmesser und einer Wandstärke von 2.4 mm befand.

Die Übereinstimmung der beiden Messungen ist bemerkenswert gut. Eine Korrektur der verwendeten Response-Funktionen im Sinne der experimentellen Ergebnisse (siehe Kapitel 3.2) würde die Übereinstimmung noch verbessern.

### 3.5 SUAK-7A

In der SUAK-Anordnung 7A, deren Core-Zusammensetzung mit der der SNEAK-Anordnung 7A /8/ identisch war (Einheitszelle aus einem  $UO_2/PuO_2$ - und einem Graphit-Plättchen), wurde das Hochdruckspektrometer erstmals für eine in-pile-Messung eingesetzt. Als Neutronenquelle für die unterkritische Anordnung diente in diesem Fall das Plutoniumoxyd der Core-Mischung (Spontanspaltung +  $(\alpha, n)$ -Neutronen). Die Abb. 11 zeigt das Ergebnis der Messung im Zentrum von SUAK-7A im Vergleich mit einer Messung von H. Werle, die mit großen zylindrischen Protonenrückstoßzählrohren im extrahierten Strahl durchgeführt wurde, und mit einer Messung von D. Rusch und E. Wattecamps, ebenfalls nach der Protonenrückstoßmethode, jedoch mit einem NE 213 Flüssigkeitsszintillator im extrahierten Strahl /9/.

Die Übereinstimmung mit der Szintillator-Messung ist oberhalb 800 keV bemerkenswert gut. Unterhalb von 800 keV ist die Energieauflösung der Szintillator-Messung auf Grund von schlechter Zählstatistik zu schlecht, um einen guten Vergleich zu ermöglichen. In diesem Bereich zeigt sich andererseits eine gute Übereinstimmung mit der Messung von H. Werle. Sie wird unterhalb von 700 keV durch eine Korrektur für die Kohlenstoffrückstoßkerne noch etwas verbessert.

Die Abb. 12 zeigt einen Vergleich der Hochdruckzählermessung mit einer 208-Gruppen-Diffusionsrechnung (208-Gruppen-Querschnittssatz der GfK). Das berechnete Spektrum wurde etwas geglättet, um der Energieauflösung der Messung von 10% zu entsprechen.

Die in den Abbildungen 11 und 12 gezeigte Hochdruckzählermessung ist bereits für den Induktionseffekt korrigiert. Diese Korrektur beträgt bei diesem Spektrum nur maximal 2%.

#### 4. Zusammenfassung

Das hier beschriebene Protonenrückstoß-Spektrometer hat sich in ausführlichen Eich- und Testmessungen als sehr geeignet für die Messung von Neutronenspektren im Energiebereich zwischen 500 keV und 3 MeV erwiesen. Es besitzt eine gute Energieauflösung von etwa 10%. Die für mehrere Neutronenenergien experimentell ermittelten Response-Funktionen zeigen Abweichungen von der theoretischen Form von etwa 10%. Diese Abweichungen sind jedoch über den Energiebereich von 700 keV bis 3 MeV nahezu konstant, so daß ihre Auswirkung auf den relativen Verlauf von gemessenen Spektren weniger als 3% betragen.

Zusätzliche Fehler auf Grund der Unsicherheit in der Lage des Nullpunktes der Eichgeraden ( $85 \pm 15$  keV), die bis etwa 4% betragen, könnten durch eine genauere Bestimmung dieses Wertes reduziert werden.

Mit Hilfe des Hochdruckzählers wird somit der Meßbereich für in-pile-Messungen nach der Protonenrückstoßmethode von bisher etwa 1.5 MeV bis auf nunmehr 3 MeV erweitert.

Für eine Erweiterung des Meßbereiches nach noch höheren Energien hin müßte der Druck des Füllgases der Zählrohre weiter erhöht werden. Dies erscheint durchaus als möglich, wenn höhere Reinheitsgrade des Füllgases erreicht werden können. Dies würde jedoch eine zusätzliche Reinigung der handelsüblichen Gase sowie aufwendigere Maßnahmen bei der Konstruktion und Reinigung der Zählrohre erfordern.

Der Verfasser dankt Herrn H. Fries für seine wertvolle Unterstützung bei der Entwicklung und Herstellung der Zählrohre.

Literaturverzeichnis

/1/ H. Werle

Spektrumsmessungen radioaktiver Neutronenquellen im Energiebereich von 10 keV bis 10 MeV mit Protonenrückstoß-Proportionalzählrohren

KFK - externer Bericht, INR-4/70-25 (1970)

/2/ V.V. Verbinski, V.R. Burrus, R.M. Freestone and R.E. Textor

Fast Neutron Spectrometry with Thick Organic Scintillators in Reactor-Type Measurements

Radn. Meas. in Nucl. Power, paper 3.11 (1966)

/3/ P.W. Benjamin, C.D. Kemshall and J. Redfarm

A High Resolution Spherical Proportional Counter  
Nucl. Instr. and Meth. 59, 77 (1968)

/4/ C.D. Kemshall

The Use of Spherical Proportional Counters for Neutron Spectrum Measurements

AWRE Report No. O 31/73 (1973)

/5/ P.W. Benjamin, C.D. Kemshall and A. Brickstock

AWRE Report No. 09/68 (1968)

- /6/ W.D. Allan and A.T.G. Ferguson  
The Measurement of Fast Neutron Flux over the Energy  
Range 0.03 MeV to 3 MeV  
Proc. Phys. Soc. London 70A, 639 (1957)
- /7/ H. Werle and H. Bluhm  
Fission-Neutron Spectra Measurements of  $^{235}\text{U}$ ;  $^{239}\text{Pu}$   
and  $^{252}\text{Cf}$   
Journal of Nuclear Energy, Vol. 26, p. 165 to 176 (1972)
- /8/ E.A. Fischer and P.E. Mc Grath  
Physics Investigations of Two Pu-Fueled Fast Critical  
Assemblies: SNEAK-7A and 7B  
KFK-1939 (1974)
- /9/ N. Pieroni, D. Rusch and E. Wattecamps  
Measurement of time-dependent fast neutron spectra  
with an NE 213 scintillator  
Nucl. Instr. and Meth. Vol. 115, No. 2 March 1974, p. 317

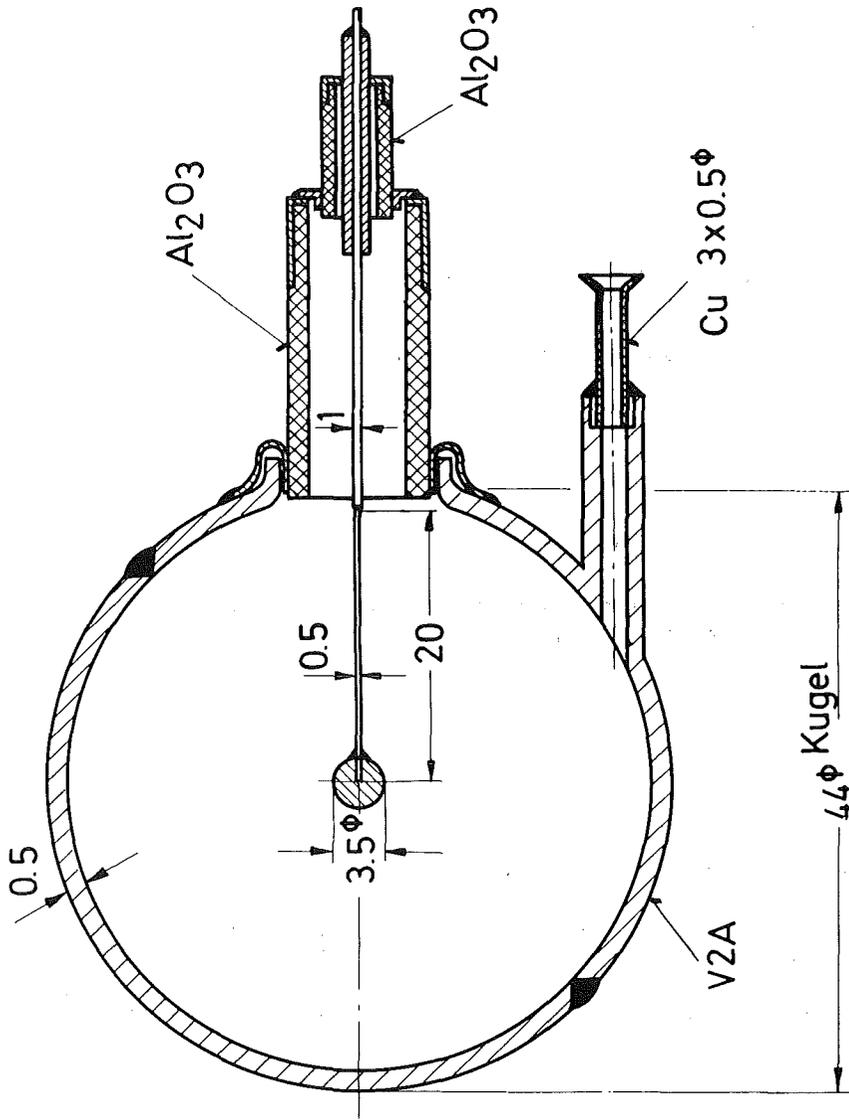


Abb.1 Aufbau der Ionisationskammer

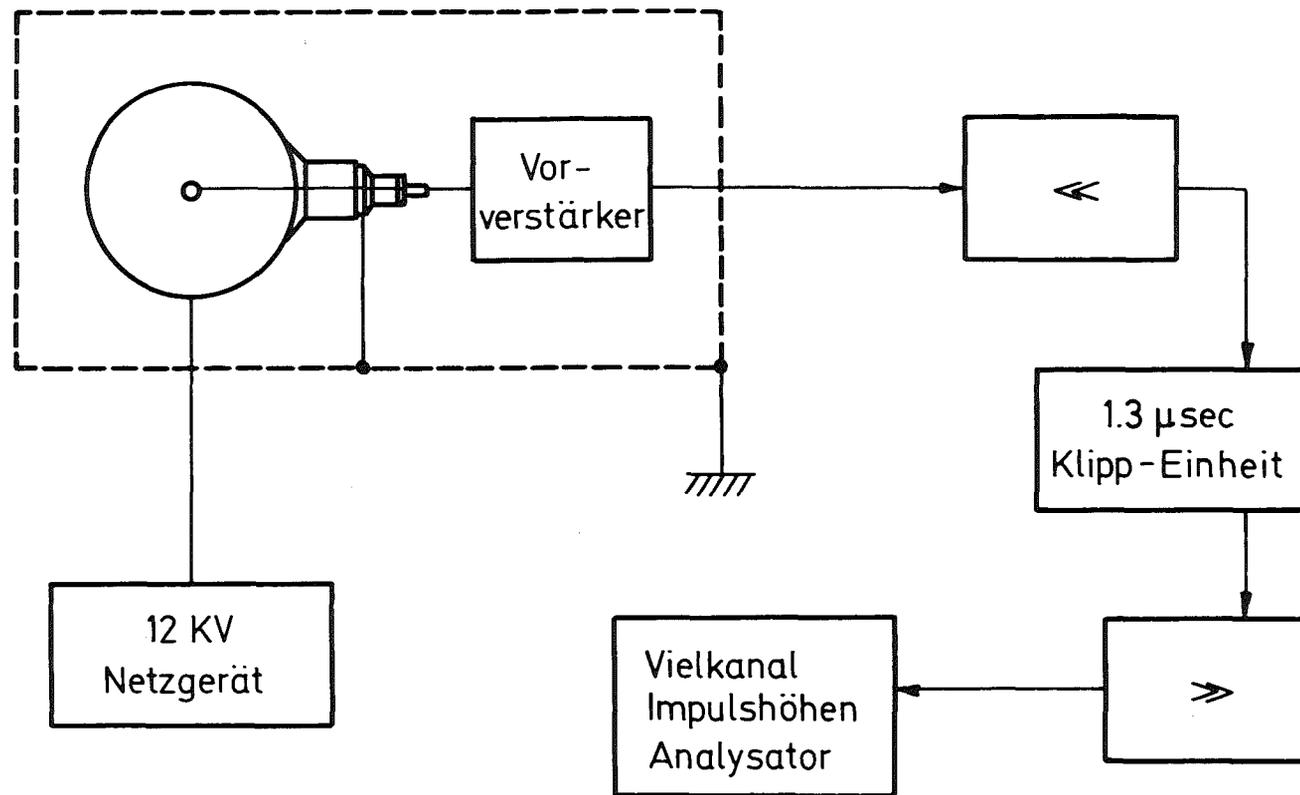


Abb.2 Blockschaltbild des Spektrometers

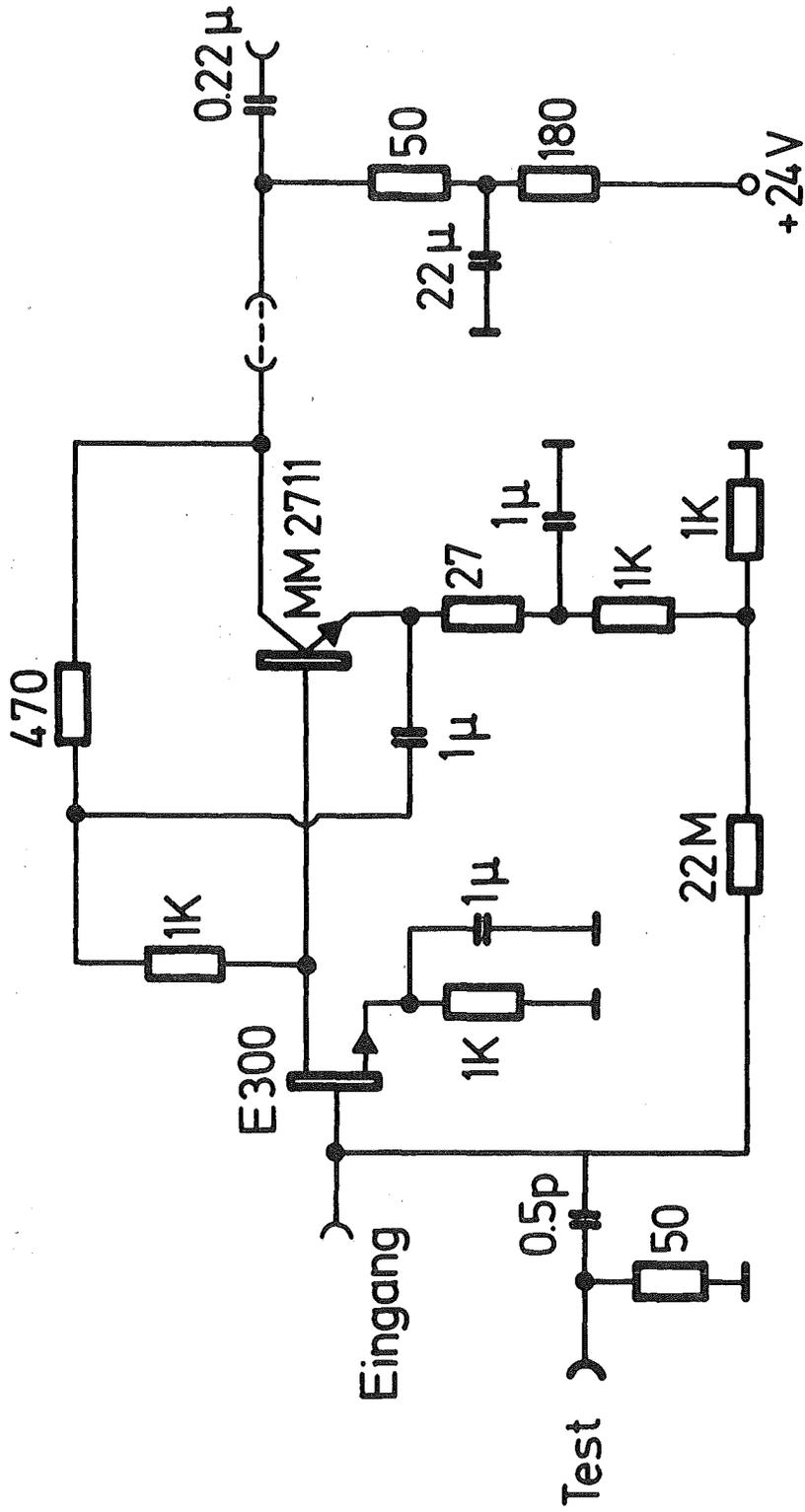


Abb.3 Schaltbild des Vorverstärkers

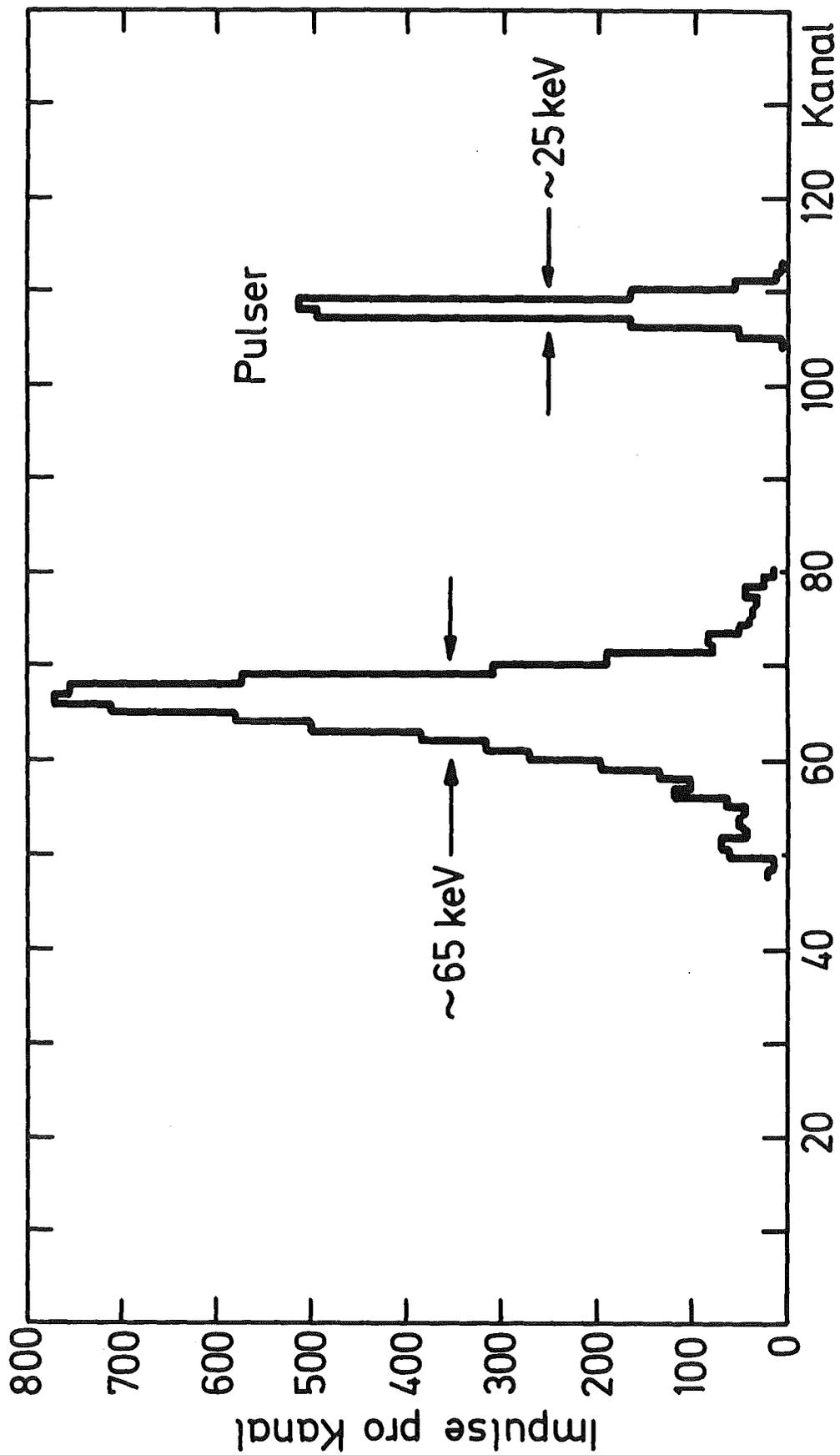


Abb. 4 Impulshöhenspektrum der Reaktion  $^{14}\text{N}(n_{th}, p)^{14}\text{C}$

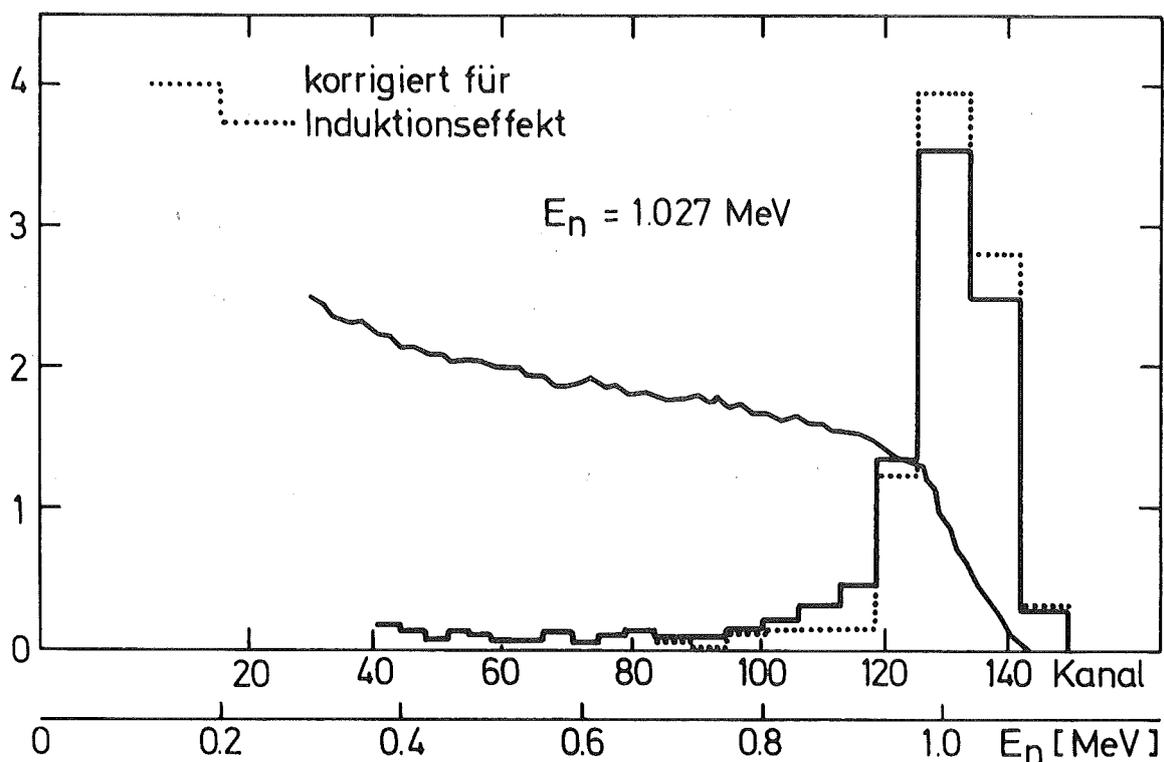


Abb.5 Protonen- und Neutronenspektrum für 1.027 MeV-Neutronen

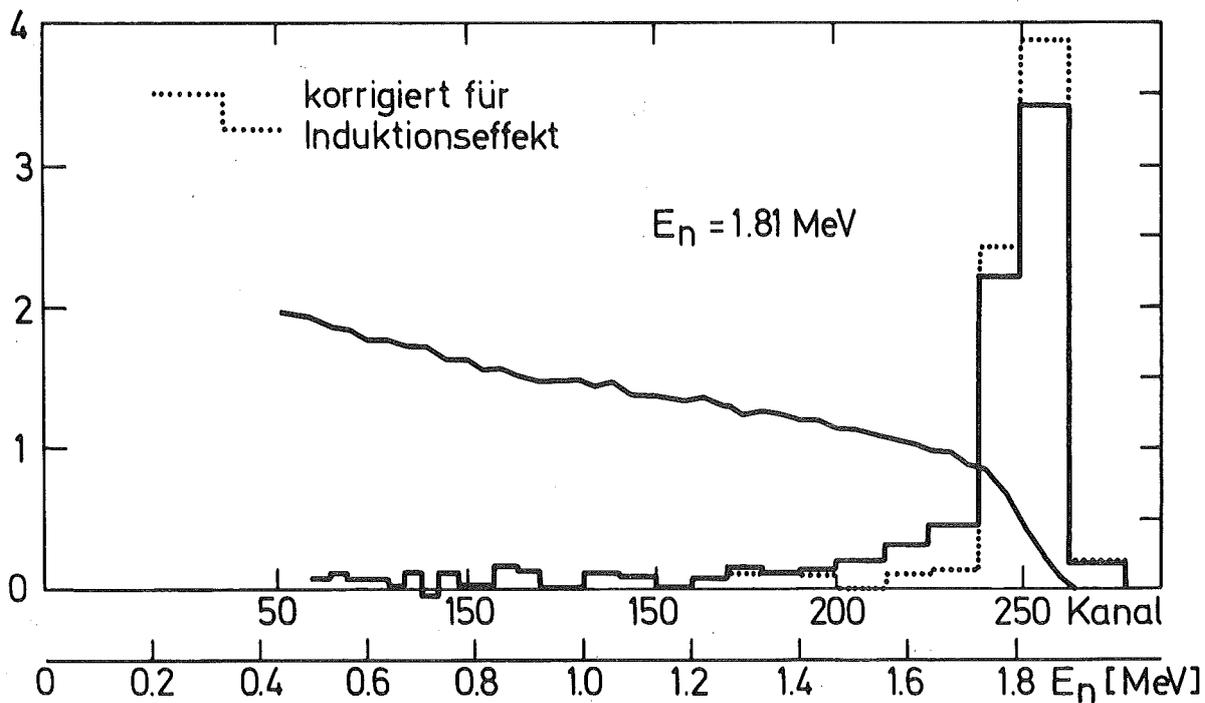


Abb.6 Protonen- und Neutronenspektrum für 1.81 MeV-Neutronen

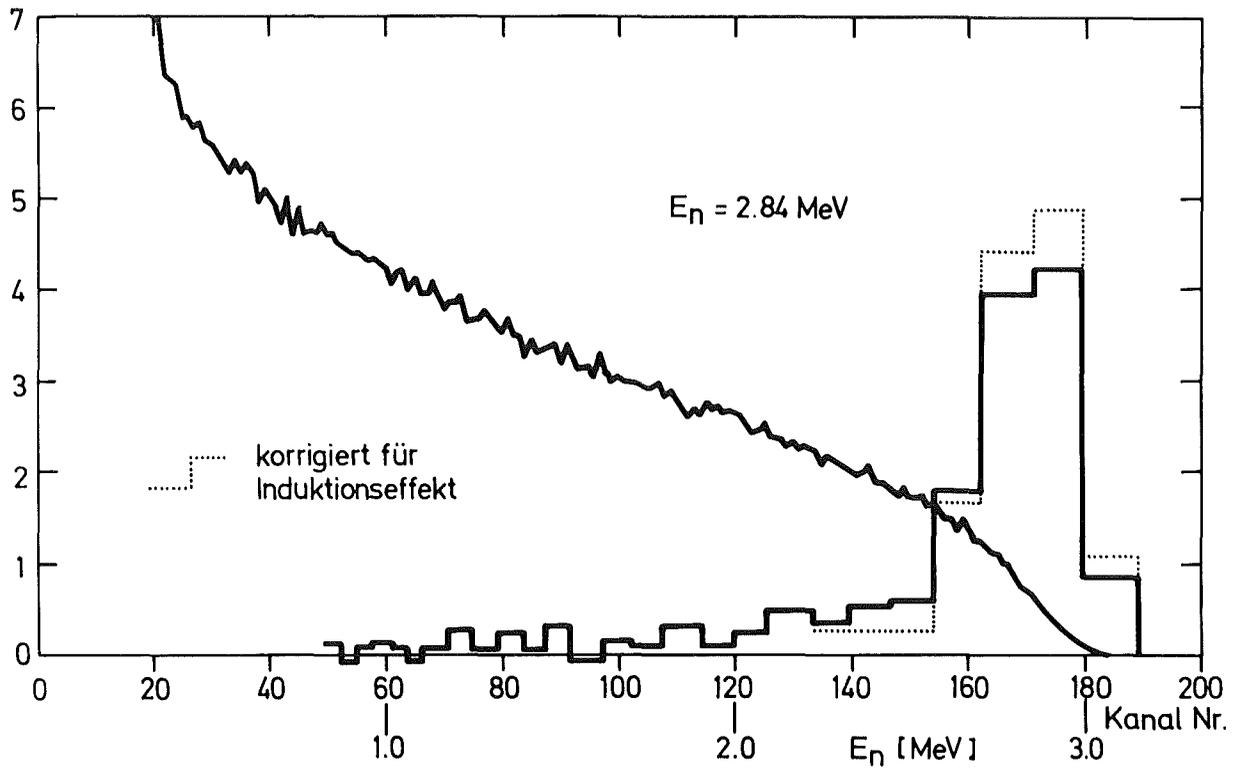


Abb.7 Protonen- und Neutronenspektrum für 2.84 MeV-Neutronen

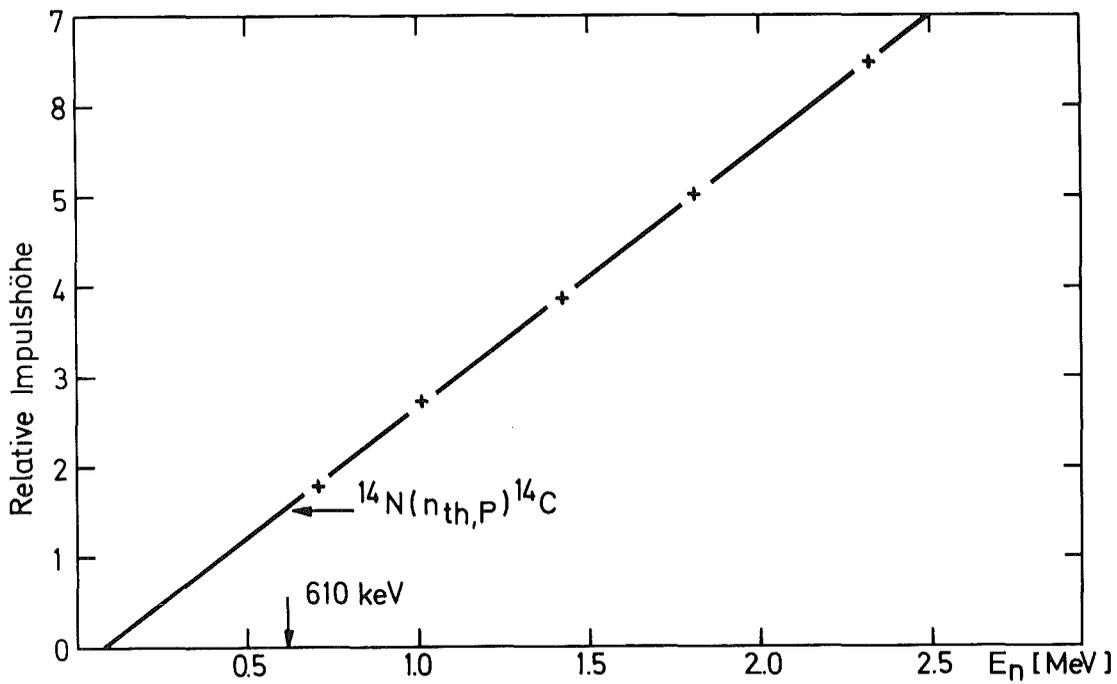


Abb.8 Energieeichung mit monoenergetischen Neutronen

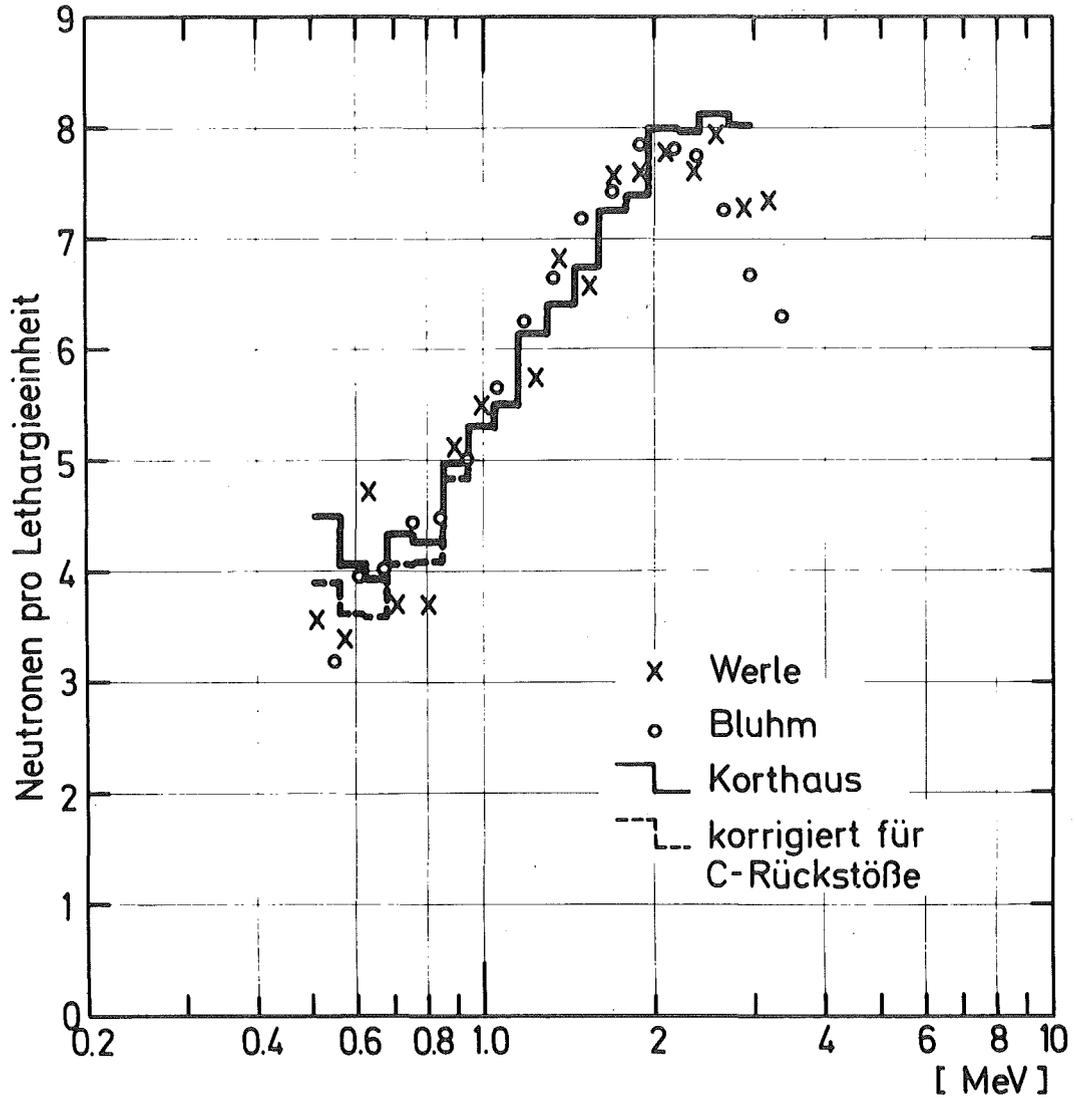


Abb. 9 Spektrum der  $^{252}\text{Cf}$ -Quelle

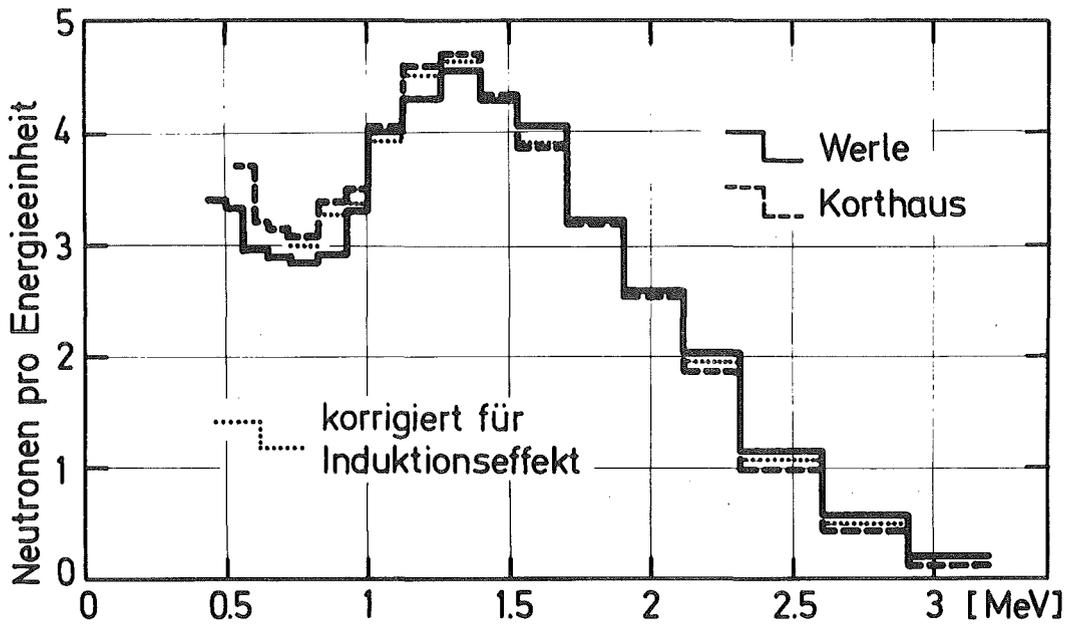


Abb. 10 Spektrum der  $^{241}\text{Am}/\text{F}$ -Quelle

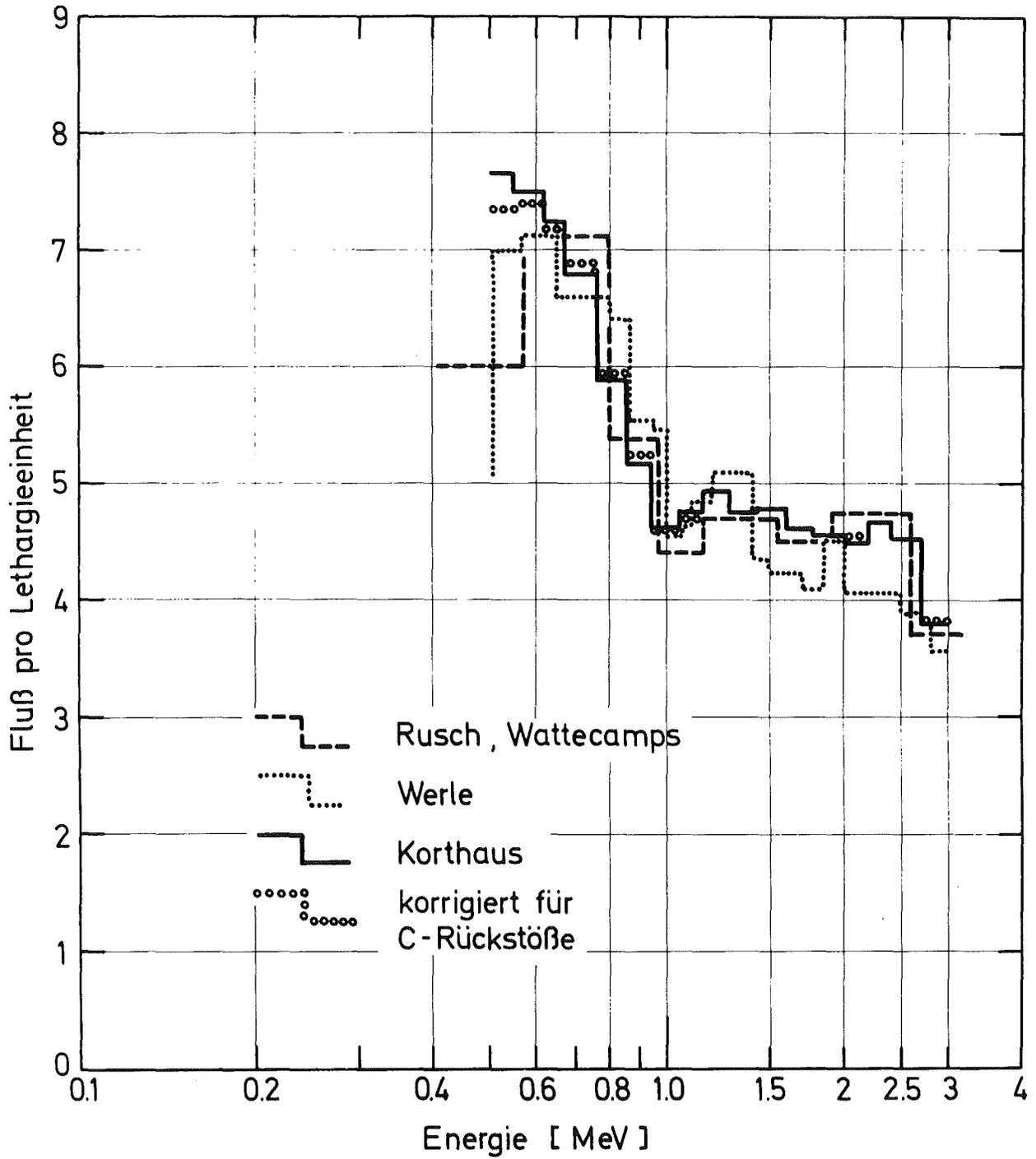


Abb.11 Das Spektrum im Zentrum von SUAK-7A

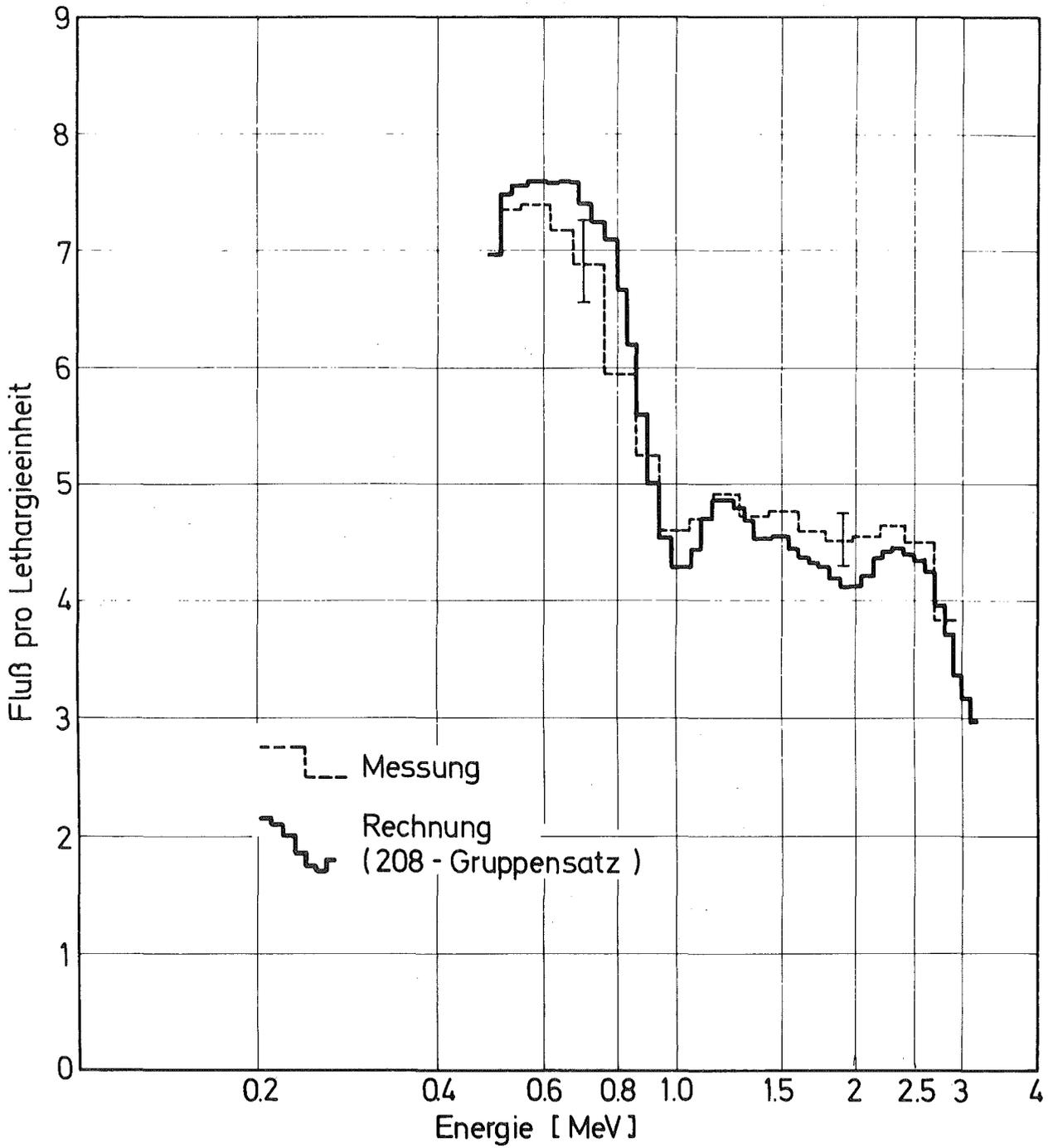


Abb.12 Das Spektrum im Zentrum von SUAK - 7A