

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

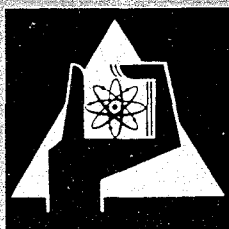
Oktober 1968

KFK 860
EUR 4154 d

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Ein Monte-Carlo-Programm
für Rückstoßprotonenzähler mit Zylindergeometrie

V. Brandl



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Oktober 1968

KFK-860
EUR-4154d

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Ein Monte-Carlo-Programm
für Rückstoßprotonenzähler mit Zylindergeometrie^{##}

V. Brandl

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

^{##} Diese Arbeit wurde im Rahmen der Assoziation zwischen der Europäischen Atomgemeinschaft und der Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe, auf dem Gebiet der schnellen Reaktoren durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
I. Einleitung	1
II. Physikalische und mathematische Grundlagen des Programms	3
1. Auswahl der Zufallsgrößen	3
2. " " Neutronenenergie	4
3. " des Stoßortes	4
4. " der Flugrichtung und Energie des Protons im Laborsystem	5
5. Energiereichweitetablelle	6
6. Flugstrecke des Protons	6
III. Programmbeschreibung	7
1. Eingabe	7
2. Ausgabe	8
3. Fehlermeldungen	8
IV. Parameterstudien	9
V. Literatur	11
VI. Anhang	
1. Abbildungen	12
2. Flußdiagramme	19
3. Programmliste	23

I. Einleitung

Diese Arbeit enthält die Grundlagen und die Beschreibung eines Monte-Carlo-Programms für die IBM-7074. Das Programm wurde für die Auswertung von Neutronenspektrumsmessungen mit Hilfe von Rückstoßprotonenzählern entwickelt.

Bei der Spektrumsmessung läßt man die Neutronen des zu messenden Spektrums auf den Zähler (einen mit Gas gefüllten Zylinder) auftreffen und dort Rückstoßprotonen erzeugen. Die Energie und Flugrichtung der Protonen sind - bei vorgegebener Energie und Flugrichtung der Neutronen und unter der Annahme von isotroper Streuung im Schwerpunktsystem - durch die Stoßgesetze festgelegt. Jedes Neutronenspektrum determiniert daher ein Rückstoßprotonenspektrum, das wir im folgenden als "wahres Rückstoßprotonenspektrum" bezeichnen.

Würde man das wahre Rückstoßprotonenspektrum kennen, wäre man mit Hilfe einfacher bekannter Beziehungen (siehe [4]) imstande, sofort auf das Neutronenspektrum rückzuschließen. Tatsächlich registriert der Zähler aber nicht das wahre Rückstoßprotonenspektrum. Dafür sind zwei Effekte verantwortlich: Es treten im Zylinderzähler 1. Rand- und 2. Totvoluminaeffekte auf. Das heißt: 1. nicht alle Rückstoßprotonen geben ihre gesamte Energie im Zähler ab, sondern ein Teil (vor allem der Protonen hoher Energien und deshalb großer Reichweite) durchstößt die Zylinderoberfläche; 2. an den beiden Enden des Zylinders befinden sich - aus technischen Gründen - Zonen, in welchen zwar Rückstoßprotonen entstehen, aber nicht registriert werden können. In beiden Fällen wird nicht die Gesamtenergie jedes Protons registriert, sondern nur der Anteil, den es im Innern des Zylinders, im empfindlichen Teil abgibt. Das zugehörige, vom Zähler aufgezeichnete Spektrum definieren wir als "gemessenes Rückstoßprotonenspektrum".

Die Methode zur Auswertung von Neutronenspektrumsmessungen beruht auf folgender Tatsache: Man kann mit Hilfe der gemessenen Rückstoßprotonenspektren die wahren Rückstoßprotonenspektren ausrechnen, wenn man imstande ist, für bestimmte vorgegebene Neutronenspektren gemessene Rückstoßprotonenspektren zu berechnen.^{≡)} Diese Berechnung eines gemessenen Rückstoßprotonen-

^{≡)} Details zu den Methoden der Spektrumskorrektur findet man z.B. in [4], [5].

spektrums für ein vorgegebenes Neutronenspektrum ermöglicht das vorliegende Programm.

Bei der Entwicklung des Programms wurde vereinfachend folgendes vorausgesetzt: 1. Die Stoßorte im Zylinderzähler sind gleich verteilt^{***)}. 2. Jedes Neutron stößt im Zylinder nur einmal^{***)}. 3. Die Winkelverteilung des Rückstoßprotons im Schwerpunktsystem ist isotrop.

Die physikalischen Vorgänge im Zähler werden im Programm nicht exakt nachgebildet, sondern die Zufallsgrößen werden mittels systematischer Stichprobenerhebung (systematic sampling) gewählt.

Das Programm enthält zwei Varianten: Es erlaubt die Berechnung der Spektren für Neutroneneinfall parallel zur Zylinderachse (dies wird z.B. bei der Bestimmung des Spektrums von radioaktiven Quellen benötigt) und für isotropen Neutronenfluß.

Eingabegrößen des Programms sind: Die geometrischen Abmessungen des Zylinderzählers (Radius, Höhe, Größe des Totvolumens), Integrale der Neutronenergestoßdichte über die einzelnen Energiegruppen und eine Energiereichweitetablelle für die Rückstoßprotonen.

Die Ergebnisse einiger Berechnungen mit variierten Eingabeparametern werden angegeben.

Den Herren G. Fieg und H. Werle danke ich für viele wertvolle Hinweise und Diskussionen.

^{***)} Bei den i.a. verwendeten Gasfüllungen der Zähler ist die mittlere freie Weglänge der Neutronen stets um vieles größer als die Zylinderlänge.

II. Physikalische und mathematische Grundlagen

II.1. Auswahl der Zufallsgrößen

Betrachtet man zunächst einen Straightforward-Monte-Carlo-Prozeß (d.h. die physikalischen Vorgänge werden genau simuliert), so müßte man Wahrscheinlichkeitsdichten realisieren für:

- a. die Neutronenenergie gemäß des vorgegebenen Spektrums;
- b. die Richtung des einfallenden Neutrons;
- c. den Stoßort;
- d. die Richtung des Rückstoßprotons im Schwerpunktsystem.

Aus der Neutronenrichtung und -energie und der Richtung des Protons kann man seine Energie ausrechnen und mit Hilfe der Reichweitentabelle feststellen, ob das Proton im Innern des Zylinders seine ganze Energie abgibt oder die Flächen, die den Zylinder begrenzen, durchstößt. Wieder aus der Reichweitentabelle ergibt sich zuletzt die Energie, die das Proton im Zylinder abgibt. Man erkennt folgendes: Gilt für die Protonenreichweite A

$$A < R \quad \text{und} \quad A < H - 2T$$

(R ist der Radius, H die Höhe, 2T Höhe des dem Totvolumen entsprechenden Zylinders (siehe Abb. 1)), so geben alle Protonen, die im Innern eines coaxialen Zylinders - mit dem Radius $R-A$ und der Höhe $H-2T-2A$ - entstehen, ihre gesamte Energie im Zähler ab, d.h. es treten keine Wand- und Totvoluminaeffekte auf. Diesen Sachverhalt berücksichtigt man, indem man das obige Monte-Carlo-Verfahren etwas ändert. Man wählt:

- a. die Neutronenenergie und -richtung
- b. die Protonenrichtung,

berechnet Energie und Reichweite des Protons und wählt den Stoßort mittels systematischer Stichprobenerhebung: Man teilt den Zylinder in sechs Zonen auf; die erste entspricht dem oben beschriebenen coaxialen Zylinder, die fünf anderen werden aus rechentechnischen Gründen gemäß Abb. 1 festgelegt. In Zone 1 erübrigt es sich, Durchstoßpunkte des Protons durch die Zylinderoberfläche und abgegebene Energie zu berechnen, die gesamte Energie des Protons - dem Volumen der Zone 1 entsprechend gewichtet - wird registriert.

Zur Auswahl der Neutronenenergie ist zu bemerken: Auch hier wird mit Hilfe von systematic sampling gewählt, denn die Erststoßdichte der Neutronen ist i.a. nur integriert über Teilintervalle der Energieskala gegeben. Aus diesen allgemeinen Erörterungen ergeben sich folgende Details:

II.2. Auswahl der Neutronenenergie

Vorgegeben sind die Integrale der Erststoßdichte

$$\psi_i = \int_{E_{i-1}}^{E_i} \Sigma_S(E) \phi(E) dE$$

über ein Energieintervall (E_{i-1}, E_i) .

Die Erststoßdichte wird in jedem Intervall konstant angenommen. Systematische Stichprobenerhebung bedeutet (siehe [2]) man bilde

$$P_i = \psi_i / \sum_j \psi_j$$

und wähle aus jedem Energieintervall (E_{i-1}, E_i) $P_i \cdot N$ Neutronenenergien (N =Anzahl der Neutronenschicksale) aus einer Gleichverteilung. Die Gleichverteilung wird mit Hilfe der Transformationsmethode realisiert (siehe [2]).

II.3. Auswahl des Stoßortes

Es sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a. $A < R$ und $A < H - 2T$

b. $A \geq R$ oder $A \geq H - 2T$

Im Fall a. wird der Radius r in den Zonen 2 (für $A > 0,05R$), 3, 4, 5 und 6 mittels der Rejektionsmethode "gewürfelt"; in der Zone 2 (für $A \geq 0,05R$) mittels der Transformationsmethode.

Im Fall b. wird der Radius r in der Zone (1+2+3+4) und in Zone 5 und 6 nach der Rejektionsmethode realisiert.

In beiden Fällen wird die Höhe h im Zylinder stets nach der Transformationsmethode aus einer Gleichverteilung, der Winkel der Zylinderkoordinaten nach einer Rejektionsmethode [1] gewählt.

Die Wahrscheinlichkeitsdichte für den Radius ist $2r/R^2$. Gemäß den Regeln für systematic sampling ist die Dichte in der Zone 2:

$$f(r) = \frac{2r}{R^2} \left[1 - \left(\frac{R-A}{R} \right)^2 \right]$$

daraus folgt für die Transformationsmethode

$$r = \left[1 + X \left(\left(\frac{R}{R-A} \right)^2 - 1 \right) \right]^{1/2} \cdot (R-A) =$$

$$\left[1 + \frac{1}{2}B - \frac{1}{8}B^2 + \frac{3}{48}B^3 - \frac{15}{384}B^4 + \frac{105}{3840}B^5 - \frac{945}{46080}B^6 \right] \cdot (R-A)$$

mit $B = X \left[\left(\frac{R}{R-A} \right)^2 - 1 \right]$ und X einer im Intervall (0,1) gleichverteilten Zufallsvariablen.

Für die Rejektionsmethode ergibt sich:

1. Man wähle zwei in (0,1) gleichverteilte Zufallsvariablen X1 und X2 und bilde $z = \text{Max}(X1, X2)$.
2. Wenn $R-A < Rz$, ist $r = R \cdot z$ der gesuchte Radius.
3. Wenn $R-A > Rz$, beginne wieder bei 1.

II.4. Verteilung der Flugrichtung und Energie des Protons im Laborsystem

Flugrichtung und Energie ergeben sich aus den Stoßgesetzen und der Voraussetzung, daß die Streuung im Schwerpunktsystem isotrop ist. Die isotrope Winkelverteilung wird mittels der Rejektionsmethode realisiert [1]. Man muß zwei Fälle unterscheiden:

1. Wenn die Neutronen parallel zur Zylinderachse einfallen, gilt für Energie (E_p^L) und Flugrichtung (\vec{e}_p^L) des Protons im Laborsystem nach dem Stoß:

$$E_p^L = \frac{1}{2} (1+\mu) E_n^L$$

$$\vec{e}_p^L = \frac{1}{\sqrt{2(1+\mu)}} (\vec{e}_p^S + \vec{e}_n^L)$$

mit

- E_n^L Neutronenenergie im Laborsystem vor dem Stoß
- \vec{e}_n^L Einheitsvektor in Flugrichtung des Neutrons im Laborsystem vor dem Stoß (konstanter Einheitsvektor parallel zur Zylinderachse)
- \vec{e}_p^S Einheitsvektor in Flugrichtung des Protons im Schwerpunktsystem nach dem Stoß (isotrop verteilt)
- μ $(\vec{e}_n^L \cdot \vec{e}_p^S)$

2. Bei isotropem Neutronenfluß ergibt sich:

$$E_p^L = X \cdot E_n^L, \quad (X \text{ gleichverteilte Zufallszahl im Intervall } (0,1))$$

$$\vec{e}_p^L = \text{isotrop, (unabhängig vom } E_p^L)$$

II.5. Energiereichweitetablelle der Rückstoßprotonen

Für diskrete Energiewerte muß eine Tabelle für die Reichweite der Rückstoßprotonen angegeben werden [3]. Für eine beliebige Energie wird im Programm zwischen diesen Werten linear interpoliert.

II.6. Flugstrecke des Protons

Das Proton habe im Laborsystem die Richtungskosinus (U,V,W) und der Stoßort die Koordinaten (X,Y,Z) (siehe Abb. 1), dann gelten - je nachdem ob das Proton eine zu den Deckflächen parallele Fläche F oder den Mantel des Zylinders durchstößt - für die Flugstrecke die Formeln

$$D_F = \begin{cases} \frac{G}{W} & \text{für } W > 0 \\ -\frac{G}{W} & \text{für } W < 0 \end{cases}$$

wobei G der Abstand zu F ist und

$$D_M = \frac{1}{c^2} \left[-(\vec{c} \cdot \vec{d}) + \sqrt{(\vec{c} \cdot \vec{d})^2 + (R^2 - \vec{d}^2) \cdot \vec{c}^2} \right]$$

mit R = Zylinderradius und

$$\vec{c} = (U, V)$$

$$\vec{d} = (X, Y)$$

III. Programmbeschreibung

Das Programm, bestehend aus einem Hauptteil und den Subroutinen SUCHE1, SUCHE2, ABSTRA und KOORD, belegt 5493 Speicherplätze. SUCHE1 ermittelt für vorgegebene Energien die Reichweite aus der Reichweitentabelle und für eine gegebene Reichweite die zugehörige Energie. SUCHE2 berechnet, zu welcher Energiegruppe eine bestimmte Energie gehört. ABSTRA berechnet die Flugstrecke zum Zylindermantel. KOORD wählt Stoßorte im Zylinder nach dem Rejektionsverfahren.

III.1. Eingabe

Es müssen folgende Daten in der folgenden Reihenfolge angegeben werden:

1. IW (Fixkommazahl) = 1 für isotropen Neutronenfluß
2 für Neutronenfluß parallel zur Zylinderachse
2. R (Gleitkommazahl) = Radius des Zylinders in cm
3. H (Gleitkommazahl) = Höhe des Zylinders in cm
4. T (Gleitkommazahl) = $\frac{1}{2}$ · Höhe des dem Totvolumen entsprechenden Zylinders in cm
5. E (Gleitkommazahl) = Obere Schranke für den statistischen Fehler (entsprechend der doppelten Varianz) in %
6. NE (Fixkommazahl) = Anzahl der Energiegruppen. Es muß $NE \leq 200$ sein
7. NI (Fixkommazahl) = Anzahl der Wertepaare der Energiereichweitentabelle. Es muß $NI \leq 500$ sein.
8. Tabelle des Neutronenspektrums, bestehend aus NE Zahlenpaaren (M_i, N_i) (Gleitkommazahlen). (Die Energieskala wird in Energiegruppen eingeteilt; sie wird von niederen zu höheren Energien numeriert.)
 M_i ist die obere Grenze der i-ten Energiegruppe in keV, N_i der Wert des zugehörigen Erststoßdichteintegrals ψ_i . Als unterste Energiegruppengrenze, die nicht eingegeben werden muß, wird $E=0$ angenommen. Die obere Grenze der letzten Energiegruppe darf nicht größer als die entsprechende der Reichweitentabelle (siehe 9) sein. Die ψ_i 's müssen nicht normiert sein. (M_1 muß erste Zahl einer Datenkarte sein.)
9. Tabelle der Protonenreichweite, bestehend aus NI Zahlenpaaren (P_i, Q_i) (Gleitkommazahlen). P_i ist die Energie in keV, Q_i die Reichweite in cm. Die Tabelle ist nach steigenden Energien geordnet. (P_1 muß erste Zahl einer Datenkarte sein.)

III.2. Ausgabe

Die ausgedruckten Spalten bedeuten, soweit sie sich nicht selbst erklären:

1. Obere Grenzen der Energiegruppen in keV. Sie stimmen mit denen des eingegebenen Neutronenspektrums überein.
2. Normiertes gemessenes Protonenspektrum (energiegruppenweise)
3. Normiertes gemessenes Protonenspektrum (= Größe 2 der Ausgabe) dividiert durch die Energiegruppenbreite (energiegruppenweise)
4. Relativer Fehler von Ausgabegröße 1 in Prozent
5. Normiertes eingegebenes Neutronenspektrum (energiegruppenweise)
6. Ausgabegröße 5 dividiert durch die Energiegruppenbreite (energiegruppenweise)
7. Energiegruppenbreite

III.3. Fehlernachrichten

Bei Eingabefehlern wird die Nachricht: Eingabefehler KF, gedruckt (KF = 1,2,...,10). Die KF's bedeuten:

1. Größte Energiegrenze des Neutronenspektrums größer als größte Energiegrenze der Reichweitentabelle.
2. $NI > 500$
3. $NE > 200$
4. $T \geq H/2$
5. $IW \neq 1$ und $\neq 2$
6. $\sum_i \psi_i = 0$
7. Die Zahlen A, H, E, NE, Ni sind nicht alle > 0 , oder T nicht ≥ 0 .
8. In III.1.9 ist folgende Bedingung nicht erfüllt: $0 < \dots < P_i < P_{i+1} < \dots$ für alle i.
9. In III.1.9. ist folgende Bedingung nicht erfüllt: $Q_i > 0$ für alle i.
10. In III.1.8. ist folgende Bedingung nicht erfüllt: $0 < \dots < M_i < M_{i+1} < \dots$ für alle i.

IV. Parameterstudien

In den Figuren 1-3 werden einige typische Beispiele dafür gezeigt, in welcher Art eine Variation der Eingabeparameter das gemessene Protonenspektrum beeinflusst.

Zugrunde gelegt wurde ein Zähler mit folgenden Abmessungen: $H=15$ cm, $R=1,85$ cm. Die Neutronen des eingegebenen Neutronenspektrums sind stets monoenergetisch. Die Rechnungen wurden für Neutroneneinfall parallel zur Zylinderachse (Figuren a) und für isotropen Neutronenfluß (Figuren b) durchgeführt. Der statistische Fehler in den einzelnen Energiegruppen beträgt im Mittel 18%, entsprechend einer durchschnittlichen Rechenzeit von 3 Minuten und 2000 Stößen pro Kurve (größere Genauigkeit kann man erreichen, wenn man die Rechenzeit verlängert; der Fehler ist proportional $1/\sqrt{N}$, wobei N die Anzahl der Stöße ist).

Die Kurven in den Figuren 1-3 lassen die aus physikalischen Gründen plausiblen und erwarteten Tendenzen erkennen: Größere Neutronenenergien (Fig. 1), größere Totvolumina (Fig. 2) und kleinere Drucke bei den Füllgasen (Fig. 3) zeitigen größere Wand- bzw. Totvoluminaeffekte. Der Anstieg der Kurven für isotropen Neutroneneinfall (Fig. b) ist größer als der für achsenparallel einfallende Neutronen (Fig. a). Die Ursachen sind größere Wandeffekte: Da die Neutronen mit gleicher Wahrscheinlichkeit aus allen Richtungen auf den Zähler auftreffen und an den Protonen stark vorwärts gestreut werden, ist - entsprechend dem kleinen Verhältnis R/H der verwendeten Zähler - die Wahrscheinlichkeit, daß ein Neutron die Wand durchstößt, größer als wenn das Neutron achsenparallel einfiel.

Bei den Messungen mit Rückstoßprotonenzählern müssen i.a. zwei Bedingungen erfüllt sein: 1. Es dürfen nicht zu große Wandeffekte auftreten, damit Ungenauigkeiten in den Korrekturmethode nicht zu stark in die Bestimmung des wahren Neutronenspektrums eingehen. 2. Der Gammauntergrund darf nicht zu groß werden.

Große Wandeffekte bei hohen Energien (siehe Fig. 1) kann man vermindern, wenn man schwerere Füllgase mit höheren Casdrucken (siehe Fig. 3) verwendet. Höhere Casdrucke bewirken aber, daß sich die Energiegrenze, unterhalb derer man wegen des Gammauntergrundes nicht messen kann, nach oben verschiebt [4]. Die obigen Bedingungen 1 und 2 können also für einen bestimmten

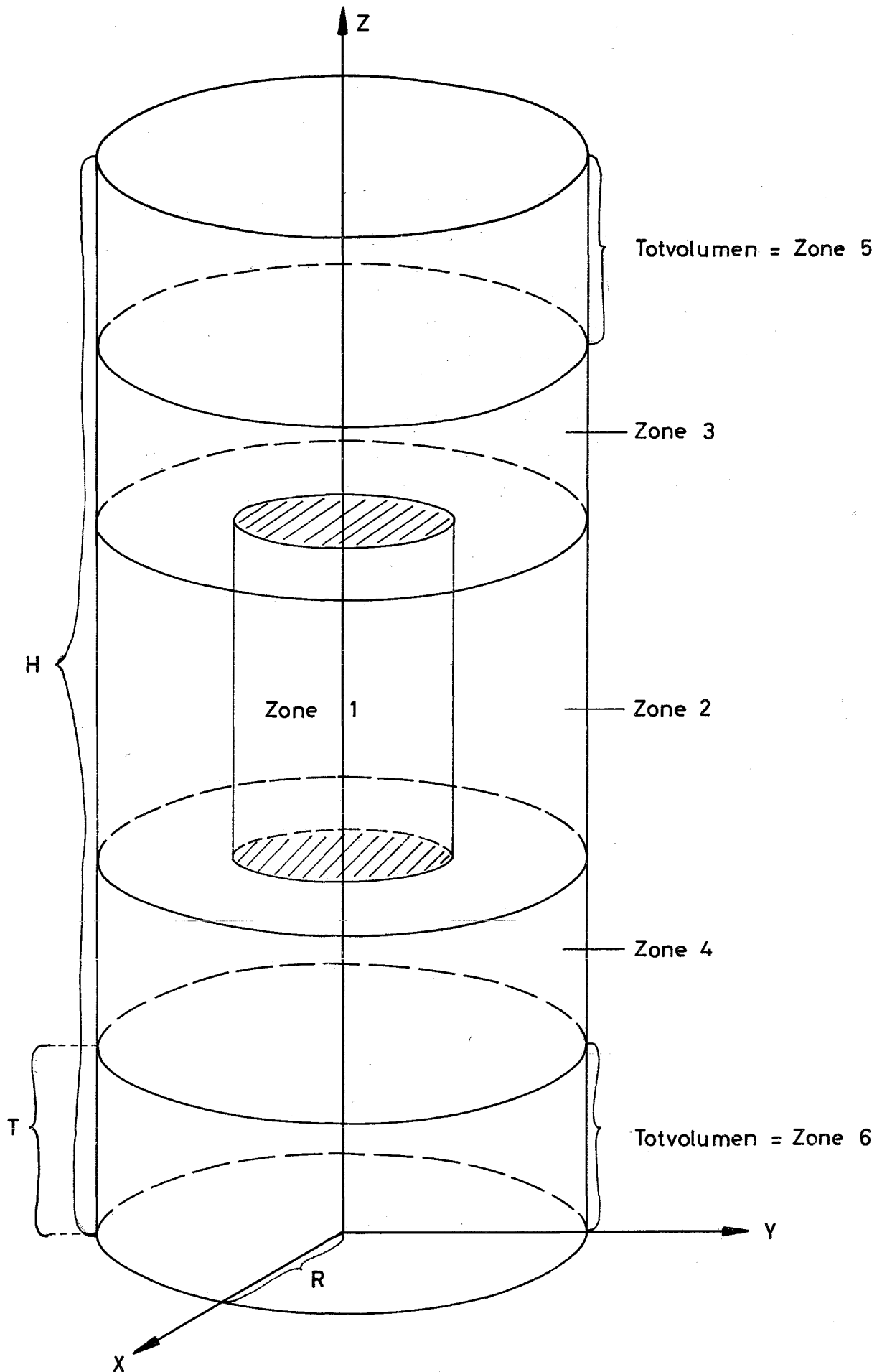
Energiebereich, der gemessen werden soll, nicht gleichzeitig beliebig gut erfüllt werden.

Mit Parameterstudien (wie in den Figuren 1-3) ist man jedoch imstande, für einen vorgegebenen Zähler für jeden Energiebereich die Parameter (Gasdruck u. -sorte) bzw. für vorgegebene Parameter den Energiebereich zu bestimmen, in denen die obigen Bedingungen 1 und 2 jeweils optimal erfüllt sind. Darin liegt - neben der tatsächlichen Berechnung der Spektrumskorrektur - eine für die Ausführung der Messungen notwendige Anwendungsmöglichkeit des vorliegenden Monte-Carlo-Programms.

V. Literaturverzeichnis

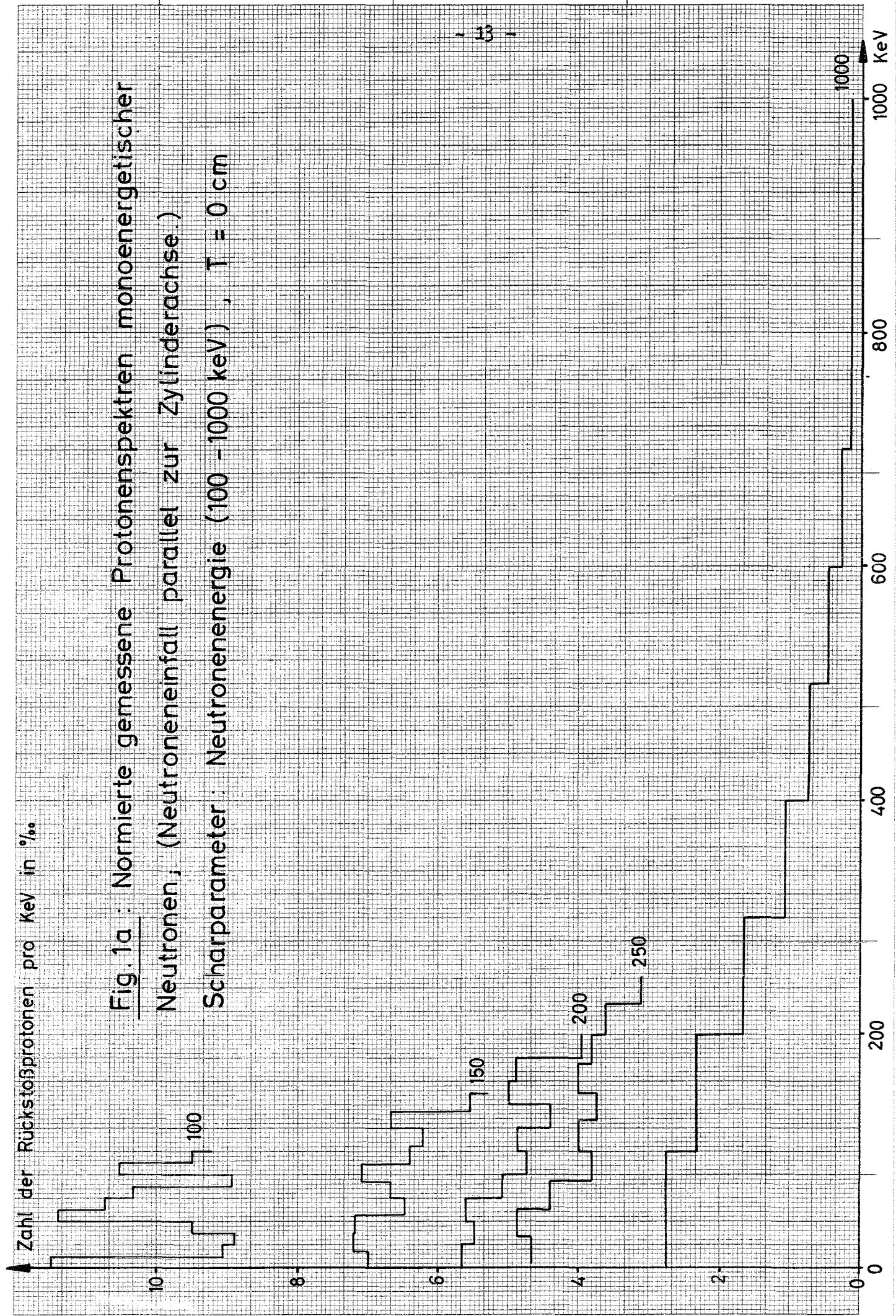
- |1| U. Möller, Unterprogramme zur Lösung neutronenphysikalischer Probleme mit Hilfe der Monte-Carlo Methode, KFK-Bericht 298 (1965).
- |2| H. Kahn, Applications of Monte-Carlo, Report AECU-3299 (1954).
- |3| J.B. Parker et al., The Interpretation of Recoil Proton Spectra, Nucl. Instr. a. Meth. 23, 61, 1963.
- |4| P.W. Benjamin et al., The Use of Gas-Filled Spherical Counter for Neutron Spectrum Measurements in a Zero Energy Fast Reactor, AMRE-Report No. NR2/64 (1964).
- |5| J. Kockum et al., A Modified Least Squares Method to Unscramble Proton Recoil Spectra, Proceedings of the IAEA Symposium on Fast Reactor Physics, Wien 1968.

VI.1 Abbildung des Zylinders



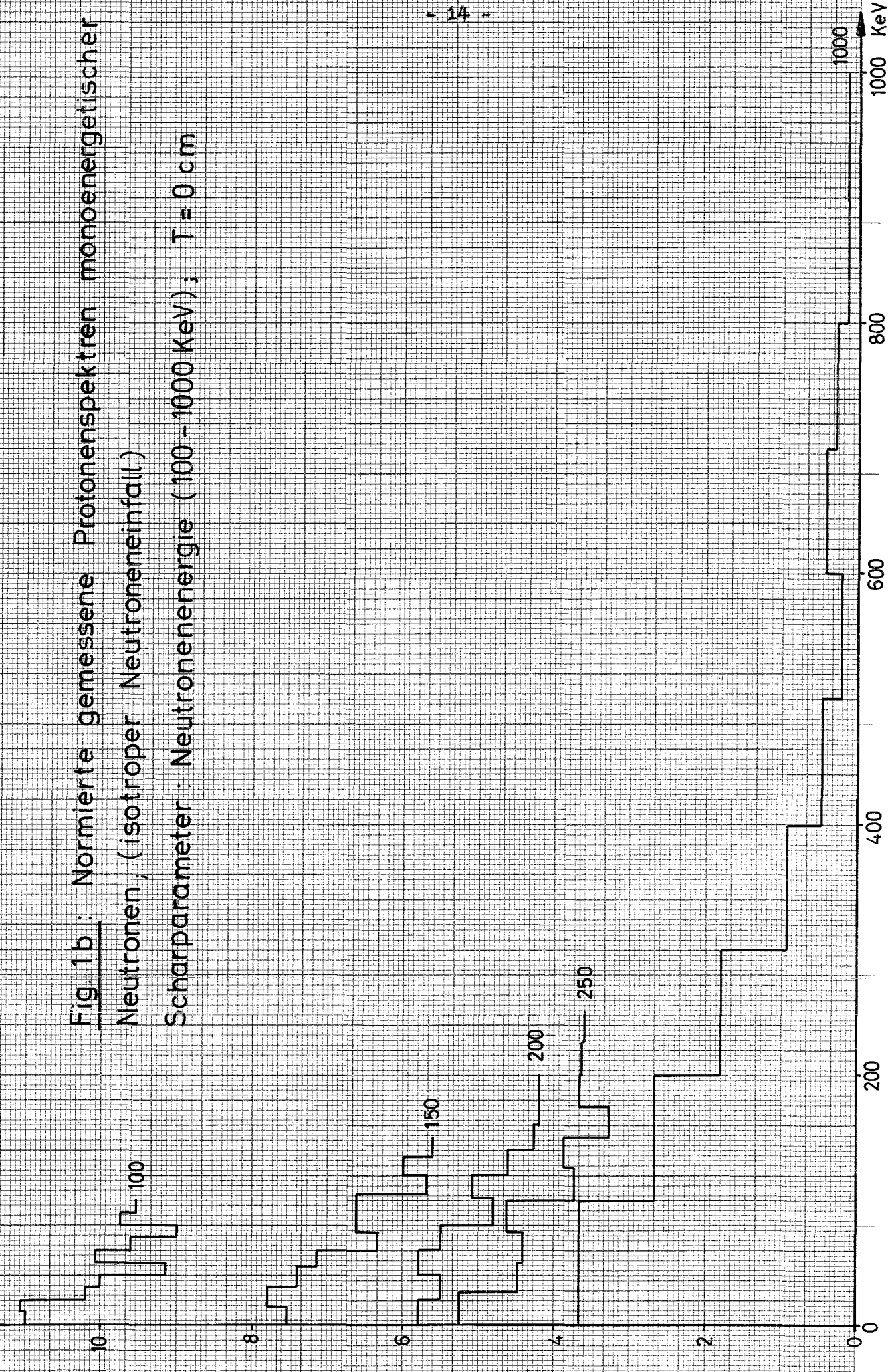
Zahl der Rückstoßprotonen pro KeV in ‰.

Fig. 1a : Normierte gemessene Protonenspektren monoenergetischer Neutronen; (Neutroneneinfall parallel zur Zylinderachse.)
Scharparameter : Neutronenenergie (100 - 1000 keV) , $T = 0$ cm



Zahl der Rückstoßprotonen pro KeV in ‰

Fig. 1b: Normierte gemessene Protonenspektren monoenergetischer Neutronen, (isotroper Neutroneneinfall)
Scharparameter : Neutronenenergie (100 - 1000 KeV); $T = 0$ cm



Zahl der Rückstoßprotonen pro KeV in ‰

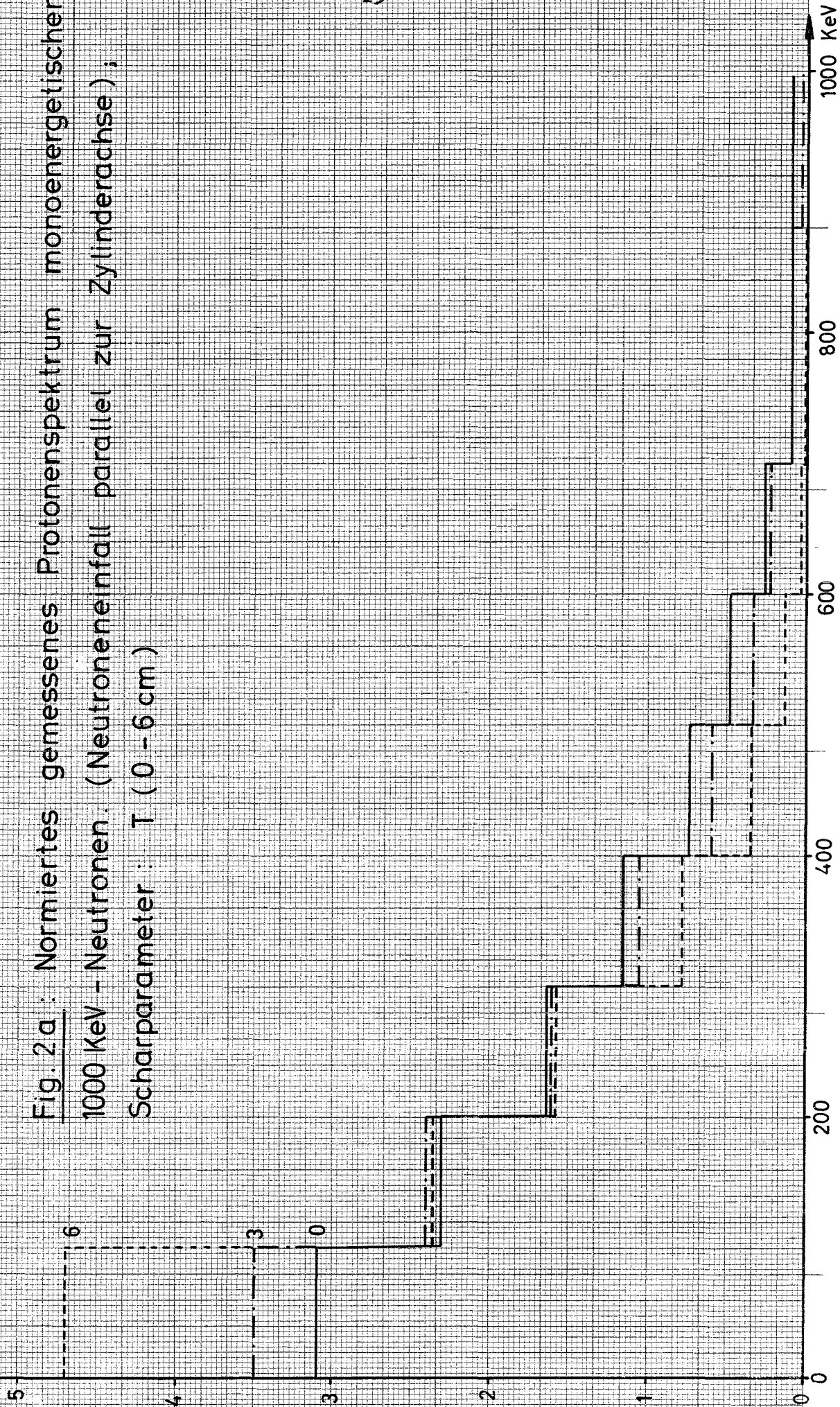
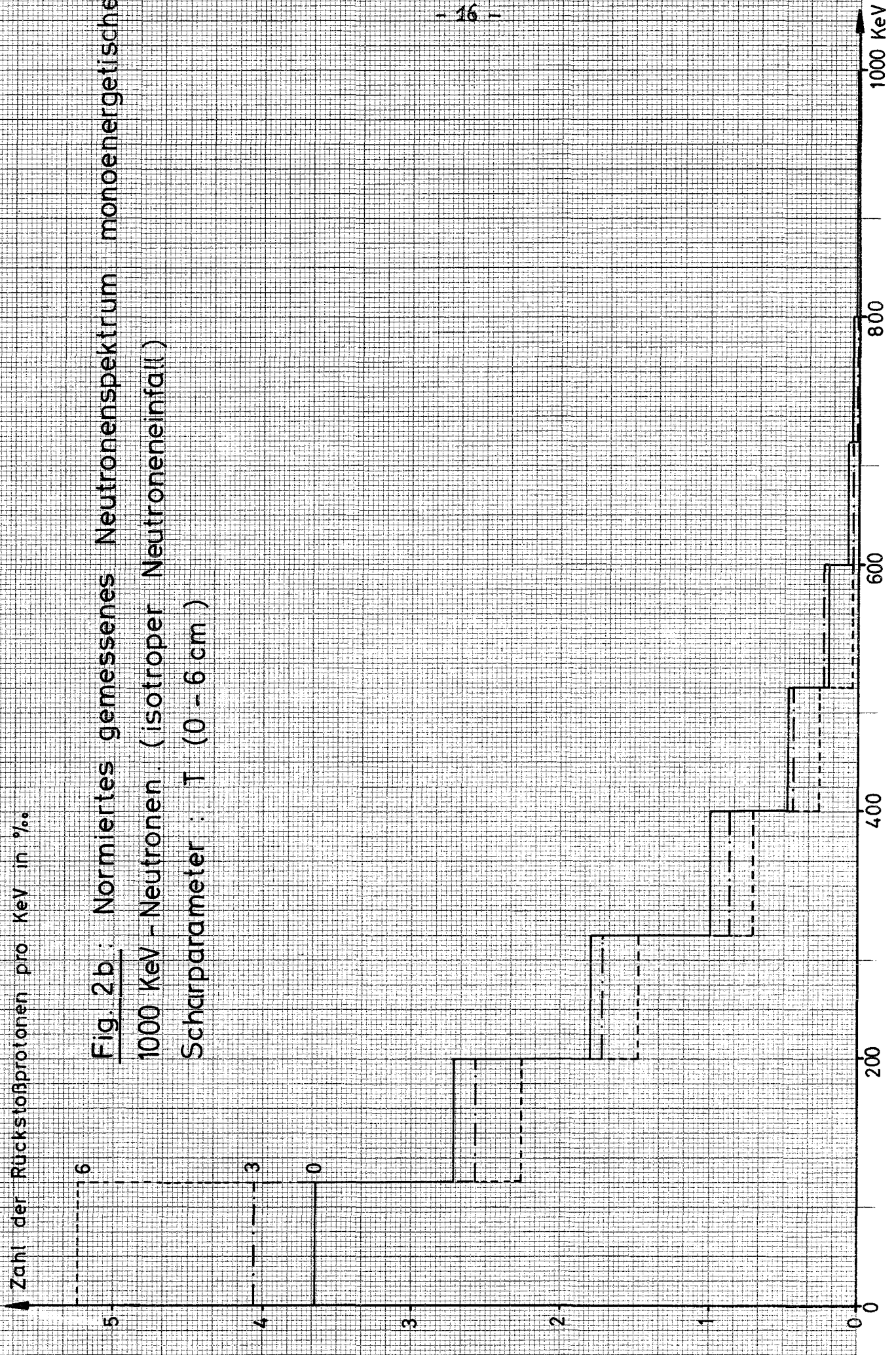


Fig. 2a : Normiertes gemessenes Protonenspektrum monoenergetischer
 1000 KeV - Neutronen. (Neutroneneinfall parallel zur Zylinderachse);
 Scharparameter : T (0 - 6 cm)

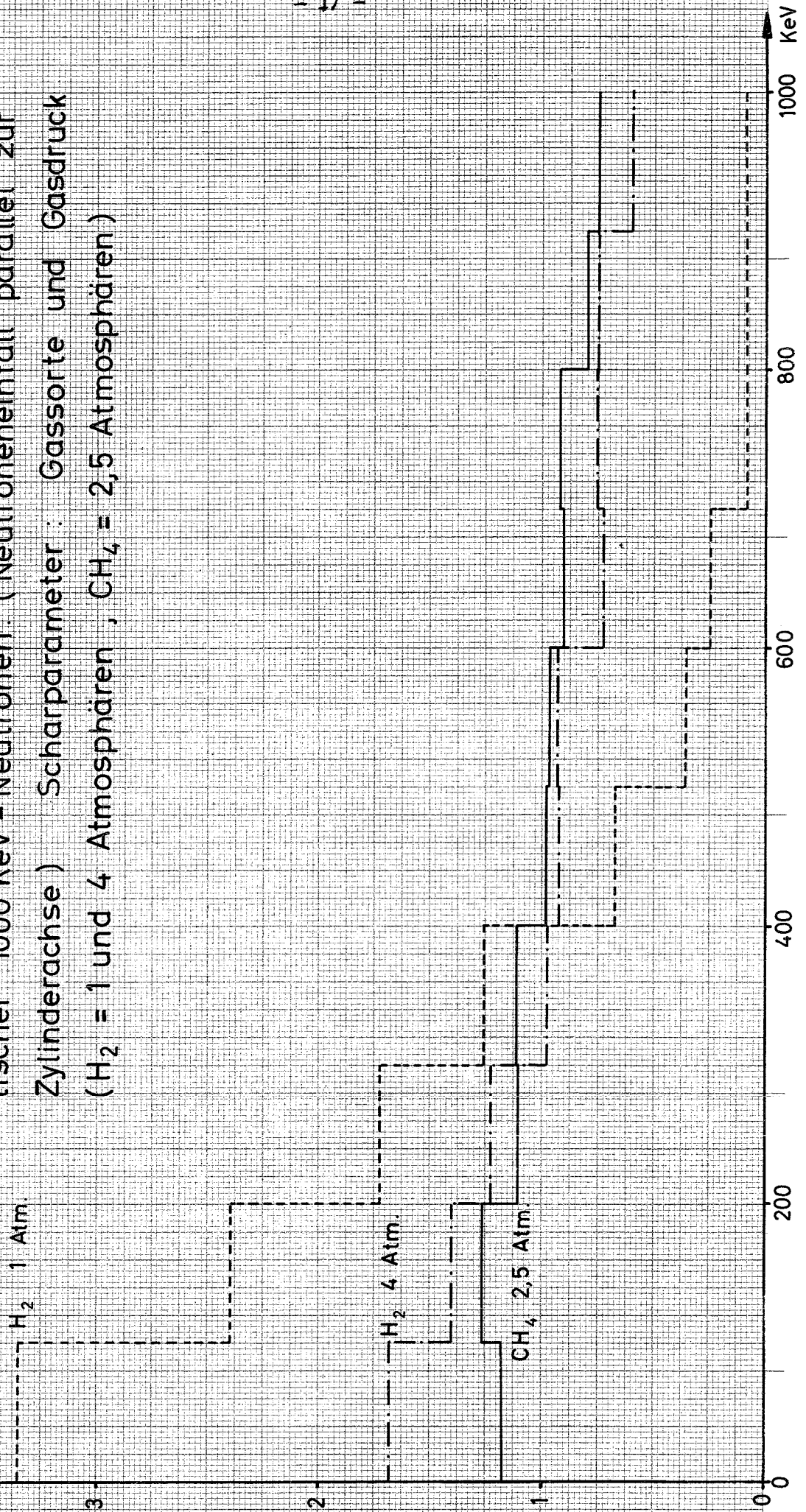
Zahl der Rückstoßprotonen pro KeV in ‰

Fig. 2b: Normiertes gemessenes Neutronenspektrum monoenergetischer
1000 KeV - Neutronen. (isotroper Neutroneneinfall)
Scharparameter : T (0 - 6 cm)



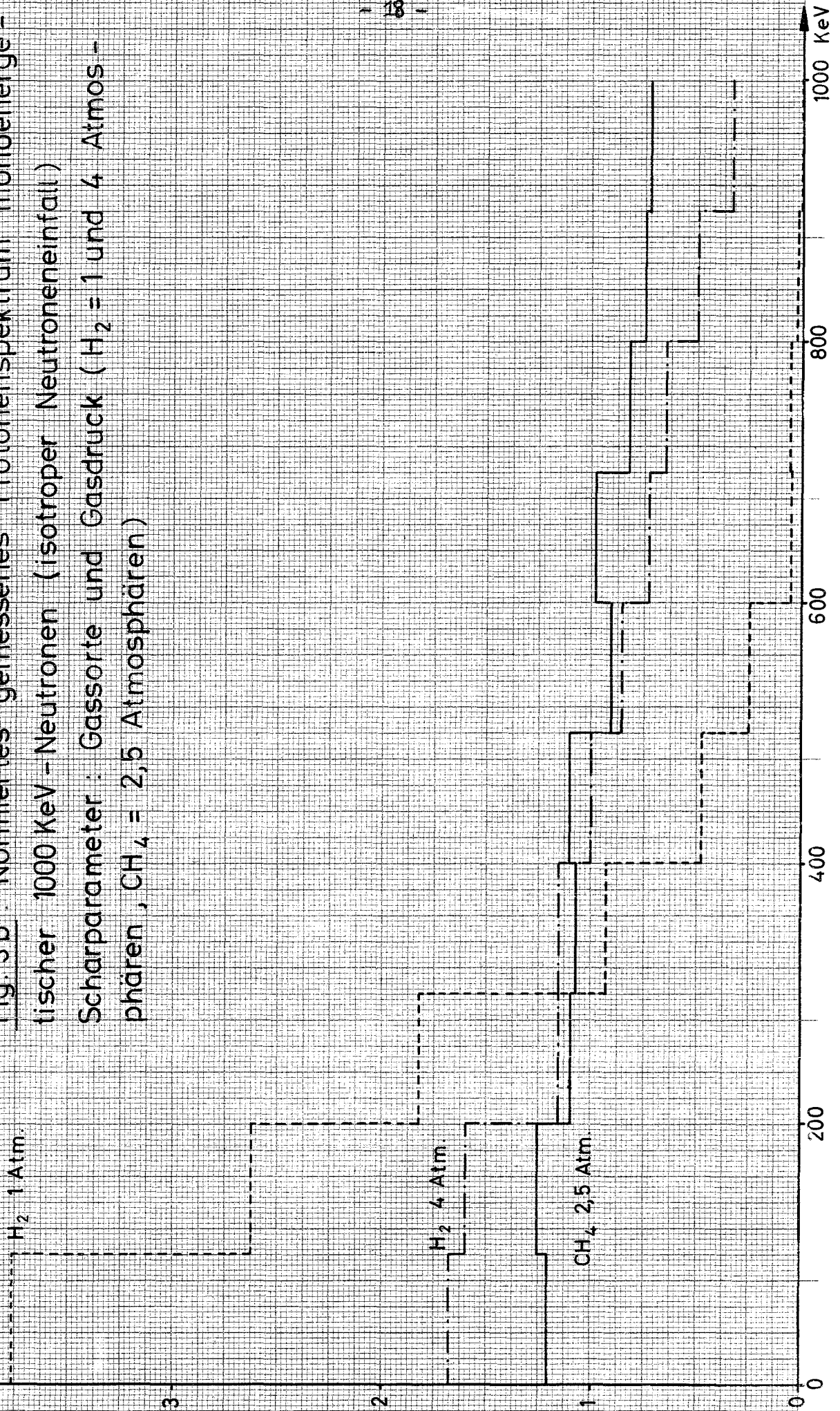
Zahl der Rückstoßprotonen pro KeV in ‰

Fig 3a : Normiertes gemessenes Protonenspektrum monoenergetischer 1000 KeV - Neutronen. (Neutroneneinfall parallel zur Zylinderachse) Scharparameter : Gassorte und Gasdruck ($H_2 = 1$ und 4 Atmosphären, $CH_4 = 2,5$ Atmosphären)

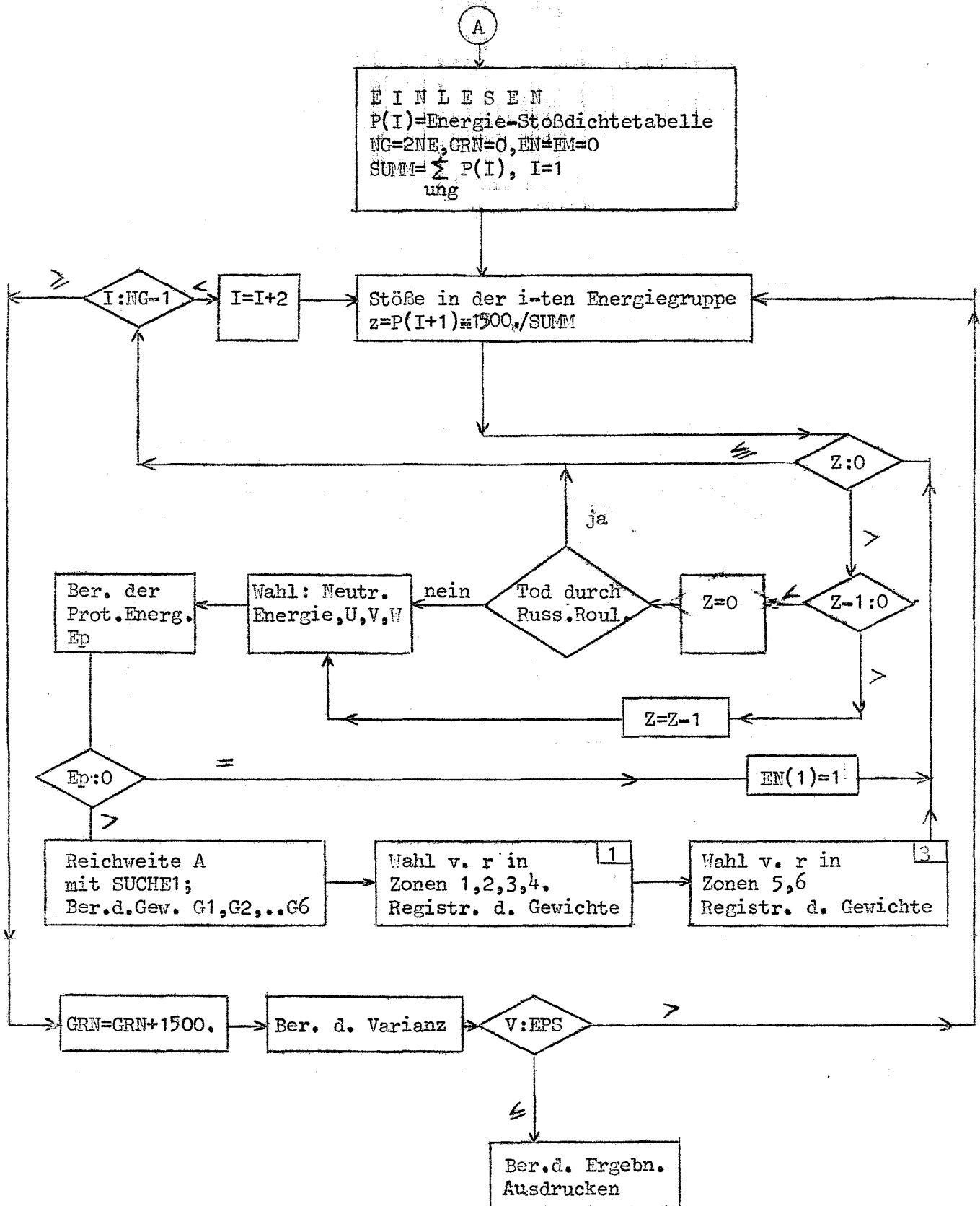


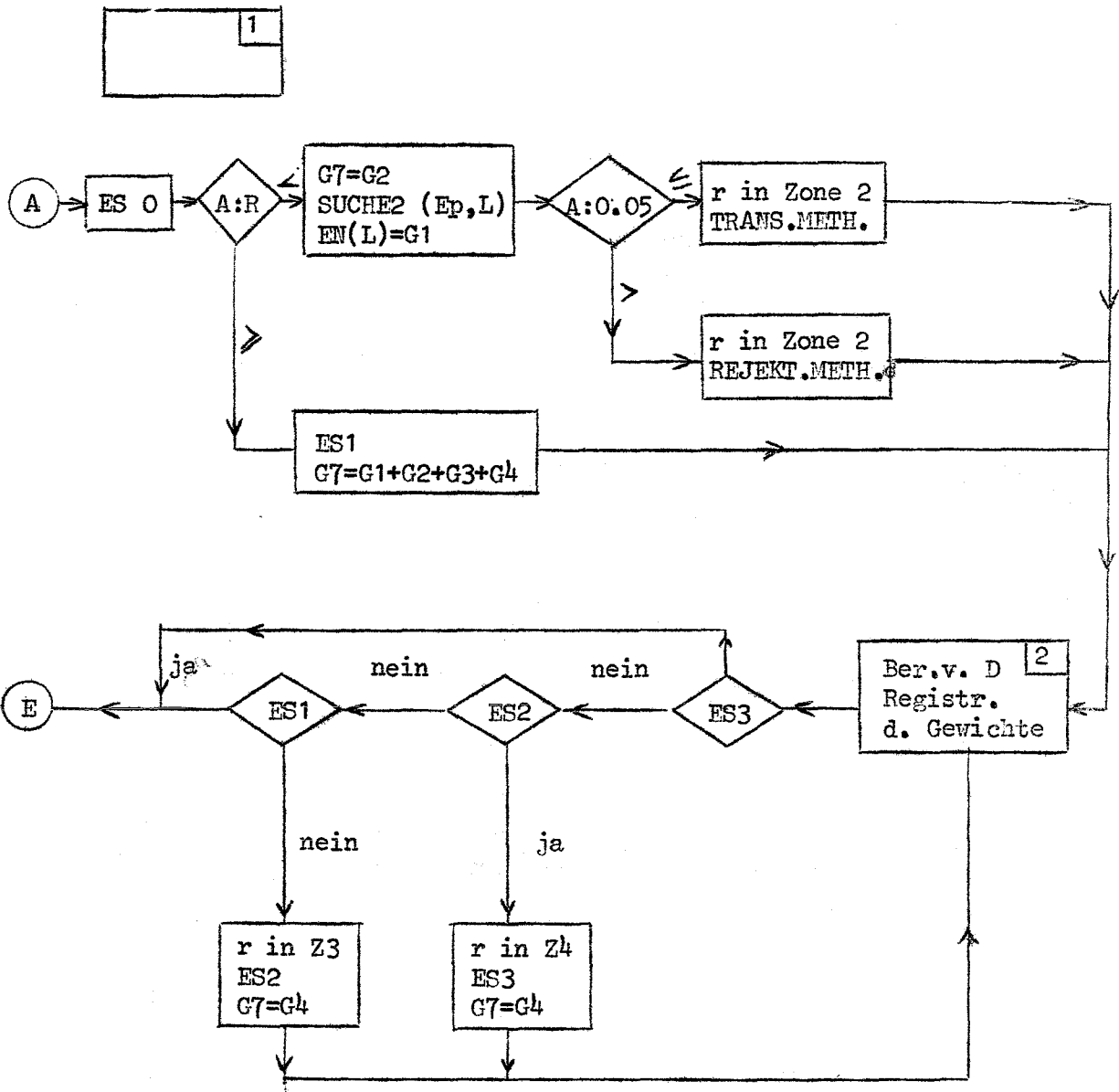
Zahl der Rückstoßprotonen pro KeV in ‰

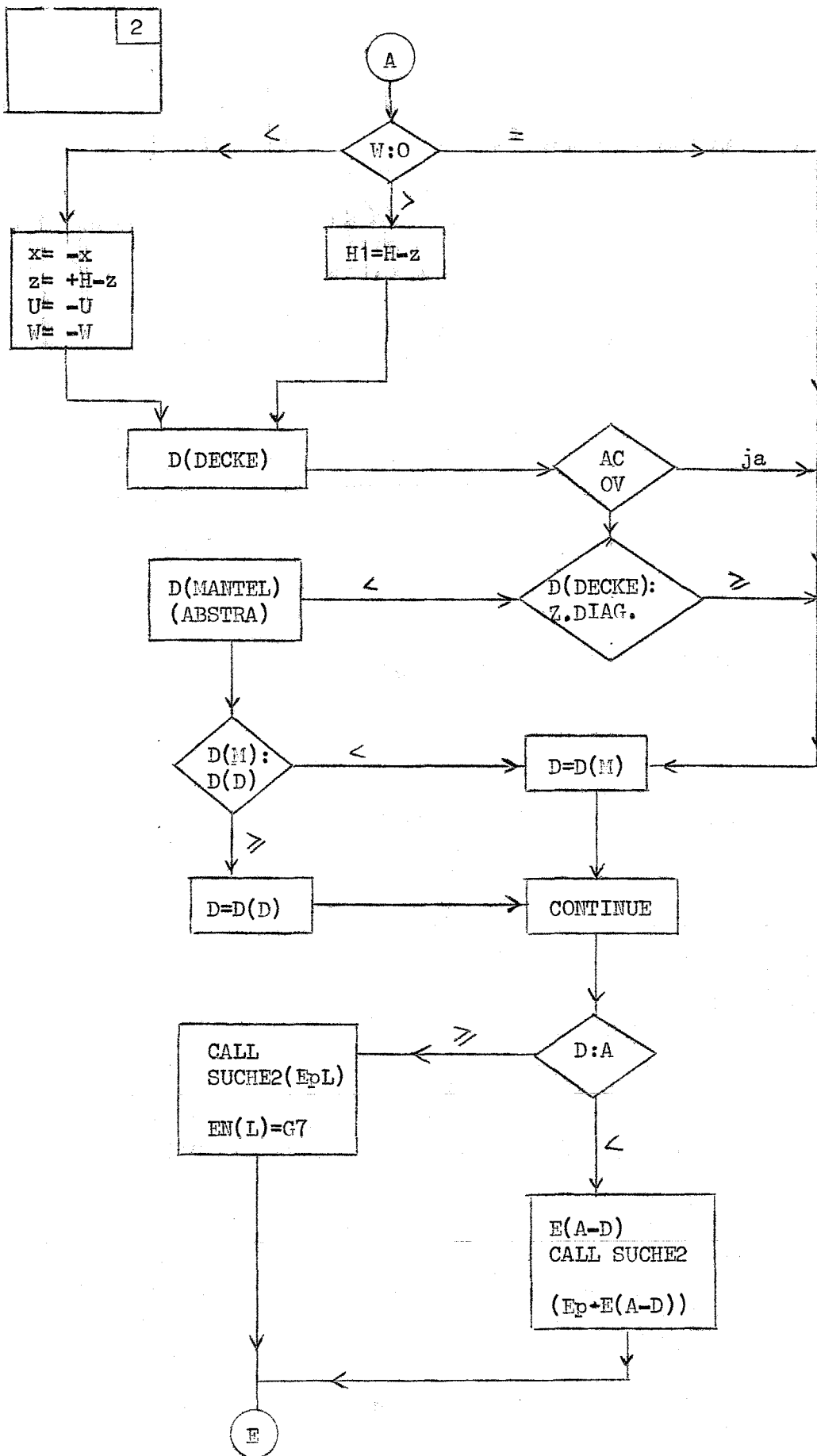
Fig. 3b : Normiertes gemessenes Protonenspektrum monoenergetischer 1000 KeV-Neutronen (isotroper Neutroneneinfall)
Scharparameter : Gassorte und Gasdruck ($H_2 = 1$ und 4 Atmosphären, $CH_4 = 2,5$ Atmosphären)

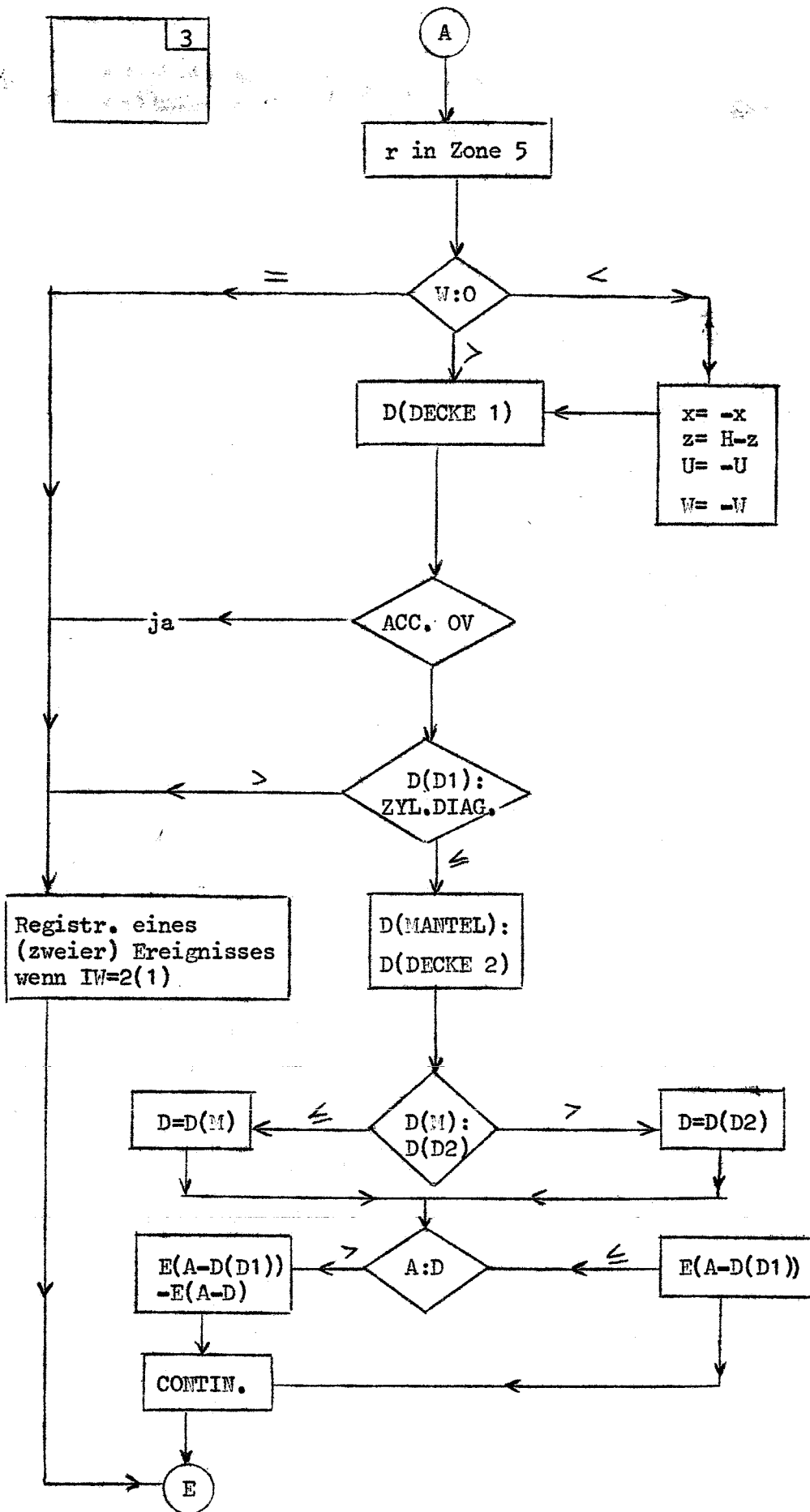


VI.2. Flußdiagramme









DIMENSION P(400),Q(1000),ERG(1000),EN(200),EM(200),F(6),G(1002)
COMMON A,H,P,G,ND,NG
EQUIVALENCE (X,M)

N=1

F(1)=0.5

F(2)=-0.125

F(3)=0.0625

F(4)=-0.0390625

F(5)=0.0273437

F(6)=-0.0205078

READ 69, I%, A, H, T, EPS, NE, NI

IF(A)757,757,758

758 IF(H)757,757,759

759 IF(T)757,760,760

760 IF(EPS)757,757,761

761 IF(NE)757,757,762

762 IF(NI)757,757,763

757 KF=7

GO TO 63

763 NG=2*NE

ND=2*NI

ND1=ND+2

READ 69, (P(J),J=1,NG),(G(J),J=3,ND1)

G(1)=0.

G(2)=0.

NGG=NG-1

DO 771 J=3,NGG,2

IF(P(J)-P(J-2))772,772,771

772 KF=10

GO TO 63

771 CONTINUE

IF(P(1))773,773,775

773 KF=10

GO TO 63

775 ND11=ND1-1

DO 764 J=3,ND11,2

IF(G(J)-G(J-2))765,765,764

765 KF=8

GO TO 63

764 CONTINUE

766 DO 767 J=4,ND1,2

IF(G(J))768,768,767

768 KF=9

GO TO 63

767 CONTINUE

769 DO 71 J=1,NE

EN(J)=0.

71 EM(J)=0.

GRN=0.

C
C
C

FEHLERABFRAGEN

IF(G(ND1-1)-P(NG-1))100,101,101

100 KF=1

GO TO 63

101 IF(NI-500)102,102,103

103 KF=2

GO TO 63

102 IF(NE-200)104,104,105

105 KF=3

GO TO 63

```
104 IF(T-H/2.) 753,445,445
445 KF=4
      GO TO 63
753 IF(IW-1)710,444,711
710 KF=5
      GO TO 63
711 IF(IW-2)710,444,710
C
C   ANZAHL DER STOESZE
C
444 SUMM=0.
      DO 4 J=2,NG,2
        4 SUMM=SUMM+P(J)
          IF(SUMM)998,712,998
712 KF=6
      GO TO 63
998 I=1
      9 Z=P(I+1)*1500./SUMM
        60 CONTINUE
          IF(Z)5,5,6
            5 IF(I-NG+1)7,8,8
              7 I=I+2
                GO TO 9
C
C   RUSSISCHES ROULETTE
C
        6 IF(Z-1.)10,12,12
10    Z1=Z
      Z=0.
      N=1162261467*N
      M=5000000000+N/100
      X=0.+X
      IF(X-Z1)17,17,5
C
C   AUSWAHL DER ENERGIE
C
12    Z=Z-1.
17    E2=P(I)
      IF(I-1)16,18,16
16    E2=P(I)-P(I-2)
18    N=1162261467*N
      M=5000000000+N/100
      X=0.+X
      ENEU=E2*X
      GO TO(701,702),IW
701   N=1162261467*N
      M=5000000000+N/100
      W1=0.+X
702   IF(I-1)447,201,447
447   ENEU=ENEU+P(I-2)
      GO TO 201
C
C   AUSWAHL DER PROTONENFLUGRICHTUNG
C
201   N=1162261467*N
      M=5000000000+N/100
      X=0.+X
      A3=X
      N=1162261467*N
      M=5000000000+N/100
      X=0.+X
```

```
B3=X
S=A3*A3+B3*B3
IF(S-1.)200,200,201
200 N=1162261467*N
M=5000000000+N/100
X=0.+X
W=2.*X-1.
D=SQRTF((1.-W*W)/S)
U=A3*D
V=B3*D
N=1162261467*N
M=5000000000+N/100
X=0.+X
IF(X-0.5)202,203,203
202 U=-U
203 N=1162261467*N
M=5000000000+N/100
M=5000000000+N/100
X=0.+X
IF(X-0.5)204,205,205
204 V=-V
205 CONTINUE
W2=W
GO TO(740,741),IW
741 W1=0.5*(1.+W)
740 IF(W-1.)457,458,458
457 IF(W+1.)454,454,713
713 GO TO(459,455),IW
455 WU=SQRTF(2.*(1.+W))
U=U/WU
V=V/WU
W=(1.+W)/WU
GO TO 459
454 U=0.
V=0.
GO TO(704,705),IW
704 W=-1.
GO TO 459
705 W=0.
GO TO 459
458 U=0.
V=0.
W=1.
GO TO 459
459 EP=W1*ENEU
IF(EP)19,19,20
19 EN(1)=EN(1)+1.
EM(1)=EM(1)+1.
GO TO 60
```

C
C
C
C
C
C

```
20 CALL SUCHB1(1,EP,B2)
BERECHNUNG DER GEWICHTE
752 G1=(A-B2)*(A-B2)*(H-2.*B2-2.*T)/(A*A*H)
G5=T/H
G3=B2/H
G4=G3
G2=B2*(2.*A-B2)*(H-B2*2.-2.*T)/(A*A*H)
```

```
C
C   REICHWEITE KLEINER O. GROSZER A
C
    SENSE LIGHT 0
    IF(B2-H/2.+T)461,22,22
461 IF(B2-A)21,22,22
C   KLEINER
C
    21 G7=G2
    CALL SUCHE2(EP,L1)
    EN(L1)=EN(L1)+G1
    EM(L1)=EM(L1)+G1*G1
    IF(B2-0.05*A)23,23,24
C
C   REICHWEITE KLEINER 0.05A -TRANSFORM.METH.
C
    23 N=1162261467*N
    M=5000000000+N/100
    X=0.+X
    BENN=A-B2
    BENN3=BENN*BENN
    X1=(A*A/BENN3-1.)*X
    R1=1.
    Y1=1.
    DO 25 J=1,6
    Y1=Y1*X1
    25 R1=R1+F(J)*Y1
    R=BENN*R1
C
C   WAHLE X,Y,Z
C
    CALL KOORD(T+B2,H-2.*T-2.*B2,R2,XK,YK,ZK,N)
    28 XK=XK/R2*R
    YK=YK/R2*R
    GO TO 44
C
C   REICHW.GROSZER 0.05A -REJEKT.METHODE
C
    24 CALL KOORD(T+B2,H-2.*T-2.*B2,R1,XK,YK,ZK,N)
    IF(R1-A+B2)24,24,600
    600 GO TO 44
C
C   REICHWEITE GROESZER A
C
    22 SENSE LIGHT 1
    G7=1.-2.*G5
    CALL KOORD(T,H-2.*T,R,XK,YK,ZK,N)
C
C   BERECHNUNG DES ABSTANDES
C
    44 IF(W)706,30,310
    706 XK=-XK
    ZK=H-ZK
    U=-U
    W=-W
    310 H1=H-ZK-T
    GO TO 31
    30 CALL ABSTRA (XK,YK,A,U,V,D)
    GO TO 37
    31 IF ACCUMULATOR OVERFLOW 311,311
    311 D2=H1/W
```

```
IF ACCUMULATOR OVERFLOW 30,460
460 IF(W-1.)32,35,35
32 DI=SQRTF(H*H+4.*A*A)
IF(D2-DI)33,33,30
33 CALL ABSTRA(XK,YK,A,U,V,D1)
IF(D1-D2)34,35,35
34 D=D1
GO TO 37
35 D=D2
37 CONTINUE
```

C
C
C

```
GEBIETE 3 UND 4

IF(D-B2)38,39,39
38 CALL SUCHE1(2,B2-D,ESTR)
E5=EP-ESTR
CALL SUCHE2(E5,L)
EN(L)=EN(L)+G7
EM(L)=EM(L)+G7*G7
GO TO 40
39 CALL SUCHE2(EP,L)
EN(L)=EN(L)+G7
EM(L)=EM(L)+G7*G7
40 IF(SENSE LIGHT 3)46,41
41 IF(SENSE LIGHT 2)45,42
42 IF(SENSE LIGHT 1)46,43
43 CALL KOORD(T+0.,B2,R1,XK,YK,ZK,N)
SENSE LIGHT 2
G7=G4
GO TO 44
45 CALL KOORD(H-T-B2,B2,R1,XK,YK,ZK,N)
SENSE LIGHT 3
GO TO 44
```

C
C
C

```
GEBIET 5 U. 6

46 IF(T) 60,60,49
49 CALL KOORD(0.,T,R1,XM,YM,ZM,N)
RO=ZM
AB=T-ZM
W=W2
1000 IF(W)754,60,51
754 XM=-XM
W=-W
U=-U
51 IF ACCUMULATOR OVERFLOW 1001,1001
1001 D4=AB/W
IF ACCUMULATOR OVERFLOW 60,52
52 IF(W-1.)481,480,481
480 D=AB+H-2.*T
GO TO 450
481 DI=SQRTF(4.*A*A+T*T)
IF(D4-DI)53,53,60
53 CALL ABSTRA(XM,YM,A,U,V,D5)
D3=(AB+H-2.*T)/W
IF(D5-D3)54,55,55
54 D=D5
GO TO 450
55 D=D3
450 IF(B2-D4)60,60,56
56 IF(B2-D)57,57,58
```



```
57 CALL SUCHE1(2,B2-D4,E1)
CALL SUCHE2(E1,L)
EN(L)=EN(L)+G5
EM(L)=EM(L)+G5*G5
GO TO 60
58 CALL SUCHE1(2,B2-D4,E1)
CALL SUCHE1(2,B2-D,E4)
E3=E1-E4
CALL SUCHE2(E3,L)
EN(L)=EN(L)+G5
EM(L)=EM(L)+G5*G5
GO TO 60
```

C
C
C
C
C
C

NAECHSTER STOSZ

BERECHNUNG DER ERGEBNISSE

```
8 GRN=GRN+1500.
SENSE LIGHT 0
SENSE LIGHT 1
SUMM2=0.
SUMM3=0.
DO 61 J=1,NE
ERG(5*J-4)=P(2*J-1)
ERG(5*J-3)=EN(J)/GRN
IF(EN(J))451,452,451
452 ERG(5*J-2)=0.
GO TO 453
451 SQRTFA=EM(J)/(EN(J)*EN(J))-1./GRN
IF(SQRTFA-1.0E-50)452,452,456
456 ERG(5*J-2)=200.*SQRTF(SQRTFA)
453 ERG(5*J-1)=100.*P(2*J)/SUMM
IF(SENSE LIGHT 1)401,402
401 ERG(5*J)=P(2*J-1)
402 ERG(5*J)=P(2*J-1)-P(2*J-3)
SUMM3=SUMM3+ERG(5*J-3)
61 SUMM2=SUMM2+ERG(5*J-2)
DO 59 J=1,NE
59 ERG(5*J-3)=ERG(5*J-3)/SUMM3*100.
RE=NE
SUMM2=SUMM2/RE
IF(SUMM2-EPS)62,62,998
63 PRINT 64,KF
GO TO 68
62 GO TO(485,486),IW
485 PRINT 487
GO TO 488
486 PRINT 489
488 PRINT 69,A,H,T,NE,EPS,GRN
PRINT 65
NG2=5*NE
DO 66 J=1,NG2,5
DP=ERG(J+1)/ERG(J+4)
DN=ERG(J+3)/ERG(J+4)
66 PRINT 67,ERG(J),ERG(J+1),DP,ERG(J+2),ERG(J+3),DN,ERG(J+4)
68 CALL EXIT
64 FORMAT(14HKEINGABEFehlerI2)
65 FORMAT(1HL,5X,14HOBERE ENERGIE-,12X,16HPROTONENSPEKTRUM,8X,9HRELAT
1IVER,12X,17HNEUTRONENSPEKTRUM,12X,12HENERGIEGRUP-/7X,12HGRENZE (KE
2V),13X,3HINT,9X,4HDIFF,9X,6HFEHLER,14X,3HINT,9X,4HDIFF,14X,9HPENBR
```

3EITE/)

69 FORMAT(7HIRADIUSF6.2,3H CM,24X,5HHOEHEF6.2,3H CM,14X,15HRANDZONENB
1REITEF6.2,3H CM /26HKANZAHL DER ENERGIEGRUPPEN14,10X,12HFEHLERMITT
2ELF4.0,3H PR,9X,19HZAHL DER SCHICKSALE F8.0)
67 FORMAT(F16.2,F20.3,E15.4,F12.1,F19.3,E15.4,F18.2)
489 FORMAT(10H1NEUTRONEN,1X,8HPARALLEL,1X,2HZU,1X,3HDER,1X,13HZYLINDER
LACHSE)
487 FORMAT(10H1NEUTRONEN,1X,7HISOTROP)

C
C

```
SUBROUTINE SUCHE2(B1,L)
  DIMENSION P(400),G(1002)
  COMMON A,H,P,G,ND,NG
  NG1=NG-1
  DO 30 I=1,NG1,2
  IF(B1-P(I))31,31,30
31 L=I
  IF(I-1) 34,34,1
  1 L=(I+1)/2
  GO TO 34
30 CONTINUE
34 CONTINUE
  RETURN
```

C
C

```
SUBROUTINE KOORD (T,H1,R,XK,YK,ZK,N)
  EQUIVALENCE (X,M)
  COMMON A,H,P,G,ND,NG
  DIMENSION P(400),G(1002)
  N=1162261467*N
  M=5000000000+N/100
  X=0.+X
  A1=X
  N=1162261467*N
  M=5000000000+N/100
  X=0.+X
  B1=X
  IF(A1-B1)3,4,4
  3 Y1=B1
  GO TO 5
  4 Y1=A1
  5 R=A*Y1
  2 N=1162261467*N
  M=5000000000+N/100
  X=0.+X
  A1=X
  N=1162261467*N
  M=5000000000+N/100
  X=0.+X
  B1=X
  S=A1*A1+B1*B1
  IF(S-1.)1,1,2
  1 D=SQRTF(S)
  U1=A1/D
  V1=B1/D
  N=1162261467*N
  M=5000000000+N/100
  X=0.+X
  IF(X-0.5)28,29,29
28 U1=-U1
29 N=1162261467*N
```

```
M=5000000000+N/100
X=0.+X
IF(X-0.5)30,31,31
30 V1=-V1
31 CONTINUE
N=1162261467*N
M=5000000000+N/100
X=0.+X
Z=X*H1
ZK=T+Z
XK=R*U1
YK=R*V1
RETURN
```

C
C

```
SUBROUTINE SUCHE1(L5,B1,B2)
DIMENSION P(400),G(1002)
COMMON A,H,P,G,ND,NG
K=L5
ND1=ND+L5
24 DO 28 I=K,ND1,2
L1=I+3-2*L5
L2=I+1-2*L5
IF(B1-G(I))26,27,28
26 B2=(B1-G(I-2))*(G(L1)-G(L2))/(G(I)-G(I-2))+G(L2)
GO TO 29
27 B2=G(L1)
GO TO 29
28 CONTINUE
29 CONTINUE
RETURN
```

C
C

```
SUBROUTINE ABSTRA(XK,YK,A,U,V,D)
B=U*U+V*V
SK=XK*U+YK*V
RQ=XK*XK+YK*YK
D=(-SK+SQRTE(SK*SK+(A*A-RQ)*B))/B
RETURN
```