

**EUR 4540 d**

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

**ÜBER DIE MODERATION  
SCHNELLER NEUTRONEN IN POLYÄTHYLEN  
UND IHRE ANWENDUNG IN DER  
NEUTRONENDOSIMETRIE**

von

**R. ROHLOFF und M. HEINZELMANN  
(KFA)**

1971



**Bericht abgefasst von der  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich — Deutschland  
Zentralabteilung Strahlenschutz**

**Euratom-Vertrag Nr. 024-65-11 PSTD**

## HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Gemeinschaften ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von DM 16,50	FF 25,—	BF 225,—	Lit. 2.800	Fl. 16,—
-------------------------	---------	----------	------------	----------

verkauft.

**Es wird gebeten, bei Bestellungen die EUR-Nummer und den Titel anzugeben, die auf dem Umschlag jedes Berichts aufgeführt sind.**

Gedruckt von Guyot, s.a., Brüssel  
Luxemburg, Januar 1971

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

## EUR 4540 d

ÜBER DIE MODERATION SCHNELLER NEUTRONEN IN POLY-  
ÄTHYLEN UND IHRE ANWENDUNG IN DER NEUTRONENDOSI-  
METRIE von F. ROHLOFF und M. HEINZELMANN

Kommission der Europäischen Gemeinschaften  
Bericht abgefasst von der  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH - Jülich (Deutschland)  
Zentralabteilung Strahlenschutz  
Euratom-Vertrag Nr. 024-65-11 PSTD  
Luxemburg, Januar 1971 - 172 Seiten - 41 Abbildungen - BF 225,—

In der vorliegenden Arbeit wird eine Verbesserung der Neutronenfeldmessung (Fluenz und Äquivalentdosisleistung) mittels Moderatorkugel vorgeschlagen. Zur Messung wird die räumliche Verteilung der Flußdichte der thermischen Neutronen im Moderator benutzt. Zum Aufbau des Meßwertes sollen nicht die Zählraten im Mittelpunkt verschiedener Kugeln, sondern Zählraten an verschiedenen Stellen in einer Kugel benutzt werden. Dadurch wird ein kompaktes Meßgerät geschaffen, dessen Anzeige richtungsunabhängig ist.

## EUR 4540 d

THE MODERATION OF FAST NEUTRONS IN POLYETHYLENE  
AND THEIR USE IN NEUTRON DOSIMETRY by F. ROHLOFF  
and M. HEINZELMANN

Commission of the European Communities  
Report prepared by  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH - Jülich (Germany)  
Zentralabteilung Strahlenschutz  
Euratom Contract No. 024-65-11 PSTD  
Luxembourg, January 1971 - 172 Pages - 41 Figures - B.Fr. 225,—

The present article suggests an improvement in neutron field measurement (fluence and equivalent dose power) by means of moderator balls. The spatial distribution of the flux density of the thermal neutrons in the moderator is used for the measurement. To arrive at the measured value, use is made of both the counting rates at the centre of the various balls, and also the counting rates at different points in a single ball. By this means a compact counter is produced of which the indications are independent of direction.

## EUR 4540 d

THE MODERATION OF FAST NEUTRONS IN POLYETHYLENE  
AND THEIR USE IN NEUTRON DOSIMETRY by F. ROHLOFF  
and M. HEINZELMANN

Commission of the European Communities  
Report prepared by  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH - Jülich (Germany)  
Zentralabteilung Strahlenschutz  
Euratom Contract No. 024-65-11 PSTD  
Luxembourg, January 1971 - 172 Pages - 41 Figures - B.Fr. 225,—

The present article suggests an improvement in neutron field measurement (fluence and equivalent dose power) by means of moderator balls. The spatial distribution of the flux density of the thermal neutrons in the moderator is used for the measurement. To arrive at the measured value, use is made of both the counting rates at the centre of the various balls, and also the counting rates at different points in a single ball. By this means a compact counter is produced of which the indications are independent of direction.

## EUR 4540 d

THE MODERATION OF FAST NEUTRONS IN POLYETHYLENE  
AND THEIR USE IN NEUTRON DOSIMETRY by F. ROHLOFF  
and M. HEINZELMANN

Commission of the European Communities  
Report prepared by  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH - Jülich (Germany)  
Zentralabteilung Strahlenschutz  
Euratom Contract No. 024-65-11 PSTD  
Luxembourg, January 1971 - 172 Pages - 41 Figures - B.Fr. 225,—

The present article suggests an improvement in neutron field measurement (fluence and equivalent dose power) by means of moderator balls. The spatial distribution of the flux density of the thermal neutrons in the moderator is used for the measurement. To arrive at the measured value, use is made of both the counting rates at the centre of the various balls, and also the counting rates at different points in a single ball. By this means a compact counter is produced of which the indications are independent of direction.

Die Grundlage der Arbeit ist eine Berechnung der räumlichen Verteilung der thermischen Neutronen im Kugelmoderator. Die gewonnenen Ergebnisse werden zu einer Approximation der Neutronenfeldgrößen benutzt. Nach den Rechnungen der Flußverteilung thermischer Neutronen im Kugelmoderator wurde ein Dosimeter gebaut. Die Energieabhängigkeit des Dosimeters wurde bestimmt, und Vergleichsmessungen mit anderen Dosimetertypen wurden durchgeführt.

---

The article essentially consists of a calculation of the spatial distribution of the thermal-neutrons in the ball moderator. The results obtained are used for arriving at an approximation of the neutron fields sizes. The dosimeter is constructed according to the calculations of the flux distribution of thermal-neutrons in the ball moderator. The energy dependence of the dosimeter is determined and comparative measurements made with other types of dosimeter.

---

The article essentially consists of a calculation of the spatial distribution of the thermal-neutrons in the ball moderator. The results obtained are used for arriving at an approximation of the neutron fields sizes. The dosimeter is constructed according to the calculations of the flux distribution of thermal-neutrons in the ball moderator. The energy dependence of the dosimeter is determined and comparative measurements made with other types of dosimeter.

---

The article essentially consists of a calculation of the spatial distribution of the thermal-neutrons in the ball moderator. The results obtained are used for arriving at an approximation of the neutron fields sizes. The dosimeter is constructed according to the calculations of the flux distribution of thermal-neutrons in the ball moderator. The energy dependence of the dosimeter is determined and comparative measurements made with other types of dosimeter.

**EUR 4540 d**

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

ÜBER DIE MODERATION  
SCHNELLER NEUTRONEN IN POLYÄTHYLEN  
UND IHRE ANWENDUNG IN DER  
NEUTRONENDOSIMETRIE

von

R. ROHLOFF und M. HEINZELMANN  
(KFA)

1971



Bericht abgefasst von der  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich Deutschland  
Zentralabteilung Strahlenschutz

Euratom-Vertrag Nr. 024-65-11 PSTD

## ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird eine Verbesserung der Neutronenfeldmessung (Fluenz und Äquivalentdosisleistung) mittels Moderatorokugel vorgeschlagen. Zur Messung wird die räumliche Verteilung der Flußdichte der thermischen Neutronen im Moderator benutzt. Zum Aufbau des Meßwertes sollen nicht die Zählraten im Mittelpunkt verschiedener Kugeln, sondern Zählraten an verschiedenen Stellen in einer Kugel benutzt werden. Dadurch wird ein kompaktes Meßgerät geschaffen, dessen Anzeige richtungsunabhängig ist.

Die Grundlage der Arbeit ist eine Berechnung der räumlichen Verteilung der thermischen Neutronen im Kugelmoderator. Die gewonnenen Ergebnisse werden zu einer Approximation der Neutronenfeldgrößen benutzt. Nach den Rechnungen der Flußverteilung thermischer Neutronen im Kugelmoderator wurde ein Dosimeter gebaut. Die Energieabhängigkeit des Dosimeters wurde bestimmt, und Vergleichsmessungen mit anderen Dosimetertypen wurden durchgeführt.

## SCHLAGWORTE

DOSIMETRY	EURATOM
DOSEMETERS	THERMAL NEUTRONS
THERMOLUMINESCENCE	SPHERES
RADIATION DETECTORS	MONTE CARLO METHOD
HELIUM 3	DIFFUSION
STANDARDS	NUMERICALS

VORWORT

Die vorliegende Arbeit berichtet zusammenfassend über Forschungsergebnisse, die innerhalb eines zwischen der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft und der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, geschlossenen Vertrages in den Jahren 1966 - 1968 erzielt worden sind. Dieser Vertrag war im Rahmen des zweiten Fünfjahresplanes von der Kommission auf dem Gebiet der Personendosimetrie abgeschlossen worden und hatte die Entwicklung von Kugeldosimetern mit Thermolumineszenz-Detektoren zur Bestimmung der Äquivalentdosis in Neutronenfeldern zum Inhalt. Im Zuge dieser Untersuchungen sollte ein Dosimeter entwickelt werden, welches erlaubt, die für den Strahlenschutz benötigten Grössen zu ermitteln.

Wie die vorliegende Veröffentlichung zeigt, reicht die Empfindlichkeit der bislang verwendeten Thermolumineszenzdetektoren nur in speziellen Fällen aus. Es wird daher vorgeschlagen, auf andere Detektoren (z.B. He-3) überzugehen, die die Empfindlichkeit soweit steigern, dass dieses Dosimeter im praktischen Strahlenschutz verwendet werden kann.

Die Zahl der beruflich einer Strahlenbelastung ausgesetzten Arbeitskräfte ist ständig im Steigen begriffen. Für den Strahlenschutzverantwortlichen ist es daher im Hinblick auf die Erfassung der in Strahlenfeldern auftretenden Gefahren von grundlegender Bedeutung, genaue Angaben über die Äquivalentdosis zu ermitteln, um auch unter diesem Aspekt die effective Einhaltung der in den nationalen Rechts- und Verwaltungsvorschriften auf Grundlage der in den Euratom-Strahlenschutznormen

festgelegten Höchstwerte sicherzustellen bzw. die im Falle einer Ueberschreitung der Höchstwerte vorgesehenen Massnahmen einzuleiten. Dieses gilt im besonderen für die Erfassung der Äquivalentdosis in Neutronenfeldern, die für den praktischen Strahlenschutz immer noch problematisch ist. Nur die Dosis von thermischen und schnellen Neutronen ist befriedigend erfassbar. Dieser Bereich ist für den Strahlenschutz aber unbedeutend. Der Bereich bis zu etwa 500 keV Neutronenenergie kann bei Beschäftigten an Reaktoren, wie neuere Untersuchungen zeigten, ca. ein Drittel der Gesamtäquivalentdosis liefern.

Die vorliegende Arbeit befasst sich im wesentlichen mit den theoretischen Grundlagen zur Berechnung der Empfindlichkeitsfunktionen, insbesondere mit der Berechnung der räumlichen Verteilung der thermischen Neutronen im Kugelmoderator. Die Rechnung besteht aus drei Phasen, und zwar der Berechnung der Abbremsung der Neutronen bis zur vorthermischen Energie mit Hilfe einer Monte-Carlo-Methode, einer Diffusionsrechnung und dem Versuch einer Approximation. Die benutzten Rechenprogramme werden mitgeteilt.

Ein nach diesen Berechnungen gebautes Dosimeter wurde mit anderen Dosimetern unter verschiedenen experimentellen Bedingungen verglichen.

Die theoretischen Ergebnisse dieser Untersuchung stellen einen interessanten Beitrag für die weitere Entwicklung auf dem Gebiet der Neutronendosimetrie dar und dürften daher für die auf diesem Fachgebiet Tätigen von Nutzen sein.

Dr. P. RECHT  
Direktor für Gesundheitsschutz

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite	
1.	Herleitung der Aufgabenstellung	5
2.	Übersicht über die Arbeit	6
3.	Rechnung	8
3.1	Die Monte Carlo Rechnung	8
3.2	Die Diffusionsrechnung	11
3.2.1	Numerische Lösungen der richtungsabhängigen Diffusionsgleichung	11
3.2.2	Numerische Lösung der richtungsunabhängigen Diffusionsgleichung	19
3.2.2.1	Ableitung der zu lösenden Gleichungen	20
3.2.2.2	Das System von linearen Differential- gleichungen	25
3.2.2.3	Randbedingungen	28
3.2.2.4	Das volle Gleichungssystem für eine P <sub>3</sub> -Näherung	31
3.2.2.5	Diskussion der Ergebnisse	34
3.2.3	Richtungsabhängigkeit	44
3.2.4	Neutronenspektren in der Kugel	46
3.2.5	Empfindlichkeit der Moderator- kugel gegenüber Nadelstrahlen	47
3.2.6	Vergleich der berechneten Empfindlichkeiten mit Ergebnissen anderer Autoren	51
3.3	Die Approximationsrechnung	51
3.3.1	Das Normalgleichungssystem mit Fehler- korrektur	52
3.3.2	Die schrittweise Approximation	55
3.3.3	Eine statistische Approximationsmethode	61
3.3.4	Die Approximation für richtungsunabhängige Neutronenfeldgrößen	65
4.	Meßergebnisse	67
4.1	Fluenz thermischer Neutronen in der 11 1/2" Polyäthylenkugel bei Bestrahlung mit 30 keV und 4,5 MeV Neutronen	67

4.2	Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel	68
4.2.1	Aufbau des Dosimeters	68
4.2.2	Kalibrierung und Energieabhängigkeit	70
4.2.3	Richtungsabhängigkeit	73
4.2.4	Abschätzung der Neutronenenergie	73
4.2.5	Messung im Strahlenfeld eines Reaktors	74
4.3	Vergleich mit anderen Dosimetertypen	78
4.3.1	Geräte zur Bestimmung der Flußdichte	78
4.3.2	Geräte zur Bestimmung der Äquivalentdosis	79
4.4	Ausblick	80
4.5	Zusammenfassung des experimentellen Teils	81
5.	Literaturverzeichnis	83
6.	Abbildungen	86
7.	Tabellenanhang	

1. Herleitung der Aufgabenstellung \*)

Für den praktischen Strahlenschutz ist es wichtig, folgende Größen in einem Neutronenfeld messen zu können:

- a) Flußdichte  $\frac{1}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$
- b) Energieflußdichte  $\frac{\text{MeV}}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$
- c) Energiedosisleistung  $\frac{\text{rad}}{\text{h}}$
- d) Äquivalentdosisleistung  $\frac{\text{rem}}{\text{h}}$

Die charakteristische Schwierigkeit bei der Ausführung solcher Messungen beruht auf der Abhängigkeit der Anzeige der Meßgeräte von der Energie bzw. vom Energiespektrum der Neutronen. In dieser Arbeit wird ausschließlich über die Meßmöglichkeiten mit Kugelmoderatoren berichtet. Es handelt sich um Kugeln eines moderierenden Materials, z. B. Polyäthylen, in welchen die schnellen Neutronen auf thermische Energien abgebremst werden. Die Flußdichte der thermischen Neutronen werden gemessen, z.B. mit einem LiJ (Eu)-Kristall. Eine solche Anordnung haben Bramblett, Ewing und Bonner (1) beschrieben. Die Verfasser haben Empfindlichkeitskurven ermittelt, dabei handelt es sich um relative Empfindlichkeiten im Mittelpunkt von Polyäthylenkugeln vom Durchmesser 2, 3, 5, 8, 10 und 12 Zoll. Jüngere Ergebnisse liegen vor von Hankins (2, 3, 4) und Hansen und Sandmeier (5). Zunächst liefert allein die 10"-Kugel eine grobe Approximation des Dosisäquivalents (2). Später wurde versucht, mit den Messungen mit mehreren Kugeln die Neutronenfeldgrößen zu approximieren, besonders von Nachtigall und Rohloff (6, 7, 8) von McGuire (9)

---

\*) Manuskript erhalten 22. Juli 1970

und von Awschalom (10). Bei allen diesen Meßverfahren muß mit mehreren Kugeln unabhängig voneinander gemessen werden. Die Meßwerte werden mit Gewichtsfaktoren multipliziert, so, daß der energieabhängige Verlauf der betreffenden Neutronengrößen bestmöglich angenähert wird. Nachteilig ist, daß die Moderatorokugeln sich bei gleichzeitiger Messung gegenseitig stören. Eine räumliche Inhomogenität des Neutronenfeldes kann einen Fehler bedingen. Bei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen sind Fehler durch zeitliche Schwankungen des Neutronenfeldes (z. B. am Reaktor) möglich.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Verbesserung vorgeschlagen. Zur Messung wird die räumliche Verteilung der Flußdichte der thermischen Neutronen im Moderator benutzt. Zum Aufbau des Meßwertes sollen nicht die Zählraten im Mittelpunkt verschiedener Kugeln, sondern Zählraten an verschiedenen Stellen in einer Kugel benutzt werden. Dadurch soll ein kompaktes Meßgerät geschaffen werden, welches unempfindlich gegen Richtungsanisotropie ist.

Die Grundlage dieser Arbeit ist eine Berechnung der räumlichen Verteilung der thermischen Neutronen im Kugelmoderator. Die gewonnenen Ergebnisse werden zu einer Approximation der Neutronenfeldgrößen benutzt. Die Ergebnisse werden durch Messungen bestätigt.

## 2. Übersicht über die Arbeit

Der Hauptteil der Arbeit ist die Berechnung der Empfindlichkeitsverteilung in einer Moderatorokugel. Die Rechnungen wurden zunächst beim Deutschen Rechenzentrum in Darmstadt, dann im Zentralinstitut für Mathematik in der Kernforschungsanlage Jülich durchgeführt.

Die Rechnung besteht aus drei Phasen. In der ersten Phase wird mit einer Monte-Carlo-Methode die Bremsung der Neutronen auf vorthermische Energie berechnet. Das Brems- und Streuverhalten der Neutronen wird dabei durch einen Zufallszahlmechanismus statistisch nachgebildet. Die Einzelrechnungen werden bei Energien unter 1 eV abgebrochen. Die erste Phase liefert also eine Quellverteilung von Neutronen unter 1 eV, mit welcher in die nachfolgende Diffusionsrechnung eingegangen wird.

Aus dieser Phase werden die Quellverteilungen als Zwischenergebnisse ausgestanzt. Aussagen über die Streuung von Neutronen aus der Kugel dienen im Vergleich mit Arbeiten anderer Autoren als eine Kontrolle der Ergebnisse (Abschnitt 3.2.4).

In der zweiten Phase folgt die Diffusionsrechnung, welche die Empfindlichkeitsverteilung der Kugel gibt. Hier bot sich eine Verzweigung an.

In der Diffusionsrechnung I (Abschnitt 3.2.1) wird berechnet die Empfindlichkeitsverteilung in der Kugel in Abhängigkeit vom Radius und vom Winkel, den der Radius zum Aufpunkt mit der Einfallrichtung bildet. Diese Rechnung basiert auf der elementaren Diffusionstheorie, worin höhere Momente des Flusses nicht berücksichtigt sind. Die Ergebnisse dieser Rechnungen wurden auf Lochkarten ausgestanzt und sind auszugsweise in diesem Bericht abgedruckt. (Tabelle 3.2.1)

In der Diffusionsrechnung II (Abschnitt 3.2.2) wird die richtungsunabhängige Diffusionsgleichung durchgerechnet. Das zugrundeliegende mathematische Modell ist einfacher, sodaß die höheren Momente mit berücksichtigt werden konnten in einer sogenannten Pn-Näherung, worin n der Grad der Näherung ist. Die Ergebnisse dieser Rechnung werden in den Tabellen 3.2.2 gegeben.

Die richtungsunabhängige Diffusionsrechnung erlaubt eine

qualitative Abschätzung des Fehlers der richtungsabhängigen, elementaren Diffusionsrechnung. (Abschnitt 3.2.2, Ende, Abb. 7 - 9) Der Fehler ist für mittlere Neutronenenergien ( $\sim 1$  keV) nur merklich in der Nähe der Oberfläche (eine freie Weglänge) der Kugel, und bei kleinen Energien ( $\approx 10$  eV) wo die elementare Diffusionsrechnung zu kleine Werte liefert.

In einer Zwischenrechnung (Abschnitt 3.2.3) wird gezeigt, daß eine Tetraederanordnung richtungsabhängiger Werte innerhalb einer Fehlergrenze von 10 % als richtungsunabhängig angesehen werden darf. In der Tabelle 3.2.2 werden die richtungsunabhängigen Empfindlichkeiten einer Tetraederanordnung für verschiedene Kugelradien, berechnet mit einer  $P_5$ -Näherung, gegeben.

In der dritten Phase werden die Approximationen versucht. Es werden mehrere Verfahren entwickelt, welche vor allem die Fehlerfortpflanzung bei der Meßwertermittlung gering machen sollen.

Die Messungen dienen dazu, die errechneten Werte als Einzelergebnisse zu bestätigen und die praktische Anwendbarkeit des zu konstruierenden Meßgeräts zu zeigen.

## Die Rechnung

### .1 Die Monte-Carlo-Rechnung

Die Kugel wird in 100 gleich große Volumenelemente eingeteilt. M zählt die Radian so ab, daß 10 gleich große Kugelschalen entstehen. RA ist der Radius der Gesamtkugel.

Ein Großteil der Arbeit wird in Unterprogrammen erledigt. Das Programm war ursprünglich an der kleineren Rechenmaschine IBM 1401 in der KFA Jülich entwickelt und vorgetestet worden. Später lief es in der Fortran II-Sprache am Deutschen Rechenzentrum in Darmstadt. Dort wurde es in die Fortran IV-Sprache

umgearbeitet und die jetzt vorhandene Unterprogrammorganisation eingeführt. Das Fortran IV-Programm wird im Tabellenanhang mitgeteilt.

Das Unterprogramm B E G I N N wird zu Beginn eines jeden Neutronenschicksals aufgerufen. Die logische Variable PAM steuert die Herstellung eines Energiespektrums gemäß der Wahrscheinlichkeitsverteilung VER. Der Wert DIST gibt den Abstand Quelle - Kugelmittelpunkt an. Ist DIST größer RA vorgegeben, so wird eine zufällige Anfangsrichtung bestimmt, welche einer divergierenden Quellstrahlrichtung entspricht. Dem Wert DIST = 0 wird (im Gegensatz zum physikalischen Bild) die unendlich entfernte Quelle, d.h. es wird ein Parallelstrahlbündel zugeordnet.

Das Unterprogramm UNGLCH behandelt die anisotrope Streuung. Da die Streuung am Wasserstoff bis etwa 10 MeV, am Kohlenstoff bis 1 MeV praktisch isotrop ist, wird unterhalb dieser Energien nur mit isotroper Streuung gerechnet. Die Entscheidung hierüber wird mit der Kennziffer IN und der Variablen KAN (IN) gesteuert. IN wird für Wasserstoff gleich 1, für Kohlenstoff gleich 2 gesetzt. KAN (IN) gibt die Grundzahl der Energie an, oberhalb welcher die anisotrope Streuung berücksichtigt werden muß. Im Unterprogramm wird die neue Energiekennzahl KEW bestimmt. Für Kohlenstoff gibt zunächst WEL an, ob inelastische Streuung vorliegt, welcher Fall gesondert behandelt wird. Auch wird für Kohlenstoff oberhalb 25 MeV reine Vorwärtsstreuung im CM-System angenommen und berechnet. Der Bereich WIN (NN, KEW, IN) gibt für die Energieklasse KEW und die Stoffunterscheidung IN die Wahrscheinlichkeitsverteilung an, worin NN den Streuwinkel klassifiziert, dessen Klassifizierung in dem Bereich AWIN (NN, IN) festgelegt wird. BWIN (NN, IN) gibt dann den zur Winkelklasse NN gehörigen Energieumrechnungsfaktor an. Es ist hier noch zu bemerken, daß das Unterprogramm UNGLCH die Rechenzeit nur wenig belastet; denn sobald die Neutronenergien unter die kritischen Energien moderiert sind, oder wenn von vornherein mit

mittleren Energien gerechnet wird, wird UNGLCH nicht aufgerufen und die Rechnung verläuft so, als wäre es gar nicht vorhanden.

Das Unterprogramm RICHTIG berechnet aus dem Streuwinkel  $\theta$  im CM-System die neuen Richtungscosinus U,V,W. im Laborsystem. Das Unterprogramm KLASSE übernimmt die Zuteilung der Ergebnisse zu den einzelnen Klassen. Das Unterprogramm NULL setzt die Anfangsbereiche auf null.

Die Ergebnisse der Monte-Carlo-Rechnung werden ausgedruckt und ausgestanzt. Mit diesen Werten kann unabhängig in die Diffusionsrechnung eingegangen werden. In der vorliegenden Form des Programms wird ein Diffusionsprogramm als Unterprogramm DNHE aufgerufen.

Als Nebenergebnisse der Moderationsrechnung wurden Aussagen über das Streuverhalten der Polyäthylenkugeln gewonnen. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit solchen von Leimdörfer (19). Das charakteristische  $1/E$ -Spektrum der gestreuten Strahlung kommt sehr gut heraus. Neu ist hier die Unterteilungsmöglichkeit zwischen Vorwärts- und Rückwärtsstreuung. Ferner kann man etwas über die Abhängigkeit der Streustrahlung von der Einfallenergie ersehen (Abb. 3 und 6). Interessant ist die fast konstante Streuergiebigkeit der Kugel im Energieintervall bis etwa 1 MeV (Abb. 5).

In der Abb. 6 wird hier die Richtungsabhängigkeit der gestreuten Neutronen gezeigt. Die Werte für die 7"- und die 11,5"-Kugel sind nebeneinander aufgetragen. Zunächst zeigen die Kugeln bei kleinen Energien eine deutliche Streuung in etwa  $90^\circ - 135^\circ$ . Die Zahl der nur wenig gestreuten Neutronen ist gering. Die Neutronen werden überhaupt nur in der zur Quelle hin gerichteten vorderen Hälfte der Kugel moderiert und deshalb vorwiegend zurückgestreut. Dieser Effekt zeigt sich deutlich bei 100 eV und 1 keV. Bei der Energie 1 MeV wird die

Streuung fast isotrop, die Rückwärtsstreuung überwiegt etwas die Vorwärtsstreuung. Es ist jedoch zu erkennen, daß die 1 MeV Neutronen die 7"-Kugel leichter durchdringen als die 11,5"-Kugel. Die Strichpunktierung deutet den Unterschied zwischen der gestreuten und den ungestreuten (durchdringenden) Neutronen an. Bei 4 MeV ist der Anteil der Neutronen, die ungestreut die Kugel durchdringen, sehr groß. Auffallend ist ferner, daß um  $90^\circ$  weniger Neutronen gestreut werden. Dies liegt einfach daran, daß dort auf die Oberfläche relativ weniger Neutronen auftreffen und die Moderationsdichte an der Oberfläche kleiner ist.

Diese Ergebnisse dienen dazu, die durch die Rechnungen gewonnenen Ergebnisse anschaulich zu erläutern.

### Die Diffusionsrechnung

#### 1.1 Numerische Lösung der richtungsabhängigen Diffusionsgleichung

Es handelt sich um die numerische Lösung der partiellen elliptischen Differentialgleichung

$$\frac{\partial^2 \phi(r, \vartheta)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \phi(r, \vartheta)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \phi(r, \vartheta)}{\partial \vartheta^2} + \frac{\text{ctg}(\vartheta)}{r^2} \frac{\partial \phi(r, \vartheta)}{\partial \vartheta} - \frac{1}{L^2} \phi(r, \vartheta) = - \frac{F(r, \vartheta)}{D} \quad (1)$$

Zur numerischen Lösung wurde ein Netz 20 x 20 eingeführt mit

$$\left. \begin{aligned} R_M &= R_0 (M - 0.5) \\ Z_N &= -1.05 + 0.1 \cdot N \end{aligned} \right\} \begin{aligned} N &= 1, 20 \\ M &= 1, 20 \end{aligned} \quad \begin{aligned} R_0 &= 0.05 \cdot R_H \\ Z_0 &= 0.1 \end{aligned} \quad (2)$$

und die Differenzengleichung

$$\begin{aligned}\phi_{N,M} &= G1(N,M) \cdot \phi_{N,M+1} - G2(N,M) \cdot \phi_{N,M-1} \\ &- G3(N,M) \cdot \phi_{N+1,M} - G4(N,M) \cdot \phi_{N-1,M} \\ &= G0(N,M) \cdot \frac{F_{N,M}}{D}\end{aligned}\quad (3)$$

erhalten. Die Zellenwerte  $F_{N,M}$  werden aus der vorausgegangenen Monte-Carlo-Rechnung übernommen.

Die Differenzengleichung (3) stellt ein lineares Gleichungssystem dar. Da N und M jeweils von 1 bis 20 laufen, besitzt das System (3) 400 Unbekannte. Nach einem direkten Verfahren ist das Gleichungssystem (3) praktisch nicht lösbar, da selbst Großrechner Determinanten von mehr als 300 x 300 Elementen nicht einfach lösen können. Es bot sich deshalb ein Iterationsverfahren an, zumal grobe Näherungen für  $\phi_{N,M}$  aus den Zellinhalten  $F_{N,M}$  erschlossen werden können.

Erste Versuche zeigten zunächst, daß Iterationsverfahren in der Nähe des Nullpunktes nicht konvergieren. Die Divergenz breitet sich aus und macht die gesamte Lösung unsinnig. Deshalb wurde das System (3) genauer untersucht.

Zunächst ist festzustellen, daß das System (3) beinahe von monotonem Typ ist. Identifiziert man das System (3) mit

$$\sum_r a_{\mu r} X_r = Y_\mu \quad (4)$$

so sind zunächst alle Diagonalelemente  $a_{\mu\mu} = 1$ . Die Elemente außerhalb der Diagonalelemente sind:

$$G1(N,M) = DIF \cdot \left( \frac{R_M^2}{R_0^2} + \frac{R_M}{R_0} \right)$$

$$G2(N,M) = DIF \cdot \left( \frac{R_M^2}{R_0^2} - \frac{R_M}{R_0} \right)$$

(5)

$$G3(N,M) = DIF \cdot \left( \frac{1-Z_N^2}{Z_0^2} - \frac{Z_N}{Z_0} \right)$$

$$G4(N,M) = DIF \cdot \left( \frac{1-Z_N^2}{Z_0^2} + \frac{Z_N}{Z_0} \right)$$

$$DIF = 1 / \left( \frac{2R_M^2}{R_0^2} + \frac{2(1-Z_N^2)}{Z_0^2} + \frac{R_M^2}{L^2} \right)$$

Der Faktor DIF ist immer positiv. Ferner sind G1 und G4 positiv, weil  $R_M$  positiv und  $Z_N$  immer kleiner als eins ist. G3 nimmt seinen kleinsten Wert für das größte  $Z_N$  an, also

$$G3_{MAX} = DIF \cdot \left( \frac{1-0.95^2}{0.01} - \frac{0.95}{0.1} \right) = DIF \cdot 0.25 > 0 \quad (6)$$

ist also auch immer positiv. G2 kann nur für  $M = 1$  kleiner 0 werden. In der Tat ist

$$G2(N,1) = DIF \cdot \left( \frac{0.365^2}{0.73^2} - \frac{0.365}{0.73} \right) = -0.25 \cdot DIF < 0 \quad (7)$$

während schon

$$G_2(N,2) = DIF \cdot \left( \frac{1.095^2}{0.73^2} - \frac{1.095}{0.73} \right) = 0,75 \cdot DIF > 0 \quad (8)$$

also größer als Null ist.

Es leuchtet ein, daß diese Unschönheit mit dem Faktor  $1/r^2$  in der Differentialgleichung (1) zusammenhängt. Abhilfe kann geschaffen werden, indem die Gleichung (1) durch die Differentialgleichung

$$2r \frac{\partial \phi}{\partial r} + \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial \varphi^2} + \operatorname{ctg} \varphi \frac{\partial \phi}{\partial \varphi} \right) = 0 \quad (9)$$

in der Nähe des Nullpunktes ersetzt wird. Sie wird aus (1) erhalten, indem man formal mit  $r^2$  multipliziert und die Glieder mit  $r^2$ , die in der Nähe des Nullpunktes für alle endlichen Lösungen von (1) gegen Null gehen, fortstreicht. Nun lautet die Differenzgleichung für den innersten Ring

$$\begin{aligned} & \left( 1 + \frac{2(1-Z_N^2)}{Z_0^2} \right) \phi_{N,1} \\ & = \phi_{N,2} + \left( \frac{1-Z_N^2}{Z_0^2} - \frac{Z_N}{Z_0} \right) \phi_{N+1,1} + \left( \frac{1-Z_N^2}{Z_0^2} + \frac{Z_N}{Z_0} \right) \phi_{N-1,1} \end{aligned} \quad (10)$$

und somit wird

$$G_2(N,1) = 0 \quad (11)$$

und alle anderen G bleiben positiv.

Man kann zeigen, daß die G am anderen Ende ( $M = 20$ ) auch positiv sind. Damit gilt jetzt für das abgeänderte Differenzensystem

$$a_{\mu\mu} = 1 \quad (12)$$

$$a_{\mu\nu} \leq 0 \quad \text{für } \mu \neq \nu$$

Es bleibt, nach dem Zeilensummenkriterium zu fragen. Es gilt für  $M > 1$

$$G_1 + G_2 + G_3 + G_4$$

$$= \frac{\frac{2R_M^2}{R_0^2} + \frac{2(1-Z_N^2)}{Z_0^2}}{\frac{2R_M^2}{R_0^2} + \frac{2(1-Z_N^2)}{Z_0^2} + \frac{R_M^2}{L^2}} < 1 \quad (13)$$

da der Nenner immer um  $\frac{R_M^2}{L^2}$  größer als der Zähler ist. Für  $M = 20$  gilt

$$G_1 + G_2 + G_3 + G_4 =$$

$$\frac{R_{20}^2}{R_0(R_0+AL)} + 2 \cdot \frac{(1-Z_N^2)}{Z_0^2} \quad (14)$$

$$\frac{\left( \frac{R_{20}^2}{R_0(R_0+AL)} + 2 \cdot \frac{(1-Z_N^2)}{Z_0^2} \right)}{\left( \frac{1}{(R_0+AL)(0.5 \cdot R_0+AL)} + \frac{R_{20}}{0.5 \cdot R_0+AL} + \frac{1}{R_0(R_0+AL)} + \frac{R_{20}^2}{L^2} + 2 \cdot \frac{(1-Z_N^2)}{Z_0^2} \right)} <$$

und für  $M = 1$  gilt

$$G_1 + G_2 + G_3 + G_4 = \frac{1 + \frac{2(1 - Z_N^2)}{Z_0^2}}{1 + \frac{2(1 - Z_N^2)}{Z_0^2}} \equiv 1 \quad (15)$$

Für das analoge System (4) gilt somit das schwache Zeilensummenkriterium

$$\sum_{k=1}^n a_{jk} \geq 0 \quad (16)$$

und zwar gilt das Gleichheitszeichen für die ersten 20 Zeilen mit  $M = 1$ .

Es wäre eigentlich noch zu zeigen, daß die Matrix  $\alpha_{\mu\nu}$  nicht zerfällt. Das ist jedoch nicht anzunehmen; es würde physikalisch bedeuten, daß ein Teil der Moderator-Kugel unendlich stark gegen einen anderen abgeschirmt ist.

Aus den Feststellungen (12) der Vorzeichenverteilung und (16) des schwachen Zeilensummenkriteriums mit der Annahme des Nichtzerfallens der Matrix folgt nach bekannten Sätzen der Mathematik, z. B. Collatz (20, 21):

1. Das Gleichungssystem (4) ist vom monotonen Typ.
2. Es besitzt eine eindeutige Lösung (Existenz und Eindeutigkeit).
3. Das Iterationsverfahren (3) konvergiert sowohl im Gesamt- als auch im Einzelschrittverfahren.

Es bleibt noch eine Fehlerabschätzung der Iteration zu ermitteln. Nach bekannten Sätzen gilt, daß das Maximum der Summe der Nicht-

diagonalelemente der Matrix (4) als Lipschitz-Konstante zur Fehlerabschätzung verwendet werden kann, z. B. der Form

$$|u - u_n| = \frac{P^n}{1-P} |u_0 - u_1| \quad (17)$$

Da hier  $P = 1$  ist, fällt eine solche Möglichkeit fort. Jedoch läßt sich die Tatsache der Monotonie ausnutzen. Wird im Bereich der Lösungen  $\phi_{M,N}$  eine Halbordnung eingeführt, daß gelten soll  $\phi_{M,N}^{n+1} \geq \phi_{M,N}^n$ , wenn es für jedes  $M$  und  $N$  gilt, so folgt aus der Monotonie, daß die Lösungen  $\phi_{M,N}$  sich in zwei konvergente Folgen von Lösungen einschließen lassen, wobei die eine monoton zunimmt, die andere monoton abnimmt.

Im Testprogramm Diffusion wurde das Verfahren folgendermaßen durchgeführt. Zunächst wird aus der groben Näherung durch 60 Iterationsschritte (das sind 10.000 Einzeliterationen) eine weniger grobe Näherung gefunden. Diese wurde das erste Mal um zehn Prozent erhöht. Weitere 600 Iterationsschritte, das sind 120.000 Einzeliterationen, liefern eine monoton fallende Folge von Lösungen. Dann wurde diese Lösung um zehn Prozent erniedrigt. 600 Iterationsschritte geben eine steigende Folge von Lösungen. Es gilt

$$\phi_{n-1}^{steig} \leq \phi_n^{steig} \leq \phi_{Lösung} \leq \phi_m^{fall} \leq \phi_{m-1}^{fall} \quad (18)$$

Der logische Bereich TAM bestätigt, daß beim  $n$ -ten Schritt die Monotonie erfüllt war. Die logische Variable PAM kontrolliert die Konvergenz am Rande der Kugel. Da die Lösung dort schneller konvergiert, wird durch PAM erreicht, daß nur im Inneren der

Kugel weitergerechnet wird, wenn am Rand die Iteration zum Stehen gekommen ist.

Die mit diesem Verfahren gewonnene Genauigkeit beträgt in der Zone in der Mitte der Kugel 0,3 %. Nach außen nimmt der Fehler rasch ab.

Die Rechenzeit für diese ziemlich aufwendige Rechnung betrug 100 Sekunden. Nach dem Ausbau der nur einmal benötigten Kontroll- und Prüfvorrichtungen reduzierte sich die Rechenzeit auf 42 Sekunden. Nachdem der aus dem Iterationsverfahren stammende Fehler abgehandelt ist, bleibt noch der fortgepflanzte Fehler aus der Monte-Carlo-Rechnung zu betrachten. In der Analogiefassung (4) wäre zu schreiben:

$$\sum_{\nu} a_{\mu \nu} X_{\nu} = Y_{\mu} \pm \delta Y_{\mu} \quad (19)$$

Wäre die Umkehrung dieses Systems bekannt, etwa

$$X_{\nu} = \sum_{\mu} a^{*}_{\nu \mu} Y_{\mu} \quad (20)$$

so ließe sich sofort das Fehlerfortpflanzungsgesetz anwenden

$$(\delta X_{\nu})^2 = \sum_{\mu} (a^{*}_{\nu \mu})^2 (\delta Y_{\mu})^2 \quad (21)$$

Es ist vorher schon der Matrixinversion ausgewichen worden, da  $\alpha_{\mu\nu}$  schließlich 16.000 Elemente enthält und mit einfachen Verfahren nicht lösbar ist. Auch ist dem Verfasser kein Iterationsverfahren bekannt, welches genügend schnell Ergebnisse liefert. Deshalb wurde zur Abschätzung ein Monte-Carlo-Verfahren gewählt. Da das Gleichungssystem (19) linear ist, lassen sich genügend "Beispiele"

$$\sum_r a_{\mu r} \delta X_r = VAU \cdot \delta Y_\mu \quad (22)$$

berechnen. VAU ist eine normal verteilte Zufallszahl.

Aus mehreren zufälligen Fehlern  $\delta x_\mu$  läßt sich der mittlere Fehler dann ausmitteln. Das Verfahren bedarf keiner großen Genauigkeit. Mit 50 Iterationen und 10 "Beispielen" läßt sich eine hinreichend gute Abschätzung des Fehlers erzielen, ohne allzuviel Rechenzeit zu verbrauchen.

In den Tabellen im Anhang ist ein Auszug aus den Rechenergebnissen wiedergegeben. Die Rechnungen sind durchgeführt für Kugeln von 11,5", 7" und 5" Durchmesser. Die Rechnungen für die 11,5"-Kugel sind mit größerer statistischer Genauigkeit berechnet worden, auch wurde für mehr Energien gerechnet. Die Rechnungen für 7" und 5" Durchmesser sind mit geringerer statistischer Genauigkeit und für weniger Energie gerechnet worden. Diese Rechnungen sind im wesentlichen für die richtungsunabhängige Rechnung (3.2.2) vorbereitet worden, wo die Statistik sich mit einem günstigeren Gewicht auswirkt.

## 2.2 Numerische Lösung der richtungsabhängigen Diffusionsgleichung

In den bisherigen Rechnungen von 3.2.1 wurde angenommen, daß zur Berechnung der Empfindlichkeiten der Polyäthylenkugel die ele-

mentare Diffusionstheorie ausreicht. Diese Annahme fußte auf der Überlegung, daß der Einfluß des Kugelrandes jenseits einer Diffusionslänge (2,42 cm) vernachlässigbar ist. Besonders bei Energien oberhalb einiger keV ist die Bremsverteilung innerhalb der Kugel einigermaßen homogen, die Empfindlichkeit an Stellen innerhalb der Kugel berechnet sich aus der Bremsverteilung in der Nähe der betreffenden Stelle; die Ereignisse am Rand der Kugel sind fast ohne Einfluß.

Im Laufe der Rechnungen zeigte sich jedoch, daß gerade in Randnähe günstige Aufpunkte für die Approximationen liegen. Weiter schien es wichtig, auch bei sehr geringen Neutronenenergien, wo die Neutronen schon in Randnähe abgebremst werden und deshalb der Rand an Bedeutung gewinnt, verlässlichere Werte zu erhalten. Beide Gründe veranlaßten uns, genauere Rechnungen anzustellen. Es wurde das Momentenverfahren benutzt, um für die richtungsunabhängige Approximation die Werte zu verbessern.

ti  
o

.2.2.1 Ableitung der zu lösenden Gleichungen (Divergenztherm)

a) Divergenztherm

Es wird von der energieunabhängigen Boltzmannschen Transportgleichung ausgegangen.

(

$$\text{div} (\vec{\Omega} \cdot F(\vec{r}, \Omega)) + \Sigma_t F(\vec{r}, \vec{\Omega}) = \int_{4\pi} d\vec{\Omega}' \cdot \Sigma_{sg}(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}') \cdot F(\vec{r}, \Omega) + S(\vec{r}, \vec{\Omega}) \quad (1)$$

worin

- $F(r, \vartheta, \varphi, \psi, \chi)$  der energieunabhängige Neutronenfluß
- $\vec{r} = (r, \vartheta, \varphi)$  der Ortsvektor in Polarkoordination
- $\vec{\Omega} = (\psi, \chi)$  die Neutronenrichtung

u,

Zunächst wird der differentielle Neutronenfluß ( $\vec{\Omega} F$ ) hinsichtlich der Polarkoordinaten zerlegt

$$(\vec{\Omega} F)_r = (\sin \psi \sin \vartheta \cos(\chi - \varphi) + \cos \psi \cos \vartheta) \cdot F = \mu_1 F$$

$$(\vec{\Omega} F)_\vartheta = (\sin \psi \cos \vartheta \cos(\chi - \varphi) - \cos \psi \sin \vartheta) \cdot F = \mu_2 F \quad (2)$$

$$(\vec{\Omega} F)_\varphi = \sin \psi \sin(\chi - \varphi) \cdot F = \mu_3 F$$

Der Divergenzterm  $\text{div}(\vec{\Omega} F)$  wird in Polarkoordinaten umgeschrieben. Er ergibt:

$$\text{div}(\vec{\Omega} F) = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 (F \vec{\Omega})_r) + \frac{1}{r \sin \vartheta} \cdot \frac{\partial (F \vec{\Omega})_\vartheta}{\partial \vartheta} + \frac{1}{r \sin \vartheta} \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} (\sin \vartheta (F \vec{\Omega})_\varphi)$$

$$\frac{\partial (F \vec{\Omega})_r}{\partial r} + \frac{2}{r} (F \vec{\Omega})_r + \frac{1}{r \sin \vartheta} \cdot \frac{\partial (F \vec{\Omega})_\vartheta}{\partial \vartheta} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial (F \vec{\Omega})_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \cos \vartheta (F \vec{\Omega})_\varphi$$

$$(\sin \psi \sin \vartheta \cos(\chi - \varphi) + \cos \psi \cos \vartheta) \frac{\partial F}{\partial r}$$

$$\frac{1}{r} (\sin \psi \cos \vartheta \cos(\chi - \varphi) - \cos \psi \sin \vartheta) \frac{\partial F}{\partial \vartheta} \quad (3)$$

$$\frac{\sin \psi \sin(\chi - \varphi)}{r \sin \vartheta} \frac{\partial F}{\partial \varphi}$$

$$\mu_1 \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{\mu_2}{r} \cdot \frac{\partial F}{\partial \vartheta} + \frac{\mu_3}{r \sin \vartheta} \cdot \frac{\partial F}{\partial \varphi}$$

Wie man leicht erkennt, gilt

$$\mu_2 = \frac{\partial \mu_1}{\partial \vartheta} j \mu_3 = \frac{1}{\sin \vartheta} \cdot \frac{\partial \mu_1}{\partial \vartheta} j \mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2 = 1 \quad (4)$$

Für eine richtungsunabhängige Rechnung hängt F nur vom Cosinus des Winkels zwischen Raumvektor und Flugrichtung des Neutrons ab, dieser ist aber gerade  $\mu_1$ . Dann gilt

$$\frac{\partial F}{\partial \vartheta} = \frac{\partial F}{\partial \mu_1} \cdot \frac{\partial \mu_1}{\partial \vartheta} ; \quad \frac{\partial F}{\partial \varphi} = \frac{\partial F}{\partial \mu_1} \cdot \frac{\partial \mu_1}{\partial \varphi} \quad (5)$$

und aus (4) wird

$$\operatorname{div}(\vec{\Omega} F) = \mu \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{(1-\mu^2)}{r} \frac{\partial F}{\partial \mu} \quad (6)$$

Hier und im folgenden wird für  $\mu_1$  immer  $\mu$  geschrieben.

b) Der Ansatz mit Kugelfunktionen

Für F wird angesetzt:

$$F(r, \mu) = \sum_{l=0, \infty} \frac{2l+1}{2} G_l(r) \cdot P_l(\mu) \quad (7)$$

worin  $P_l(\mu)$  die l-ten Legendreschen Kugelfunktionen sind. Der Zweck dieses Ansatzes ist, mit Hilfe der Rekursions-

formeln und der Orthogonalitätsbeziehungen der Kugelfunktionen die Differentialgleichung (6) in eine Folge linearer Differentialgleichungen zu zerlegen.

Die Rekursionsformeln sind

$$\mu P_\ell(\mu) = \frac{\ell+1}{2\ell+1} P_{\ell+1}(\mu) + \frac{\ell}{2\ell+1} P_{\ell-1}(\mu) \quad (8)$$

$$(1-\mu^2) P_\ell'(\mu) = -\frac{\ell(\ell+1)}{2\ell+1} P_{\ell+1}(\mu) + \frac{\ell(\ell-1)}{2\ell+1} P_{\ell-1}(\mu)$$

Die Orthogonalitätsbeziehungen sind

$$\int_{-1}^{+1} P_\ell(\mu) P_n(\mu) d\mu = \frac{2}{2\ell+1} \delta_{\ell n} \quad (9)$$

c) Der Streuterm

Für die folgenden Rechnungen wird Isotropie angenommen.  
Das heißt

$$g(\vec{\Omega}, \vec{\Omega}') = \frac{1}{4\pi} \quad (10)$$

Damit wird der Streuterm auf der rechten Seite der Boltzmann-Gleichung

$$\frac{\Sigma_s}{4\pi} \int_{\psi=0}^{\pi} \int_{\chi=0}^{2\pi} F(r, \nu, \varphi, \psi, x) \sin \psi d\psi dx \quad (11)$$

Setzt man den Ansatz (7) ein, so muß man die Rekursionsformel beachten:

3.

$$P_j(\mu) = P_j(\cos \vartheta) P_j(\cos \psi) + 2 \sum_{m=1}^j \frac{(j-m)!}{(j+m)!} P_j^m(\cos \vartheta) P_j^m(\cos \psi) \cos(m(\chi - \varphi)) \quad (12)$$

Wegen der  $\chi$ -Integration fallen alle Anteile mit Summengliedern fort. Es bleibt:

$$\frac{\sum_s}{4\pi} 2\pi \sum_l G_l(r) \int_{-1}^{+1} P_0(\cos \psi) P_l(\cos \psi') P_l(\cos \vartheta') d\cos \psi' \quad (13)$$

Wegen der Orthogonalitätsbedingungen fallen alle Anteile außer für  $l = 0$  fort. Es bleibt:

$$\sum_s G_0(r) \quad (14)$$

Die Boltzmann-Gleichung für isotrope Streuung in richtungsunabhängiger Geometrie lautet also

$$\mu \frac{\partial F(r, \vartheta)}{\partial r} + \frac{(1-\mu^2)}{r} \frac{\partial F(r, \vartheta)}{\partial \mu} + \sum_t F(r, \vartheta) = \sum_s G_0(r) \quad (15)$$

Anmerkung: Wie man leicht nachrechnet, ist

$$F = f(r \sqrt{1-\mu^2}) \cdot e^{-\sum_t r \mu} \quad (16)$$

eine Lösung der homogenen Differentialgleichung.

### 3.2.2.2 Das System von linearen Differentialgleichungen

a) Ableitung

Setzt man den Ansatz (7) in (15) ein und ersetzt die Glieder  $\mu P_1(\mu)$  und  $(1-\mu^2)P_1'(\mu)$  gemäß den Rekursionsformeln (8), so ergibt sich

$$\begin{aligned} & \sum_{\ell} P_{\ell+1}(\mu) \cdot \left\{ (\ell+1) \frac{\partial G_{\ell}(\gamma)}{\partial \gamma} - \ell(\ell+1) \frac{G_{\ell}(\gamma)}{\gamma} \right\} \\ & + \sum_{\ell} P_{\ell-1}(\mu) \cdot \left\{ \ell \frac{\partial G_{\ell}(\gamma)}{\partial \gamma} + \ell(\ell+1) \frac{G_{\ell}(\gamma)}{\gamma} \right\} \quad (17) \\ & + \sum_{\ell} (2\ell+1) P_{\ell}(\mu) \sum_t G_{\ell}(\gamma) = 2 \sum_s G_0(\gamma) P_0(\mu) \end{aligned}$$

Multipliziert man mit  $P_m(\mu)$  und integriert über  $\mu$ , so fächert mit Hilfe der Orthogonalitätsbeziehung die Summe (17) in ein System von linearen Gleichungen auf:

$$\begin{aligned} & \ell \frac{\partial G_{\ell-1}(\gamma)}{\partial \gamma} - \ell(\ell-1) \frac{G_{\ell-1}(\gamma)}{\gamma} \\ & + (\ell+1) \frac{\partial G_{\ell+1}(\gamma)}{\partial \gamma} + (\ell+1)(\ell+2) \frac{G_{\ell+1}(\gamma)}{\gamma} \quad (18) \\ & + (2\ell+1) \sum_t G_{\ell}(\gamma) = \sum_s G_0(\gamma) \delta_{\ell 0} \end{aligned}$$

Setzt man  $G_{-1}(r) = 0$ , so ist (18) ein abzählbar unendliches System von Differentialgleichungen, beginnend mit  $l = 0$ .

Die ersten Gleichungen lauten explizit:

$$\frac{\partial G_1}{\partial r} + \frac{2}{r} G_1 + (\sum_t - \sum_s) G_0 = 0$$

$$\frac{\partial G_0}{\partial r} + 2 \frac{\partial G_2}{\partial r} + 6 \frac{G_2}{r} + 3 \sum_t G_1 = 0 \quad (19)$$

$$2 \frac{\partial G_1}{\partial r} - 2 \frac{G_1}{r} + 3 \frac{\partial G_3}{\partial r} + 12 \frac{G_3}{r} + 5 \sum_t G_2 = 0$$

usw.

Man erhält die sogenannte n-te Näherung, indem man bei  $n + 1$  abbricht.

#### b) Lösung des Gleichungssystems

Das Gleichungssystem (18) läßt sich mit halbzahligen modifizierten Zylinderfunktionen lösen. Diese genügen den Rekursionsformeln

$$\frac{\partial Z_{l-1/2}}{\partial r} = Z_{l+1/2} + \frac{(l-1/2)}{r} Z_{l-1/2} \quad (20)$$

$$\frac{\partial Z_{l+3/2}}{\partial r} = Z_{l+1/2} - \frac{(l+3/2)}{r} Z_{l+3/2}$$

Setzt man an

$$G_l = a_l \frac{Z_{l+1/2}(\chi r)}{\sqrt{\chi r}} \quad (21)$$

worin  $\chi$  später erklärt wird, und verwendet man die Rekursionsformeln, so wird aus (18):

$$a_{l-1} l \chi + a_{l+1} (l+1) \chi + a_l \sum_t (2l+1) = a_0 \sum_s \delta_{l0} \quad (22)$$

mit den ersten Gliedern

$$\begin{aligned} (\sum_t - \sum_s) a_0 + \chi a_1 &= 0 \\ \chi a_0 + 3 \sum_t a_1 + 2 \chi a_2 &= 0 \\ 2 \chi a_1 + 5 \sum_t a_2 + 3 \chi a_3 &= 0 \\ 3 \chi a_2 + 7 \sum_t a_3 + [4 \chi a_4] &= 0 \end{aligned} \quad (23)$$

Setzt man z. B. alle  $a_m$  mit  $m \geq n$  gleich null, so erhält man die Pn-Lösung. Es ist dann ein Eigenwertproblem zu lösen, mit Eigenwerten für  $\chi$  und Eigenvektoren  $a_\nu$ . In der P1-Lösung ergibt sich

$$\chi^2 = 3 \sum_t (\sum_t - \sum_s) = \frac{1}{L^2} \quad (24)$$

$$a_1 = - \frac{D}{L} a_0 = - \frac{\sqrt{3 \sum_t (\sum_t - \sum_s)}}{3 \sum_t} a_0$$

charakteristisch für die elementare Diffusionstheorie.

Zur praktischen Berechnung der Eigenwerte von (23) dividiert man die l-ten Spalten und Reihen mit der Wurzel des Faktors von  $a_1$ . So bekommt man eine reell symmetrische Matrix, deren Eigenwerte sich nach dem Diagonalisierungsverfahren von Jacobi errechnen lassen.

c) Übersicht über die Lösungen

In der  $P_n$ -Näherung erhält man  $n + 1$  lineare Gleichungen mit  $\frac{n+1}{2}$  quadratischen Eigenwerten des Systems. Die Lösungen lassen sich dann bequem aufbauen. Es wurden nur die positiven Wurzeln der  $\chi^2$  genommen. Lösungen sind einmal die modifizierten Besselfunktionen. Sie haben im endlichen keinen Pol und können zur Erfüllung der Randbedingungen verwendet werden. Ferner die modifizierten Hankelfunktionen. Sie haben Polstellen im endlichen und können zur Darstellung der Quellen verwendet werden. Das volle System ergibt also  $n + 1$  linear unabhängige Lösungen der  $n + 1$  Gleichungen.

### 3.2.2.3 Randbedingungen

a) Darstellung

Die Randbedingung für eine Kugel lautet, daß, wenn außerhalb keine thermischen Quellen vorhanden sind, auch keine Neutronen von außen in sie eindringen können, also

$$F(r, \mu) = 0 \quad \text{für } -1 < \mu < 0 \quad (25)$$

Diese Bedingung ist unerfüllbar, wenn die Reihe (7) nach dem n-ten Glied abgebrochen werden soll. Das auf J.C. MARK (23) zurückgehende Verfahren verlangt, daß jeweils die ungeraden Kugelgewichte

$$\int_{-1}^0 P F(\gamma, \mu) \mu d\mu = 0 \quad (26)$$

gesetzt werden. Damit wird die Randbedingung (25) in gewissen Mittelwerten erfüllt. Für die  $P_n$ -Näherung mit  $n + 1$  Differentialgleichungen ergibt dies  $\frac{n+1}{2}$  Bedingungen, welche zur Bestimmung der Konstanten der quellenfreien Lösungen gerade ausreichen.

b) Explizite Rechnung

Die Berechnung der Integrale (25) ist recht mühsam. Deshalb wurde ein FORMAC-Programm geschrieben, welches sie berechnet. Es enthält im wesentlichen die Rekursionsformel für Kugelfunktionen, die als  $F(K)$  aufgebaut werden. FLUSS kennzeichnet die Entwicklung (7). Die Reihe wird gliedweise integriert. Die Ergebnisse werden so normiert, daß der Faktor  $G_0$  gleich eins wird. Die errechneten Randbedingungen werden umseitig mitgeteilt.

Tabelle 3.2.2.3

Randbedingungen für eine P-11-Näherung

$$\begin{array}{r}
 G_0 - 2,0 G_1 + 1,25 G_2 - 0,375 G_4 + 0,2031 G_6 - 0,1328 G_8 + 0,09570 G_{10} = 0 \\
 G_0 - 5,0 G_2 + 8,0 G_3 - 5,063 G_4 + 1,625 G_6 - 0,9297 G_8 + 0,6328 G_{10} = 0 \\
 G_0 - 3,125 G_2 + 10,125 G_4 - 16,0 G_5 + 10,156 G_6 - 3,320 G_8 + 1,988 G_{10} = 0 \\
 G_0 - 2,8 G_1 + 5,25 G_4 - 16,25 G_6 + 25,6 G_7 - 16,269 G_8 + 5,359 G_{10} = 0 \\
 G_0 - 2,679 G_2 + 4,33 G_4 - 7,617 G_6 + 23,242 G_8 - 36,571 G_9 + 23,256 G_{10} = 0 \\
 G_0 - 2,619 G_2 + 3,978 G_4 - 5,958 G_6 + 10,226 G_8 - 31,008 G_{10} + \\
 48,762 G_{11} = 0
 \end{array}$$

- 30 -

.2.2.4 Das volle Gleichungssystem für eine P3-Näherung

a) Berücksichtigung der Quellterme

Die Monte-Carlo-Rechnung ergab Werte  $Q$  für bestimmte Radien  $r_0$ , welche die Zahl der Neutronen angeben, welche in einem Bereich um  $r_0$  die Schwelle von 1 eV unterschreiten. Diese werden nun als Ausgangswerte für die Diffusionsrechnung genommen. Der Ansatz (7) wird zu

$$F = \frac{1}{2} G_0 + \frac{3}{2} P_1 G_1 + \frac{5}{2} P_2 G_2 + \frac{7}{2} P_3 G_3 \quad (27)$$

Die absolute Summe der Neutronen, die die Kugelschale mit dem Radius  $r_0$  durchdringen, muß gleich der Quellstärke sein, also

$$G_1 = |g^+| + |g^-| = \frac{Q}{4\pi r_0^2} \quad (28)$$

Die übrigen Momente müssen stetig sein. Im Innern der Kugelschale wird die Lösung aus modifizierten Besselfunktionen aufgebaut - sie sind im Mittelpunkt endlich - im Äußeren wird die Lösung aus modifizierten Hankelfunktionen aufgebaut - sie verschwinden in großer Entfernung, ihre Unstetigkeit im Mittelpunkt erlaubt die Darstellung der Quellstärken

Das zu lösende Gleichungssystem wird:

$$a_{01} \frac{I_{1/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} + a_{02} \frac{I_{1/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} - b_{01} \frac{K_{1/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} - b_{02} \frac{K_{1/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} =$$

$$a_{11} \frac{I_{3/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} + a_{12} \frac{I_{3/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} - b_{11} \frac{K_{3/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} - b_{12} \frac{K_{3/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} =$$

$$a_{21} \frac{I_{5/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} + a_{22} \frac{I_{5/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} - b_{21} \frac{K_{5/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} - b_{22} \frac{K_{5/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} =$$

$$a_{31} \frac{I_{7/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} + a_{32} \frac{I_{7/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} - b_{31} \frac{K_{7/2}(x_1 r_0)}{\sqrt{x_1 r_0}} - b_{32} \frac{K_{7/2}(x_2 r_0)}{\sqrt{x_2 r_0}} =$$

Hierzu bestimmen sich die  $\chi_v$  und die Verhältnisse  $a_{01}/a_{11}/a_{21}/a_{31}$  aus der Eigenwertgleichung (23). Im Rechenprogramm PNAE wird die Eigenwertgleichung durch den Aufruf des Unterprogrammes EIGSY, welches ein allgemeines KFA-Programm ist, gelöst. Die modifizierten Zylinderfunktionen  $Z_{n+1/2}(\chi r)$  werden im Unterprogramm BESBER berechnet. Die Lösung des Gleichungssystems (29) erfolgt mit dem KFA-Unterprogramm GELMP. Für die 20 Kugelschalen der Monte-Carlo-Rechnung wird diese Rechnung in einer Schleife zwanzigmal durchgeführt. Die Dimensionierung des Programms ist variabel, so daß jede  $P_n$ -Näherung gerechnet werden kann.

b) Erfüllung der Randbedingung

Die Randbedingung (26) wird explizit dadurch erfüllt, daß auf die gewonnene Lösung, welche die Quellenbedingung (29) erfüllt, eine quellenfreie Lösung zuaddiert wird, deren Koeffizienten so bestimmt werden, daß die Randbedingung (26) erfüllt wird. Am Rande der Kugel sind nur die modifizierten Hankelfunktionen wirksam. Die zu lösenden Gleichungen werden im Rechenprogramm unter der Bezeichnung QV mit halber Dimensionierung aufgebaut.

Das explizite Ergebnis wird in Form einer Matrix AMAT (20, 20) aufgebaut, welche die zwanzig Quellwerte aus der Monte-Carlo-Rechnung in Empfindlichkeiten als Ergebnisse der Diffusionsrechnung umformt.

Das Rechenprogramm TRANS wendet diese Matrix AMAT auf die aus der Monte-Carlo-Rechnung erhaltene Quellverteilung an und ergibt die Empfindlichkeit der Moderator-kugel für richtungsunabhängigen Neutroneneinfall.

### .2.2.5 Diskussion der Ergebnisse

#### a) Konvergenz der Näherung (Tabelle 3.2.2.5.1)

Der Schritt von der P1- zur P3-Näherung bringt eine wesentliche Änderung im Ergebnis für die Empfindlichkeit. Er ist am größten für kleine Energien, z. B. macht die Änderung bei 10 eV im Mittelpunkt 42 %, in Randnähe (13 - 14 cm Radius) 28 % aus. Die Änderungen sind für größere Energien kleiner, z. B. für 40 keV im Mittelpunkt nur noch 5 %, in Randnähe (13 - 14 cm Radius) dagegen 16 %. Hier zeigt sich, was zu vermuten war, daß nämlich bei kleinen Energien die Änderungen am größten sind, für höhere Energien kleiner werden und sich zum Rande hin verlagern. Der Vergleich P3- mit der P5-Rechnung zeigt keinen merklichen Unterschied, die Differenz an den vierten Stellen können Rechenungenauigkeiten sein. Damit wäre gezeigt, daß in der vorgegebenen Geometrie die P3-Näherung völlig ausreichend ist. Für die späteren Rechnungen werden die Ergebnisse der P3- bzw. P5-Näherung verwendet. Der Vergleich P5- mit der P7-Näherung zeigt vergleichsweise größere Unterschiede. Es darf aber vermutet werden, daß diese Unterschiede auf Rechenungenauigkeit beruhen. Denn jede höhere Näherung bedingt größere Eigenwerte  $\chi$  in Gleichung (23); das wiederum bedeutet, daß in der entsprechenden Gleichung (29) zusätzliche Glieder der Form  $\gamma_{iu}(\chi r_0)$  auftreten. Dies aber sind sehr große Zahlen, so daß die Berechnung der zugehörigen Determinanten auf die Bildung einer kleinen Differenz großer Zahlen hinausläuft, was eine größere Rechenungenauigkeit bedingt. Die gute Übereinstimmung der P3- mit der P5-Näherung läßt jedoch vermuten, daß auch eine aufwendigere Berechnung höherer Näherungen keine wesentliche Verbesserung bringen würde.

Tabelle 3.2.2.5: Darstellung der Konvergenz der  $P_n$ -Näherungen an Beispielen

Energie, Radius	Wert der Empfindlichkeit			
	P1	P3	P5	P7
10 eV, Mittelpunkt	0,04875	0,06855	0,06857	0,06710
10 eV, 5,84 cm	0,1314	0,1570	0,1570	0,1537
10 eV, 11,68 cm	0,6668	0,8066	0,8068	0,7880
10 eV, 13,14 cm	0,7792	1,0028	1,0023	0,9731
1 keV, Mittelpunkt	0,09251	0,1026	0,1027	0,1018
1 keV, 5,84 cm	0,2162	0,2319	0,2320	0,2300
1 keV, 11,68 cm	0,7951	0,8757	0,8759	0,8648
1 keV, 13, 14 cm	0,6827	0,8111	0,8108	0,7937
40 keV, Mittelpunkt	0,1371	0,1446	0,1445	0,1440
40 keV, 5,84 cm	0,3059	0,3181	0,3181	0,3167
40 keV, 11,68 cm	0,7884	0,8460	0,8461	0,8381
40 keV, 13, 14 cm	0,5725	0,6651	0,6649	0,6524

b) Vergleich der P5-Ergebnisse mit älteren Ergebnissen (Abb. 8-11)

Die Abb. 7 zeigt, daß bei 10 eV die P5-Näherung eine durchweg höhere Empfindlichkeit bringt. Die Werte liegen einwandfrei oberhalb der mit der elementaren Diffusionskategorie errechneten Werte, auch wenn man berücksichtigt, daß diese nicht exakt richtungsunabhängig sind. Dieser Effekt ist wesentlich kleiner für 10 keV. Für ein und vier MeV verschiebt sich das Bild. Die P5-Näherung ändert nichts an den Ergebnissen im Innern der Kugel - d. h. dort reicht die elementare Diffusionstheorie aus. Merkliche Änderungen der Ergebnisse erhält man nur am Rande der Kugel.

Für die richtungsunabhängigen Approximationen sind die Datensätze mit den verbesserten Näherungen erstellt worden. Sie werden in den Tabellen 3.2.2 mitgeteilt.

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHÄNGIGEN EMPFINDLICHKEITEN FUER  
RADIUS = 14.60 CM

ENERGIE:	ABSTAND VOM MITTELPUNKT:						
	SOLL:	MITTE:	0.3550	1.0950	1.8250	2.5550	3.2850
2.50E-02	0.3700	0.0263	0.1060	0.1093	0.1159	0.1264	0.1413
1.00E 00	0.4300	0.0413	0.1666	0.1717	0.1822	0.1986	0.2218
1.00E 01	0.4700	0.0686	0.2764	0.2848	0.3022	0.3294	0.3680
4.00E 01	0.4900	0.0796	0.3208	0.3305	0.3507	0.3823	0.4271
1.00E 02	0.5000	0.0864	0.3431	0.3587	0.3805	0.4148	0.4634
4.00E 02	0.4700	0.0964	0.3386	0.4005	0.4248	0.4631	0.5174
1.00E 03	0.4600	0.1027	0.4137	0.4137	0.4264	0.4524	0.5499
1.60E 03	0.4500	0.1061	0.4275	0.4406	0.4674	0.5088	0.5666
2.50E 03	0.4400	0.1088	0.4334	0.4518	0.4794	0.5225	0.5838
4.00E 03	0.4300	0.1135	0.4575	0.4715	0.5002	0.5453	0.6092
6.30E 03	0.4300	0.1155	0.4656	0.4798	0.5091	0.5549	0.6199
1.00E 04	0.5600	0.1202	0.4845	0.4993	0.5298	0.5775	0.6447
1.60E 04	0.7600	0.1253	0.5052	0.5206	0.5523	0.6021	0.6721
2.50E 04	1.0700	0.1327	0.5346	0.5509	0.5845	0.6356	0.7059
4.00E 04	1.5200	0.1446	0.5328	0.6006	0.6372	0.6938	0.7727
6.30E 04	2.4000	0.1597	0.6436	0.6632	0.7008	0.7574	0.8396
1.00E 05	3.2400	0.1848	0.7449	0.7676	0.8116	0.8774	0.9703
1.60E 05	4.2400	0.2186	0.8809	0.9045	0.9496	1.0201	1.1211
2.50E 05	5.7100	0.2733	1.1015	1.1284	1.1801	1.2659	1.3872
4.00E 05	7.8000	0.3956	1.5940	1.6258	1.6808	1.7700	1.8936
5.00E 05	8.3400	0.4760	1.8850	1.8615	1.8821	1.9573	2.0816
6.30E 05	10.6000	0.4912	1.9797	2.0330	2.1256	2.2436	2.3846
9.00E 05	13.5000	0.7003	2.8221	2.8908	2.9816	3.0729	3.1917
1.00E 06	13.9000	0.7555	3.0286	3.0620	3.1333	3.2376	3.3672
1.30E 06	14.2000	0.9543	3.8116	3.7878	3.7873	3.8522	3.9639
1.60E 06	13.9000	1.0012	3.9909	3.9773	4.0042	4.0675	4.1403
2.00E 06	13.2000	1.1691	4.7106	4.7778	4.8411	4.8751	4.8529
2.50E 06	12.5000	1.2219	4.8878	4.8534	4.7825	4.7360	4.7254
3.00E 06	12.6000	1.2033	4.8154	4.8384	4.8907	4.9289	4.9372
4.00E 06	13.2000	1.2211	4.8533	4.7883	4.7579	4.7745	4.7881
6.30E 06	14.4000	1.1621	4.6690	4.7039	4.7061	4.6747	4.6306
1.00E 07	14.7000	1.0731	4.2968	4.2913	4.2443	4.1814	4.1372
1.60E 07	21.0000	0.8131	3.2360	3.1964	3.1448	3.0891	3.0349
2.50E 07	31.0000	0.4754	1.8886	1.8575	1.8254	1.7983	1.7760
4.00E 07	38.7000	0.2753	1.0956	1.0727	1.0229	0.9599	0.9135
6.30E 07	42.0000	0.1135	0.4572	0.4644	0.4699	0.4718	0.4690
1.00E 08	47.2000	0.0699	0.2815	0.2833	0.2793	0.2750	0.2766
1.60E 08	52.9000	0.0289	0.1165	0.1201	0.1259	0.1302	0.1305

Tabelle 3.2.2

Anmerkung: Die Zahlenangaben außerhalb der Mitte beziehen sich auf  
eine Tetraederanordnung.

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHAENIGEN EMPFINDLICHKEITEN FUER  
RADIUS = 14.60 CM

ENERGIE:	ABSTAND VOM MITTELPUNKT:						
	SOLL :	MITTE :	4.0150	4.7450	5.4750	6.2050	6.9350
2.50E-02	0.3700	0.0263	0.1613	0.1878	0.2221	0.2664	0.3233
1.00E 00	0.4300	0.0413	0.2533	0.2947	0.3484	0.4177	0.5066
1.00E 01	0.4700	0.0686	0.4201	0.4888	0.5779	0.6928	0.8402
4.00E 01	0.4900	0.0796	0.4876	0.5673	0.6704	0.8024	0.9708
1.00E 02	0.5000	0.0964	0.5291	0.6156	0.7277	0.8716	1.0546
4.00E 02	0.4700	0.0964	0.5907	0.6872	0.8122	0.9712	1.1706
1.00E 03	0.4600	0.1077	0.6255	0.7252	0.8549	1.0201	1.2273
1.60E 03	0.4500	0.1061	0.6445	0.7466	0.8782	1.0459	1.2567
2.50E 03	0.4400	0.1088	0.6661	0.7732	0.9097	1.0820	1.2964
4.00E 03	0.4300	0.1135	0.6955	0.8077	0.9503	1.1295	1.3513
6.30E 03	0.4300	0.1155	0.7071	0.8201	0.9643	1.1466	1.3719
1.00E 04	0.5600	0.1202	0.7338	0.8497	0.9984	1.1848	1.4142
1.60E 04	0.7600	0.1253	0.7652	0.8852	1.0369	1.2263	1.4585
2.50E 04	1.0700	0.1327	0.8007	0.9252	1.0838	1.2820	1.5252
4.00E 04	1.5200	0.1446	0.8777	1.0117	1.1794	1.3881	1.6422
6.30E 04	2.4000	0.1597	0.9511	1.0948	1.2753	1.4964	1.7572
1.00E 05	3.2400	0.1848	1.0921	1.2435	1.4312	1.6618	1.9332
1.60E 05	4.2400	0.2136	1.2578	1.4338	1.6499	1.9082	2.2058
2.50E 05	5.7100	0.2733	1.5406	1.7280	1.9511	2.2089	2.4930
4.00E 05	7.8000	0.3956	2.0516	2.2474	2.4746	2.7309	3.0123
5.00E 05	8.3400	0.4760	2.2378	2.4150	2.6218	2.8559	3.1095
6.30E 05	10.6000	0.4912	2.5538	2.7539	2.9825	3.2275	3.4782
9.00E 05	13.5000	0.7003	3.3531	3.5533	3.7734	3.9861	4.1740
1.00E 06	13.9000	0.7555	3.5158	3.6727	3.8285	3.9872	4.1422
1.30E 06	14.2000	0.9543	4.1041	4.2594	4.4198	4.5581	4.6553
1.60E 06	13.9000	1.0012	4.2178	4.3101	4.4173	4.5251	4.6146
2.00E 06	13.2000	1.1591	4.8205	4.8308	4.8738	4.9201	4.9385
2.50E 06	12.5000	1.2219	4.7344	4.7601	4.7876	4.7996	4.7874
3.00E 06	12.6000	1.2733	4.9399	4.9315	4.9061	4.8599	4.7868
4.00E 06	13.2000	1.2211	4.7865	4.7728	4.7322	4.6575	4.5467
6.30E 06	14.4000	1.1621	4.5857	4.5411	4.4750	4.3739	4.2383
1.00E 07	14.7000	1.0731	4.0899	4.0134	3.9002	3.7624	3.6070
1.60E 07	21.0000	0.8131	2.9744	2.9019	2.8175	2.7183	2.6009
2.50E 07	31.0000	0.4754	1.7552	1.7207	1.6704	1.6117	1.5404
4.00E 07	38.7000	0.2753	0.8898	0.8719	0.8476	0.8153	0.7804
6.30E 07	42.0000	0.1135	0.4610	0.4518	0.4398	0.4196	0.3945
1.00E 08	47.2000	0.0699	0.2777	0.2718	0.2596	0.2453	0.2316
1.60E 08	52.9000	0.0289	0.1284	0.1254	0.1227	0.1212	0.1193

Tabelle 3.2.2

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHÄNGIGEN EMPFINDLICHKEITEN FÜR  
RADIUS = 14.60 CM

ABSTAND VOM MITTELPUNKT:

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	7.6650	8.3950	9.1250	9.8550	10.5850
2.50E-02	0.3700	0.0263	0.3962	0.4896	0.6094	0.7633	0.9612
1.00E 00	0.4300	0.0413	0.6205	0.7664	0.9536	1.1938	1.5025
1.00E 01	0.4700	0.0686	1.0285	1.2688	1.5736	1.9538	2.4158
4.00E 01	0.4900	0.0796	1.1847	1.4544	1.7898	2.1974	2.6739
1.00E 02	0.5000	0.0864	1.2851	1.5714	1.9201	2.3330	2.7988
4.00E 02	0.4700	0.0964	1.4182	1.7205	2.0813	2.4962	2.9412
1.00E 03	0.4600	0.1027	1.4841	1.7954	2.1603	2.5679	2.9855
1.60E 03	0.4500	0.1061	1.5130	1.8346	2.2003	2.6015	3.0096
2.50E 03	0.4400	0.1088	1.5600	1.8768	2.2398	2.6304	3.0142
4.00E 03	0.4300	0.1135	1.6202	1.9381	2.2991	2.6819	3.0463
6.30E 03	0.4300	0.1155	1.6441	1.9651	2.3251	2.7072	3.0679
1.00E 04	0.5600	0.1292	1.6892	2.0064	2.3600	2.7291	3.0661
1.60E 04	0.7600	0.1253	1.7325	2.0463	2.3951	2.7530	3.0703
2.50E 04	1.0700	0.1327	1.8114	2.1344	2.4822	2.8271	3.1233
4.00E 04	1.5200	0.1446	1.9377	2.2650	2.6111	2.9460	3.2167
6.30E 04	2.4000	0.1597	2.0525	2.3784	2.7186	3.0358	3.2818
1.00E 05	3.2400	0.1848	2.2391	2.5699	2.9021	3.1969	3.4007
1.60E 05	4.2400	0.2186	2.5276	2.8571	3.1714	3.4284	3.5828
2.50E 05	5.7100	0.2733	2.7932	3.0970	3.3726	3.5772	3.6679
4.00E 05	7.8000	0.3956	3.2966	3.5591	3.7689	3.8919	3.8951
5.00E 05	8.3400	0.4760	3.3664	3.6036	3.7982	3.9090	3.8912
6.30E 05	10.6000	0.4912	3.7212	3.9317	4.0804	4.1312	4.0449
9.00E 05	13.5000	0.7003	4.3225	4.4193	4.4465	4.3799	4.1936
1.00E 06	13.9000	0.7555	4.2723	4.3539	4.3645	4.2836	4.0891
1.30E 06	14.2000	0.9543	4.7142	4.7087	4.6130	4.4303	4.1524
1.60E 06	13.9000	1.0012	4.6639	4.6508	4.5577	4.3706	4.0768
2.00E 06	13.2000	1.1691	4.8987	4.7850	4.6009	4.3454	4.0058
2.50E 06	12.5000	1.2219	4.7321	4.6151	4.4353	4.1818	3.8404
3.00E 06	12.6000	1.2733	4.6839	4.5314	4.3170	4.0429	3.6934
4.00E 06	13.2000	1.2211	4.4013	4.2221	3.9924	3.6969	3.3369
6.30E 06	14.4000	1.1621	4.0677	3.8575	3.6072	3.3130	2.9669
1.00E 07	14.7000	1.0731	3.4259	3.2185	2.9842	2.7163	2.4134
1.60E 07	21.0000	0.8131	2.4642	2.3104	2.1365	1.9386	1.7164
2.50E 07	31.0000	0.4754	1.4558	1.3620	1.2556	1.1359	1.0047
4.00E 07	38.7000	0.2753	0.7463	0.7103	0.6659	0.6093	0.5414
6.30E 07	42.0000	0.1135	0.3705	0.3475	0.3227	0.2941	0.2614
1.00E 08	47.2000	0.0699	0.2171	0.2001	0.1810	0.1611	0.1412
1.60E 08	52.9000	0.0289	0.1147	0.1076	0.0991	0.0899	0.0801

Tabelle 3.2.2

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHÄNGIGEN EMPFINDLICHKEITEN FUER  
RADIUS = 14.60 CM

ABSTAND VOM MITTELPUNKT:

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	11.3150	12.0450	12.7750	13.5050	14.2350
2.50E-02	0.3700	0.0263	1.2161	1.5450	1.9700	2.5206	1.4158
1.00E 00	0.4300	0.0413	1.8972	2.3940	2.9866	3.5289	1.8773
1.00E 01	0.4700	0.0686	2.9475	3.4892	3.8802	3.7375	1.7328
4.00E 01	0.4900	0.0796	3.1876	3.6441	3.8472	3.4590	1.5324
1.00E 02	0.5000	0.0864	3.2743	3.6548	3.7483	3.2629	1.4162
4.00E 02	0.4700	0.0964	3.3533	3.6171	3.5579	2.9586	1.2478
1.00E 03	0.4600	0.1027	3.3473	3.5414	3.4113	2.7820	1.1603
1.60E 03	0.4500	0.1061	3.3545	3.5212	3.3591	2.7054	1.1181
2.50E 03	0.4400	0.1088	3.3261	3.4588	3.2719	2.6178	1.0780
4.00E 03	0.4300	0.1135	3.3227	3.4091	3.1843	2.5214	1.0325
6.30E 03	0.4300	0.1155	3.3362	3.4053	3.1497	2.4655	1.0030
1.00E 04	0.5600	0.1202	3.2988	3.3320	3.0581	2.3837	0.9682
1.60E 04	0.7600	0.1253	3.2783	3.2874	2.9961	2.3166	0.9354
2.50E 04	1.0700	0.1327	3.3012	3.2731	2.9503	2.2599	0.9077
4.00E 04	1.5200	0.1446	3.3563	3.2851	2.9227	2.2143	0.8845
6.30E 04	2.4000	0.1597	3.3898	3.2802	2.8840	2.1629	0.8594
1.00E 05	3.2400	0.1848	3.4520	3.2903	2.8624	2.1332	0.8452
1.60E 05	4.2400	0.2186	3.5862	3.3713	2.8823	2.1082	0.8256
2.50E 05	5.7100	0.2733	3.5988	3.3227	2.8052	2.0346	0.7931
4.00E 05	7.8000	0.3956	3.7353	3.3765	2.8040	2.0125	0.7808
5.00E 05	8.3400	0.4760	3.7103	3.3370	2.7540	1.9634	0.7588
6.30E 05	10.6000	0.4912	3.7927	3.3574	2.7327	1.9266	0.7400
9.00E 05	13.5000	0.7003	3.8530	3.3457	2.6815	1.8658	0.7103
1.00E 06	13.9000	0.7555	3.7556	3.2639	2.6175	1.8282	0.6994
1.30E 06	14.2000	0.9543	3.7554	3.2233	2.5531	1.7585	0.6666
1.60E 06	13.9000	1.0012	3.6646	3.1295	2.4745	1.7049	0.6462
2.00E 06	13.2000	1.1691	3.5707	3.0302	2.3795	1.6275	0.6141
2.50E 06	12.5000	1.2219	3.4790	2.8820	2.2561	1.5396	0.5802
3.00E 06	12.6000	1.2033	3.2521	2.7266	2.1227	1.4415	0.5412
4.00E 06	13.2000	1.2211	2.9146	2.4289	1.8810	1.2762	0.4802
6.30E 06	14.4000	1.1621	2.5685	2.1190	1.6234	1.0920	0.4093
1.00E 07	14.7000	1.0731	2.0793	1.7140	1.3161	0.8860	0.3315
1.60E 07	21.0000	0.8131	1.4704	1.2033	0.9190	0.6180	0.2316
2.50E 07	31.0000	0.4754	0.8614	0.7059	0.5385	0.3612	0.1351
4.00E 07	38.7000	0.2753	0.4637	0.3784	0.2875	0.1921	0.0718
6.30E 07	42.0000	0.1135	0.2247	0.1839	0.1395	0.0926	0.0343
1.00E 08	47.2000	0.0699	0.1207	0.0986	0.0752	0.0505	0.0189
1.60E 08	52.0000	0.0289	0.0694	0.0576	0.0444	0.0299	0.0112

Tabelle 3.2.2

ANFELISTUNG DER RICHTUNGUNABHÄNGIGEN EMPFINDLICHKEITEN FÜR  
RADIUS = 7.35 CM

ABSTAND VOM MITTELPUNKT:

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	0.1587	0.4762	0.7937	1.1112	1.4287
2.50E-02	0.3700	0.3550	1.4220	1.4302	1.4466	1.4715	1.5051
1.00E 00	0.4300	0.5393	2.1603	2.1726	2.1975	2.2350	2.2844
1.00E 01	0.4700	0.9665	3.8716	3.8716	3.8930	3.9851	4.0548
1.00E 02	0.5000	1.1917	4.7736	4.7999	4.8477	4.9030	4.9561
4.00E 02	0.4700	1.2409	4.9705	4.9966	5.0361	5.0716	5.1021
1.00E 03	0.4600	1.2121	4.8552	4.8821	4.9319	5.0003	5.0731
4.00E 03	0.4300	1.3376	5.5551	5.5552	5.5457	5.5359	5.5182
1.00E 04	0.5600	1.3304	5.3286	5.3546	5.3816	5.3829	5.3661
4.00E 04	1.5200	1.4940	5.9790	5.9639	5.9056	5.8209	5.7451
1.00E 05	3.2400	1.7003	6.7479	6.6431	6.5503	6.4507	6.3204
4.00E 05	7.8000	1.7353	6.9444	6.9222	6.8696	6.7970	6.6693
1.00E 06	13.9000	1.4829	5.9318	5.8909	5.7600	5.5783	5.4004
2.50E 06	12.5000	1.0091	4.0367	4.0096	3.9202	3.7977	3.6822
4.00E 06	13.2000	0.7332	2.9347	2.9324	2.9042	2.8375	2.7355
6.30E 06	14.4000	0.5217	2.0868	2.0686	2.0309	1.9930	1.9545
1.00E 07	14.7000	0.3372	1.3490	1.3412	1.3224	1.2955	1.2603
4.00E 07	38.7000	0.0592	0.2358	0.2225	0.1978	0.1762	0.1622
1.00E 08	47.2000	0.0086	0.0344	0.0346	0.0350	0.0355	0.0362
ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	1.7462	2.0637	2.3812	2.6987	3.0162
2.50E-02	0.3700	0.3550	1.5477	1.5997	1.6618	1.7346	1.8188
1.00E 00	0.4300	0.5393	2.3458	2.4218	2.5135	2.6215	2.7455
1.00E 01	0.4700	0.9665	4.1458	4.2582	4.3875	4.5259	4.6687
1.00E 02	0.5000	1.1917	5.0177	5.0939	5.1732	5.2496	5.3208
4.00E 02	0.4700	1.2409	5.1387	5.1923	5.2599	5.3225	5.3600
1.00E 03	0.4600	1.2121	5.1378	5.1960	5.2429	5.2702	5.2701
4.00E 03	0.4300	1.3376	5.4912	5.4607	5.4181	5.3481	5.2458
1.00E 04	0.5600	1.3304	5.3404	5.3065	5.2606	5.1868	5.0759
4.00E 04	1.5200	1.4940	5.6799	5.5991	5.4892	5.3426	5.1646
1.00E 05	3.2400	1.7003	6.1603	5.9724	5.7659	5.5414	5.2939
4.00E 05	7.8000	1.7353	6.4754	6.2322	5.9480	5.6310	5.2931
1.00E 06	13.9000	1.4829	5.2221	5.0272	4.8118	4.5703	4.3001
2.50E 06	12.5000	1.0091	3.5669	3.4362	3.2847	3.1135	2.9268
4.00E 06	13.2000	0.7332	2.6090	2.4755	2.3414	2.2025	2.0577
6.30E 06	14.4000	0.5217	1.9112	1.8549	1.7746	1.6715	1.5551
1.00E 07	14.7000	0.3372	1.2207	1.1739	1.1186	1.0576	0.9915
4.00E 07	38.7000	0.0592	0.1549	0.1509	0.1473	0.1422	0.1347
1.00E 08	47.2000	0.0086	0.0353	0.0318	0.0276	0.0244	0.0223

Tabelle 3.2.2

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHAENIGEN EMPFINDLICHKEITEN FUER  
 RADIUS = 6.35 CM

ABSTAND VOM MITTELPUNKT:

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	3.3337	3.6512	3.9687	4.2862	4.6037
2.50E-02	0.3700	0.3550	1.9154	2.0253	2.1498	2.2902	2.4479
1.00E 00	0.4300	0.5393	2.8860	3.0444	3.2201	3.4099	3.6066
1.00E 01	0.4700	0.9665	4.8138	4.9505	5.0622	5.1269	5.1109
1.00E 02	0.5000	1.1917	5.3707	5.3773	5.3240	5.1980	4.9784
4.00E 02	0.4700	1.2409	5.3598	5.3077	5.1850	4.9833	4.6899
1.00E 03	0.4600	1.2121	5.2296	5.1295	4.9580	4.7149	4.3883
4.00E 03	0.4300	1.3876	5.1172	4.9557	4.7439	4.4634	4.1030
1.00E 04	0.5600	1.3304	4.9310	4.7479	4.5109	4.2134	3.8538
4.00E 04	1.5200	1.4940	4.9584	4.7144	4.4224	4.0786	3.6819
1.00E 05	3.2400	1.7003	5.0187	4.7066	4.3541	3.9658	3.5388
4.00E 05	7.8000	1.7353	4.9356	4.5567	4.1574	3.7364	3.2900
1.00E 06	13.9000	1.4829	4.0045	3.6827	3.3384	2.9814	2.6129
2.50E 06	12.5000	1.0091	2.7271	2.5141	2.2866	2.0454	1.7929
4.00E 06	13.2000	0.7332	1.9050	1.7428	1.5717	1.3949	1.2156
6.30E 06	14.4000	0.5217	1.4324	1.3081	1.1837	1.0557	0.9224
1.00E 07	14.7000	0.3372	0.9189	0.8417	0.7634	0.6823	0.5954
4.00E 07	38.7000	0.0592	0.1258	0.1159	0.1046	0.0929	0.0808
1.00E 08	47.2000	0.0086	0.0207	0.0190	0.0168	0.0146	0.0127
ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	4.9212	5.2387	5.5562	5.8737	6.1912
2.50E-02	0.3700	0.3550	2.6249	2.8231	3.0453	3.2969	1.7154
1.00E 00	0.4300	0.5393	3.7922	3.9281	3.9337	3.5938	1.6487
1.00E 01	0.4700	0.9665	4.9716	4.6587	4.1100	3.2229	1.3390
1.00E 02	0.5000	1.1917	4.6311	4.1294	3.4575	2.5757	1.0374
4.00E 02	0.4700	1.2409	4.2795	3.7419	3.0755	2.2538	0.8992
1.00E 03	0.4600	1.2121	3.9632	3.4350	2.7981	2.0352	0.8093
4.00E 03	0.4300	1.3876	3.6603	3.1343	2.5237	1.8156	0.7170
1.00E 04	0.5600	1.3304	3.4242	2.9204	2.3431	1.6799	0.6618
4.00E 04	1.5200	1.4940	3.2290	2.7202	2.1590	1.5354	0.6025
1.00E 05	3.2400	1.7003	3.0657	2.5515	2.0029	1.4092	0.5492
4.00E 05	7.8000	1.7353	2.8202	2.3315	1.8224	1.2797	0.4986
1.00E 06	13.9000	1.4829	2.2298	1.8288	1.4161	0.9867	0.3832
2.50E 06	12.5000	1.0091	1.5306	1.2593	0.9762	0.6914	0.2650
4.00E 06	13.2000	0.7332	1.0322	0.8438	0.6529	0.4562	0.1776
6.30E 06	14.4000	0.5217	0.7358	0.6479	0.5056	0.3538	0.1375
1.00E 07	14.7000	0.3372	0.5047	0.4128	0.3190	0.2219	0.0861
4.00E 07	38.7000	0.0592	0.0682	0.0557	0.0433	0.0303	0.0118
1.00E 08	47.2000	0.0086	0.0110	0.0093	0.0077	0.0058	0.0023

Tabelle 3.2.2

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHÄNGIGEN EMPFINDLICHKEITEN FUER  
RADIUS = 8.89 CM

ABSTAND VOM MITTELPUNKT:

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	0.2222	0.6667	1.1112	1.5557	2.0002
2.50E-02	0.3700	0.1705	0.6839	0.6916	0.7072	0.7310	0.7635
1.00E 00	0.4300	0.2612	1.0476	1.0594	1.0832	1.1195	1.1691
1.00E 01	0.4700	0.4511	1.6095	1.8298	1.8709	1.9337	2.0193
1.00E 02	0.5000	0.5729	2.2981	2.3240	2.3762	2.4557	2.5610
4.00E 02	0.4700	0.6261	2.5115	2.5397	2.5967	2.6807	2.7882
1.00E 03	0.4600	0.6914	2.7333	2.7637	2.8200	2.8977	2.9992
4.00E 03	0.4300	0.7093	2.8452	2.8771	2.9414	3.0340	3.1455
1.00E 04	0.5600	0.7573	3.0376	3.0714	3.1346	3.2227	3.3369
4.00E 04	1.5200	0.9224	3.6966	3.6793	3.6415	3.6481	3.7047
1.00E 05	3.2400	1.1023	4.3587	4.3000	4.3132	4.3541	4.4047
4.00E 05	7.8000	1.5895	6.3713	6.3659	6.2998	6.2073	6.1299
1.00E 06	13.9000	1.7882	7.1338	7.0267	6.8602	6.7150	6.5767
2.50E 06	12.5000	1.5449	6.0675	5.8488	5.7000	5.6193	5.5159
4.00E 06	13.2000	1.2717	5.0955	5.0612	4.9401	4.7847	4.6447
6.30E 06	14.4000	1.1000	4.3468	4.2430	4.1537	4.0576	3.9308
1.00E 07	14.7000	0.7168	2.8726	2.8590	2.8054	2.7314	2.6441
4.00E 07	38.7000	0.0923	0.3704	0.3744	0.3825	0.3867	0.3821
1.00E 08	47.2000	0.0221	0.0986	0.0896	0.0916	0.0947	0.0989

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	2.4447	2.8892	3.3337	3.7782	4.2227
2.50E-02	0.3700	0.1705	0.8053	0.8574	0.9207	0.9966	1.0868
1.00E 00	0.4300	0.2612	1.2329	1.3123	1.4090	1.5248	1.6623
1.00E 01	0.4700	0.4511	2.1295	2.2659	2.4283	2.6185	2.8417
1.00E 02	0.5000	0.5729	2.6907	2.8478	3.0318	3.2390	3.4707
4.00E 02	0.4700	0.6261	2.9207	3.0798	3.2614	3.4645	3.6829
1.00E 03	0.4600	0.6814	3.1191	3.2533	3.4117	3.5948	3.7901
4.00E 03	0.4300	0.7093	3.2657	3.3970	3.5438	3.6946	3.8430
1.00E 04	0.5600	0.7573	3.4720	3.6084	3.7433	3.8860	4.0233
4.00E 04	1.5200	0.9224	3.7919	3.9029	4.0190	4.1228	4.2094
1.00E 05	3.2400	1.1023	4.4708	4.5339	4.5854	4.6240	4.6374
4.00E 05	7.8000	1.5895	6.0548	5.9623	5.8616	5.7479	5.6060
1.00E 06	13.9000	1.7882	6.4360	6.2873	6.1128	5.9099	5.6694
2.50E 06	12.5000	1.5449	5.3734	5.2060	5.0094	4.7863	4.5438
4.00E 06	13.2000	1.2717	4.5208	4.3814	4.2079	4.0024	3.7699
6.30E 06	14.4000	1.1000	3.7909	3.6390	3.4644	3.2763	3.0823
1.00E 07	14.7000	0.7168	2.5443	2.4395	2.3357	2.2283	2.1065
4.00E 07	38.7000	0.0923	0.3774	0.3753	0.3699	0.3594	0.3433
1.00E 08	47.2000	0.0221	0.1031	0.1070	0.1103	0.1097	0.1029

Tabelle 3.2.2

AUFLISTUNG DER RICHTUNGSUNABHÄNGIGEN EMPFINDLICHKEITEN FUER  
RADIUS = 8.89 CM

ABSTAND VOM MITTELPUNKT:

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	4.6672	5.1117	5.5562	6.0007	6.4452
2.50E-02	0.3700	0.1705	1.1930	1.3177	1.4635	1.6335	1.8316
1.00E 00	0.4300	0.2612	1.8244	2.0142	2.2349	2.4893	2.7801
1.00E 01	0.4700	0.4511	3.0275	3.3808	3.6867	3.9944	4.2694
1.00E 02	0.5000	0.5729	3.7215	3.9748	4.2084	4.3895	4.4845
4.00E 02	0.4700	0.6261	3.9274	4.1242	4.3076	4.4276	4.4475
1.00E 03	0.4600	0.6814	3.9767	4.1328	4.2429	4.2891	4.2395
4.00E 03	0.4300	0.7093	3.9776	4.0776	4.1368	4.1402	4.0493
1.00E 04	0.5600	0.7573	4.1360	4.2087	4.2245	4.1617	3.9985
4.00E 04	1.5200	0.9224	4.2696	4.2886	4.2459	4.1158	3.8797
1.00E 05	3.2400	1.1023	4.6151	4.5437	4.3995	4.1736	3.8677
4.00E 05	7.4000	1.5895	5.4154	5.1641	4.8578	4.4890	4.0489
1.00E 06	13.2000	1.7982	5.3768	5.0344	4.6462	4.2126	3.7359
2.50E 06	12.5000	1.5449	4.2718	3.9555	3.5985	3.2130	2.8062
4.00E 06	13.2000	1.2717	3.5115	3.2271	2.9206	2.5973	2.2604
6.30E 06	14.4000	1.1000	2.8745	2.6488	2.4036	2.1376	1.8561
1.00E 07	14.7000	0.7168	1.9732	1.8302	1.6705	1.4926	1.3002
4.00E 07	38.7000	0.0223	0.3219	0.2968	0.2712	0.2459	0.2179
1.00E 08	47.2000	0.0221	0.0223	0.0805	0.0691	0.0591	0.0505

ENERGIE:	SOLL:	MITTE:	6.8897	7.3342	7.7787	8.2232	8.6677
2.50E-02	0.3700	0.1705	2.0622	2.3304	2.6426	3.0083	1.6030
1.00E 00	0.4300	0.2612	3.1056	3.4418	3.7139	3.6921	1.7820
1.00E 01	0.4700	0.4511	4.4661	4.5014	4.2464	3.5209	1.5071
1.00E 02	0.5000	0.5729	4.4505	4.2173	3.7114	2.8616	1.1704
4.00E 02	0.4700	0.6261	4.3187	3.9890	3.4176	2.5678	1.0339
1.00E 03	0.4600	0.6814	4.0536	3.6965	3.1360	2.3388	0.9383
4.00E 03	0.4300	0.7093	3.8223	3.4327	2.8648	2.1016	0.8344
1.00E 04	0.5600	0.7573	3.7145	3.2908	2.7157	1.9765	0.7818
4.00E 04	1.5200	0.9224	3.5332	3.0723	2.4890	1.7803	0.6972
1.00E 05	3.2400	1.1023	3.4757	2.9908	2.4057	1.7089	0.6654
4.00E 05	7.4000	1.5435	3.5406	2.9689	2.3369	1.6352	0.6323
1.00E 06	13.2000	1.7882	3.2164	2.6545	2.0560	1.4208	0.5464
2.50E 06	12.5000	1.5449	2.3847	1.9504	1.5037	1.0379	0.3990
4.00E 06	13.2000	1.2717	1.9117	1.5559	1.1939	0.8189	0.3136
6.30E 06	14.4000	1.1000	1.5661	1.2722	0.9747	0.6683	0.2560
1.00E 07	14.7000	0.7168	1.0988	0.8928	0.6821	0.4655	0.1777
4.00E 07	38.7000	0.0223	0.1869	0.1531	0.1163	0.0780	0.0293
1.00E 08	47.2000	0.0221	0.0425	0.0345	0.0265	0.0181	0.0069

Tabelle 3.2.2

### 3.2.3 Richtungsunabhängigkeit

Für die praktische Dosimetrie ist ein richtungsunabhängiges Dosimeter von großer Wichtigkeit. Deshalb wurde zunächst untersucht, ob sich Konfigurationen von Aufpunkten in der Kugel finden lassen, deren Summe der Empfindlichkeiten einigermaßen richtungsunabhängig sind.

Als einfachste geometrische Figur bietet sich ein in die Kugel eingeschriebener regulärer Tetraeder an. Als Meßpunkte werden seine vier Eckpunkte gewählt. Für die Berechnung der Empfindlichkeit dieser vier Eckpunkte ist ihr geometrischer Ort in der Ebene  $\varphi = 0$  maßgebend.

Die Prüfung erfolgt statistisch mit einer Monte-Carlo-Methode. Auf einen vorgegebenen Tetraeder wird eine beliebige Raumdrehung angewandt, die Eckpunkte werden auf die Ebene  $\varphi = 0$  projiziert, die Werte aus den vorhandenen interpoliert und addiert. Aus einer Menge von 500 solcher Versuche wird der Mittelwert und die statistische Abweichung vom Mittelwert errechnet.

Einige Rechenwerte sind:

11,5"-Kugel, Energie 500 keV, Radius = 5,475 cm

$$\sigma_m = 3,88 \pm 0,151$$

bzw. Radius = 12,78 cm

$$\sigma_m = 4,02 \pm 0,180$$

D. h. die Werte an den vier Eckpunkten eines Tetraeders sind auf 5 % richtungsunabhängig.

Zunächst werden vier Einheitsvektoren angegeben, die einen Tetraeder in der Einheitskugel beschreiben.

$$\begin{array}{l} x = \sin \varphi \cos \delta = \\ y = \sin \varphi \sin \delta = \\ z = \cos \varphi \end{array} = \begin{array}{cccc} \frac{1}{2} & \frac{2}{\sqrt{6}} & 3 & 4 \\ \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 & 0 \\ \sqrt{\frac{2}{6}} & \sqrt{\frac{2}{6}} & -\sqrt{\frac{2}{6}} & -\sqrt{\frac{2}{6}} \\ 0 & 0 & \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \end{array}$$

Man überzeugt sich leicht, daß es Einheitsvektoren sind, und daß das Skalarprodukt je zweier Vektoren gleich  $-\frac{1}{3}$  ist. Dies muß aber so sein, da die Kantenlänge des in die Einheitskugel eingeschriebenen Tetraeders  $a = \frac{4}{\sqrt{6}}$  beträgt und der Cosinus je zweier Radien zu den Eckpunkten des Tetraeders gleich  $\frac{a^2 - 2R^2}{2R^2} = -\frac{1}{3}$  ist.

Auf diesen speziellen Tetraeder wird nun eine beliebige Raumdrehung angewandt. Das Programm wird mitgeteilt. Die Abweichung von der Richtungsunabhängigkeit wurde eingehend untersucht, nicht nur für ausgewählte Energien bzw. Kugelradien, sondern für das gesamte Datenmaterial für die 11,5"-Kugel. Eine Übersicht über die Ergebnisse zeigen Abb. 8 - 11.

Natürlich sind die Wertesummen in der Nähe des Mittelpunktes richtungsunabhängig. Am Rand erreicht die Richtungsabhängigkeit im ungünstigsten Falle bis 10 % für niederenergetische Neutronen, nimmt jedoch für höhere Energien ab. Bei 4 MeV beträgt die Richtungsabhängigkeit im ungünstigsten Falle bis 5 %. Die mittlere Richtungsabhängigkeit beträgt jedoch nur 5 % bei 10 MeV und 2 % bei 4 MeV. Für die Richtungsunabhängigkeit des endgültigen Dosimeters ist noch der Summenterm des Mittelpunktes zu berücksichtigen, der die Richtungsabhängigkeit erniedrigt.

Zu den Kurven Abb. 8 - 11 sind auch die Ergebnisse der P5-Näherung aus 3.2.2 eingetragen. Diese Werte liegen z. T. außerhalb der statistischen Werte. Das liegt daran, daß die richtungsabhängigen Werte, aus denen diese bestimmt worden sind, selbst nur einer P1-Näherung entsprechen. Im folgenden wird mit den Ergebnissen mit der P5-Näherung weitergerechnet, im Vertrauen darauf, daß die statistische Untersuchung aus den richtungsabhängigen Ergebnissen die Richtungsunabhängigkeit innerhalb der angegebenen Fehlergrenzen gewährleisten. Die P5-Ergebnisse liefern aber auf jeden Fall in ihrer Art verlässlichere Werte.

### 3.2.4 Neutronenspektrum in der Kugel

Um die Güte der Anpassung Monte-Carlo-Rechnung, Diffusionsrechnung beurteilen zu können, wurden für einige Fälle die Neutronenspektren an verschiedenen Stellen in der Kugel errechnet.

Um das epithermische Spektrum zu ermitteln, wurden in einem besonderen Lauf des Monte-Carlo-Programms die Neutronen gezählt, die jeweils die Kugelschalen mit dem Radius  $r$  passieren. Wenn man ein  $1/E$  Spektrum erwartet, müßten die Zählraten für die logarithmisch eingeteilten Energieintervalle konstant sein. Wirklich zeigen das die Ergebnisse (Tabelle 3.2.4). Für kleine Radien ist die Statistik zu schlecht. Für mittlere Radien ist die Zählrate annähernd konstant, mit einer leichten Verzerrung in den obersten Energieintervallen. Hier werden Neutronen mitgezählt, die infolge ihrer hohen Energie mit hoher Wahrscheinlichkeit die Kugel nach wenigen Streuungen verlassen können. Am Rande ist das  $1/E$  Spektrum nicht mehr vorhanden. Das Spektrum wird durch Streuungen aus der Kugel hinaus, die für höhere Energien wahrscheinlicher wird, verzerrt. In den Abbildungen (10 - 12) werden drei Spektren gezeigt. Aufgetragen sind die Werte

$$g = \frac{\text{Zahlenwert} \cdot \pi \cdot RA^2}{0,46 \cdot 4 \pi r^2 \cdot 10000}$$

mit dem Zahlenwert aus Tabelle 3.2.4.

Hierin ist:

RA = 14,6 cm der Radius der Kugel  
r, der Radius, an welchem gezählt wird

Die Zahl 0,46 ergibt sich aus der logarithmischen Energieeinteilung, 10000 ist die Anzahl der Schicksale. Das Ergebnis ist somit in Neutronen pro Energieintervall (MeV) und Fläche ( $\text{cm}^2$ ) pro einfallende Neutronenflußdichte angegeben.

Zum Vergleich ist in den Abbildungen 10 - 12 das Maxwellspektrum eingezeichnet, welches sich aus den Ergebnissen der Diffusionsrechnung 3.2.2 ergibt. Aufgetragen ist

$$\varphi = \frac{\text{Rechenwert}}{4} \cdot \frac{E}{(0,0253)^2} \cdot e^{-\frac{E}{0,0253}}$$

worin Rechenwert die Neutronenempfindlichkeit aus 3.2.2 ist. Es ist die Energie in eV. Der Vergleich der Spektren mit solchen, die in der Literatur angegeben sind, zeigt, daß sie mit dem übereinstimmen, was vernünftiger Weise zu erwarten war.

#### 5 Die Empfindlichkeit der Moderatorokugel gegenüber Nadelstrahlen.

Alle errechneten Empfindlichkeitswerte beziehen sich auf homogene Neutronenfelder. Interessant ist deshalb die Frage, in wie weit die Meßergebnisse verfälscht werden können, wenn extrem inhomogene Neutronenfelder ausgemessen werden sollen. Aus der Natur der Meßanordnung folgt ja sofort, daß die Ergebnisse nur richtig sein können, wenn das volle Volumen der Kugel zur Neutronenmoderation verwendet wird.

Abb. 13 zeigt einige Rechenergebnisse für Nadelstrahlen. Es wird die Empfindlichkeit der 11,5"-Kugel für 1 MeV Neutronenstrahlung untersucht. Zunächst ist der Wert für homogenen Neutroneneinfall angegeben. Dann wurde mit verschiedenen Nadelstrahlen gerechnet, die im Abstand  $\rho$  am Mittelpunkt vorbei laufen. Nadelstrahlen, die ins Zentrum der Kugel strahlen, erzeugen eine wesentlich höhere Empfindlichkeit. Je weiter sie nach außen liegen, desto größer ist ihre Wahrscheinlichkeit, daß sie nach außen weggestreut werden, desto kleiner ihre Wahrscheinlichkeit, daß sie ins Zentrum hineingestreut werden. Schließlich ergibt die Summe dieser Empfindlichkeiten die Empfindlichkeit für den homogenen Einfall.

Tabelle 3.2.4

Einige Zählraten der Neutronen, die die Kugelschalen mit dem Radius r im Energieintervall um E passieren.

Radius (cm) r:

Energie E	4,0	4,7	5,5	6,2	6,9	7,7	8,4	9,1	9,9	10,6	11,3	12,0	12,8	13,5	14,2
1 eV	3	3	3	7	15	23	24	24	27	41	37	57	51	47	30
1,6	5	11	11	22	28	35	47	61	69	93	106	117	109	94	73
2,5	5	10	17	24	18	49	54	73	76	98	111	127	118	99	84
4,0	6	7	15	20	27	21	66	80	95	89	102	122	122	112	76
6,3	2	10	11	26	22	39	49	52	79	104	127	113	132	113	84
10,0	6	11	13	18	20	43	49	79	79	92	96	124	112	118	85
16,0	4	8	12	18	29	28	33	65	79	126	133	129	118	124	82
25,0	6	9	10	28	27	25	56	63	92	109	136	123	123	124	84
40,0	4	6	10	13	25	37	43	73	92	101	111	136	151	103	83
63,0	3	11	12	21	26	37	44	74	79	104	116	171	152	149	92
100 eV	11	12	12	20	26	33	46	53	81	93	116	153	154	140	120
160	7	8	17	20	28	26	51	91	94	92	125	115	138	121	117
250	4	8	8	21	28	39	39	61	99	98	141	130	145	141	102
400	5	9	10	21	24	35	42	68	81	103	142	149	139	138	117
630	5	9	6	22	32	42	37	51	81	98	129	154	153	176	135
1 keV	8	7	13	12	27	35	52	74	101	113	120	139	156	161	116
1,6	1	7	9	19	27	38	52	80	84	101	153	155	183	183	126
2,5	5	7	12	17	30	39	40	67	88	110	135	182	194	153	141
4,0	7	10	10	10	25	34	54	67	78	130	103	149	185	168	148
6,3	3	9	6	16	19	34	54	62	101	116	162	170	186	208	124
10	5	4	10	21	24	37	48	62	92	115	132	187	183	181	176
16	5	7	13	13	19	29	42	60	101	117	149	181	214	208	184
25	3	8	12	24	32	41	57	82	87	128	163	210	218	235	211
40	3	5	20	19	32	47	49	76	76	131	187	198	232	230	200
63	8	10	16	20	39	46	46	74	113	140	185	231	303	305	239
100	9	10	25	28	40	55	65	114	138	173	226	273	343	364	291
160	12	14	25	29	40	48	74	101	158	221	279	314	399	448	375
250	10	18	25	40	52	80	95	127	187	257	317	388	494	531	470
400	12	24	29	53	73	102	128	177	236	315	434	548	659	708	622
630	11	18	49	69	94	131	193	277	332	450	595	803	981	1137	1020
1 MeV	58	112	179	303	474	688	1019	1422	1967	2576	3430	4296	5112	5824	5884

3.2

3.2

Dies Ergebnis zeigt, wie wichtig es ist, dafür zu sorgen, daß bei der Messung das ganze Moderatorvolumen ausgeleuchtet wird. Dies ist vor allem bei Messungen bei ausgeblendeten Neutronenstrahlen, z. B. bei Reaktorexperimente zu beachten.

## 2.6 Vergleich der berechneten Empfindlichkeiten mit Ergebnissen anderer Autoren

Die von uns berechneten Ergebnisse für den Mittelpunkt lassen sich mit denen von Hansen und Sandmeier bzw. von Bramblett vergleichen. Die Vergleiche sind in den Abbildungen 14 bis 16 aufgetragen. Es wurde jeweils auf das Maximum der Kurven im Bereich um 1 MeV normiert.

Allgemein ist zu bemerken, daß unsere Kurven im Energiebereich unter  $10^4$  eV relativ unter denen von Hansen und Sandmeier liegen, deren Form jedoch gut wiedergeben. Dies fällt besonders bei den Kurven für die 11,5-Zoll Kugel auf. Die Kurven von Bramblett weichen stark ab, vor allem in der Form. Bei der 5"Kugel deutet die Kurve von Hansen und Sandmeier ein breites Plateau von 1 bis  $10^6$  eV an. Die Kurve von Bramblett deutet kein solches Plateau an.

Da die Rechenmethode von Hansen und Sandmeier im einzelnen nicht bekannt ist, läßt sich die Differenz im Vergleich nicht genau erklären. In unseren Rechnungen wurde gezeigt, daß der Einfluß der höheren Näherungen auf kleine Energien beschränkt bleibt. (So schneiden sich zum Beispiel für die 11,5 Zoll-Kugel die Werte bei thermischen Energien.) Es bleibt die Frage offen, ob Hansen und Sandmeier Näherungen im niederenergetischen Bereich zu pauschal angesetzt haben.

## 3 Die Approximationsrechnung

Es wurde zunächst versucht, die Approximationsaufgabe, d.i. die Darstellung der Energieabhängigkeit durch Auswahl von

Stellen der Kugel sowie Gewichtsfaktoren zu finden, mit bereits erstellten Programmen zu lösen. An sich sind derartige Probleme altbekannt, und es existiert eine große Anzahl guter Programme, die sie lösen, z. B. (22). Für die Approximation der richtungsunabhängigen Neutronenfeldgrößen mit wenigen Meßaufpunkten wird eine solche Approximationsmethode benutzt (s. 3.3.4).

Für eine größere Zahl von Meßaufpunkten sind jedoch vom physikalischen Standpunkt die so gefundenen Lösungen schlecht. Das äußert sich darin, daß als Faktoren sehr große Zahlen mit wechselndem Vorzeichen errechnet werden. Die Energieabhängigkeit wird somit als die kleine Differenz großer Zahlen dargestellt. Auch ist es ungünstig, wenn schwach empfindliche Stellen mit einem allzu großen Faktor multipliziert werden. Beide Effekte bewirken, daß bei der eigentlichen Messung die Meßfehler zu stark ins Endergebnis eingehen. Mit anderen Worten: Die Approximation sollte auf jeden Fall die Fehlerfortpflanzung der Meßergebnisse berücksichtigen, d.h. minimalisieren.

Ein Beispiel zeigt Tabelle 3.3.0. Es wurde nach der Methode der kleinsten Quadrate gerechnet (22). Die Energiewerte über 10 MeV wurden weggelassen, um zunächst im unteren Energiebereich eine Approximation zu erhalten. Es wurde mit zehn Kugelstellen gerechnet. Die errechnete Approximation ist gar nicht schlecht. Charakteristisch - auch für alle Rechnungen dieser Art - sind die großen Gewichte mit alternierenden Vorzeichen. Das würde in der Praxis bedeuten, daß der zu bestimmende Meßwert als kleine Differenz großer Zahlen darzustellen ist. Die Meßfehler würden den so errechneten Wert bedeutungslos machen.

Ein weiteres Problem stellt das Finden der geeigneten Stellen dar. Will man etwa aus den 401 errechneten Stellen die 5 besten aussuchen, so hat man  $\binom{401}{5} \sim 10^{11}$  Möglichkeiten. Auch wenn die Maschine pro Test nur Millisekunden braucht, ist eine solche Rechnung praktisch nicht durchführbar. Andererseits wäre dies aber auch unnötig, da benachbarte Kurven sich

Beispiel einer Approximation mit kleinsten Fehlerquadraten

N = 28      K = 10      P = 0      M = 10  
 FF = 0.400E 01      I = 0.200E 01      E = 0.500E-04      TAU = 0.100E-02  
 Parameters    -0.21724106E 02      0.83255295E 02      -0.27818823E 03      0.51543945E 02      0.23487956E 03  
                   -0.42167896E 03      0.44165015E 03      -0.52677017E 02      0.18153020E 03      -0.21702446E 03

OBS	PRED	DIFF	Energie	
0.46999997E 00	0.92187500E 00	-0.45187503E 00	0.10000000E 02	0.47211997E-01
0.48999995E 00	0.91653442E 00	-0.42653447E 00	0.40000000E 02	0.58794998E-01
0.50000000E 00	0.98745728E 00	-0.48745728E 00	0.10000000E 03	0.63983977E-01
0.46999997E 00	0.89221191E 00	-0.42221195E 00	0.40000000E 03	0.74881971E-01
0.45999998E 00	0.10420227E 01	-0.58202273E 00	0.10000000E 04	0.79297960E-01
0.44999999E 00	0.10759583E 01	-0.62595826E 00	0.16000000E 04	0.84230959E-01
0.44000000E 00	0.10962524E 01	-0.65625244E 00	0.25000000E 04	0.86445987E-01
0.42999995E 00	0.16393890E 01	-0.12093887E 01	0.40000000E 04	0.88865995E-01
0.42999995E 00	0.11493835E 01	-0.71938360E 00	0.63000000E 04	0.92628956E-01
0.55999994E 00	0.10688782E 01	-0.50887823E 00	0.10000000E 05	0.95035970E-01
0.75999999E 00	0.10296936E 01	-0.26969361E 00	0.16000000E 05	0.10220098E 00
0.10699997E 01	0.11665039E 01	-0.96504211E-01	0.25000000E 05	0.10882598E 00
0.15199995E 01	0.19941711E 01	-0.47417164E 00	0.40000000E 05	0.11570799E 00
0.23999996E 01	0.12908325E 01	0.11091671E 01	0.63000000E 05	0.13369697E 00
0.32399998E 01	0.30295868E 01	0.21041298E 00	0.10000000E 06	0.15014899E 00
0.42399998E 01	0.24257355E 01	0.18142643E 01	0.16000000E 06	0.18113697E 00
0.57099991E 01	0.49478607E 01	0.76213837E 00	0.25000000E 06	0.22797400E 00
0.77999992E 01	0.81489105E 01	-0.34891129E 00	0.40000000E 06	0.33987296E 00
0.83399992E 01	0.79257812E 01	0.41421795E 00	0.50000000E 06	0.38241297E 00
0.10599999E 02	0.11012451E 02	-0.41245174E 00	0.63000000E 06	0.42524195E 00
0.13500000E 02	0.12526123E 02	0.97387695E 00	0.90000000E 06	0.61743999E 00
0.13900000E 02	0.13795410E 02	0.10458946E 00	0.10000000E 07	0.66263497E 00
0.14200000E 02	0.14897461E 02	-0.69746118E 00	0.13000000E 07	0.84340996E 00
0.13900000E 02	0.13815186E 02	0.84814072E-01	0.16000000E 07	0.88028300E 00
0.12500000E 02	0.12529297E 02	-0.29296875E-01	0.25000000E 07	0.10910158E 01
0.13200000E 02	0.13067139E 02	0.13286114E 00	0.40000000E 07	0.11176138E 01
0.14400000E 02	0.15343506E 02	-0.94350624E 00	0.63000000E 07	0.11219168E 01
0.14700000E 02	0.13913773E 02	0.78622723E 00	0.10000000E 08	0.10422239E 01

PHI	S E	LAMBDA	Analytic	Partials	USED
0.13099463E 02	0.85308146E 00	0.100E 01			

hinreichend ähnlich sind. Die volle Rechnung wäre somit nur Zeitverschwendung. Zwei Möglichkeiten wurden vom Verfasser erwogen, das Problem mit vernünftigem Aufwand zu lösen:

A 1. Methode

Ein iteratives Verfahren. Die Sollkurve wird zunächst durch nur eine Kurve approximiert. Der verbleibende Fehler wird anschließend neun mal durch eine weitere Kurve ausgeglichen. Dabei wird die oben erwähnte Fehlerfortpflanzung berücksichtigt. Bei diesem Verfahren sind 10 x 400 Möglichkeiten durchzurechnen. Die Gesamtzahl von 4.000 Einzelapproximationen benötigt eine Rechenzeit von 20 Sekunden. Einschränkend ist zu bemerken, daß die gefundene Lösung nicht notwendig die beste Lösung ist.

B 2. Methode

Ein statistisches Verfahren. Aus den oben genannten  $10^{11}$  Möglichkeiten werden einige tausend zufällig herausgegriffene berechnet. Die Zufälligkeit wird durch einen Zufallszahlgenerator gesteuert. Die beste Approximation wird festgehalten. Anschließend wird die Zufälligkeit eingeschränkt, so daß nur noch benachbarte Stellen der bisher gefundenen besten Stelle berechnet werden. Auch dieses Verfahren muß im mathematischen Sinne nicht die beste Lösung liefern, doch wird sich zeigen, ob die so gefundene Lösung physikalisch brauchbar ist.

3.3.1 Das Normalgleichungssystem mit Fehlerkorrektur

Es sei durch  $S(N)$  ein Neutronenspektrum der Energie  $N$  beschrieben.  $W(N)$  heiße die Äquivalentdosisleistungskurve, welche für die Energie  $N$  den Umrechnungsfaktor Dosisleistung zu Neutronenfluß angibt. Dann ist die Gesamtdosis

$$D_w = \int W(N) \cdot S(N) dN \quad (1)$$

Weiter seien an irgendwelchen M-Stellen der Meßkugel Zählraten thermischer Neutronen  $B(M)$  gemessen. Es wird angenommen, daß es M-Werte  $A(M)$  gibt, derart, daß der Wert

$$D_K = \sum_M A(M) \cdot B(M) \quad (2)$$

ähnlich der Dosisleistung  $D_w$  ist. Jetzt ist zunächst zu bemerken, daß die Zählraten  $B(M)$  mit einem Fehler behaftet sind, der bekanntlich gleich  $\pm \sqrt{B(M)}$  ist. Also ist Gleichung (1) genauer anzuschreiben

$$D_K = \sum_M A(M) \cdot B(M) \pm \sqrt{\sum_M A(M)^2 \cdot B(M)} \quad (3)$$

Die Zählraten  $B(M)$  ergeben sich aus den spezifischen Empfindlichkeiten der Stelle  $M$  gemäß

$$B(M) = \int Y(M, N) \cdot S(N) dN \quad (4)$$

so daß die Gleichheit von  $D_w$  und  $D_K$  erfüllt wäre, wenn gälte

$$\sum_M A(M) \cdot Y(M, N) = S(N) \quad (5)$$

Die Gleichung bzw. Forderung (5) wird allgemein gelöst durch die Forderung, die Fehlerquadratsumme:

$$Q = \sum_N \left( S(N) - \sum_M A(M) \cdot Y(M, N) \right)^2 \quad (6)$$

zu minimalisieren.

Kombiniert man jedoch Gleichung (1) mit Gleichung (3), so

wird das Fehlerquadrat

$$Q = \left[ \int \sum_M A(M) \cdot Y(M, N) \cdot S(N) dN - \int W(N) \cdot S(N) dN \right]_{(7)}^2 + \int \sum_M A^2(M) \cdot Y(M, N) \cdot S(N) dN$$

Um diesen Ausdruck auszuwerten, soll das Fehlerquadrat zunächst für spezielle singuläre Neutronenspektren  $\delta(N)$  ausgeschrieben werden

$$Q = \left( \sum_M A(M) \cdot Y(M, N) - W(N) \right)^2 + \sum_M A^2(M) \cdot Y(M, N)_{(8)}$$

Dieser Ausdruck wird jetzt noch für eine gewisse Auswahl bestimmter Energien  $N$  aufsummiert

$$Q = \sum_N \left( \sum_M A(M) \cdot Y(M, N) - W(N) \right)^2 + \sum_M A^2(M) \cdot \sum_N Y(M, N)_{(9)}$$

Diese Formel unterscheidet sich von (6) durch die quadratischen Glieder in  $A(M)$ , welche die Meßfehler ausdrücken. .3

Es soll nun mit (9) in bekannter Weise das Normalgleichungssystem entwickelt werden.

$$\frac{\partial Q}{\partial A(M_0)} = 0 \quad \text{liefert} \quad (10)$$

$$\sum_N Y(M, N) \cdot \left( \sum_M A(M) \cdot Y(M, N) - W(N) \right) + A(M_0) \cdot \sum_N Y(M_0, N)$$

und mit der Schreibweise

$$[Y_M] = \sum_N Y(M, N)$$

$$[Y_{M_0} Y_{M_0}] = \sum_N Y(M_0, N) \cdot Y(M_0, N) + \sum_N Y(M_0, N)$$

$$[Y_{M_0} Y_M] = \sum_N Y(M_0, N) \cdot Y(M, N)$$

(11)

$$[Y_{M_0} W] = \sum_N Y(M_0, N) \cdot W(N)$$

$$\sum_M A(M) [Y_{M_0} Y_M] = [Y_{M_0} W]$$

Dies ist die altbekannte Normalgleichung mit dem Unterschied, daß die Diagonalelemente der Matrix  $[Y_{M_0} Y_M]$  um die Summenglieder  $\sum_N Y(M_0, N)$  erhöht werden.

### 3.2 Die schrittweise Approximation

Für nur eine Kurve  $A(M) = A$  wird aus (9) und (11) in der angesprochenen Schreibweise

$$A = \frac{YW}{YY} = \frac{P(M)}{Q(M)} \quad (12)$$

und

$$Q = WW - \frac{YW^2}{YY} = Q(1)^2 - \frac{P^2(M)}{Q(M)}$$

(Die äußersten rechten Seiten geben die Rechenausdrücke an, welche im Rechenprogramm APRØ verwendet werden).

Da  $Q$  immer positiv ist, erreicht man ein Minimum von  $Q$ , wenn man das Maximum des Ausdrucks  $p^2(M)/Q(M)$  aus 400 möglichen Werten herausucht. Man erhält mit diesem Verfahren diejenige Stelle angezeigt, welche die Sollkurve am besten approximiert.

Der nächste Schritt ergibt sich, indem man  $W(N)$  durch  $W(N) - A(M_0) Y(M_0, N)$  ersetzt. Die Fehlerquadratsumme wird zunächst

$$Q = \sum_N \left( A(M) \cdot Y(M, N) - W(N) \right)^2 + A^2(M_0) \sum_N Y(M_0, N) + A^2(M) \cdot \sum_{(13)N} Y(M, N)$$

und dies führt zu

$$A = \frac{[Y W]}{[Y Y]} \tag{14}$$

$$Q = [W W] - \frac{[Y W]^2}{[Y Y]} + A^2(M_0) \cdot [Y_0]$$

Das Rechenverfahren bleibt das gleiche.

Der Gesamtfehler, der sich nach  $n$  Schritten akkumuliert hat, wird

$$Q = [W W] - \frac{[Y^* W]^2}{[Y^* Y^*]} + \sum_M A^2(M) [Y_M]$$

worin  $Y^*$  die Fehlerkurve der letzten Näherung ist.

Es muß noch hinzugefügt werden, daß im Rechenprogramm APRØ noch die Möglichkeit eingebaut wurde, die Fehlerquadrate mit Gewichten zu belegen.

Zum Endergebnis erfüllt dieses Verfahren eine gestellte Forderung: Die approximierenden Faktoren bleiben klein. Der Faktor der Hauptapproximation bleibt unter 10, die folgenden Faktoren unterschreiten die eins.

Nachteilig ist die sehr schlechte Konvergenz des Verfahrens. Deshalb wird über die zweite angedeutete Möglichkeit versucht, eine bessere Approximation zu finden.

Die Tabellen 3.3.2 zeigen einige Beispiele.

Tabelle 3.3.2

Approximationen in steigender Ordnung

	Kugelstellen	140	80	13	41	380	50	380	51	181	360	
	Radien	4.745	2.555	0.365	1.825	13.505	1.825	13.505	1.825	6.935	12.775	
	Cosinus	0.950	0.950	0.250	-0.950	0.950	-0.050	0.950	0.050	-0.950	0.950	
	Faktoren	3.89	2.30	1.54	1.07	-0.388	0.699	-0.193	0.479	0.573	-0.971E-01	
EV	G(N)	Y(1,N)										
10.0	1.00	0.470	1.09	1.40	1.49	1.53	0.380	0.421	-0.150	-0.120	-0.116	-0.428
40.0	1.00	0.490	1.30	1.68	1.79	1.83	0.745	0.795	0.252	0.289	0.295	-0.265E-01
100.	1.00	0.500	1.45	1.87	1.99	2.03	1.01	1.06	0.548	0.588	0.593	0.282
400.	1.00	0.470	1.61	2.08	2.22	2.28	1.35	1.42	0.958	1.00	1.01	0.715
1000.	1.00	0.460	1.73	2.23	2.39	2.45	1.53	1.65	1.22	1.27	1.27	0.989
0.160E 04	1.00	0.450	1.76	2.28	2.44	2.50	1.65	1.73	1.30	1.36	1.37	1.08
0.250E 04	1.00	0.440	1.85	2.38	2.55	2.61	1.79	1.86	1.45	1.51	1.52	1.24
0.400E 04	1.00	0.430	1.95	2.51	2.68	2.74	1.95	2.03	1.64	1.69	1.70	1.43
0.630E 04	1.00	0.430	1.96	2.52	2.70	2.77	2.00	2.08	1.69	1.75	1.76	1.50
0.100E 05	1.00	0.560	2.05	2.64	2.83	2.90	2.17	2.25	1.89	1.95	1.96	1.72
0.160E 05	1.00	0.760	2.08	2.69	2.89	2.96	2.24	2.33	1.97	2.03	2.04	1.79
0.250E 05	1.00	1.07	2.19	2.84	3.05	3.13	2.43	2.52	2.18	2.24	2.26	2.01
0.400E 05	1.00	1.52	2.45	3.17	3.40	3.48	2.82	2.92	2.59	2.66	2.67	2.44
0.630E 05	1.00	2.40	2.61	3.38	3.64	3.74	3.12	3.23	2.92	3.00	3.01	2.79
0.100E 06	1.00	3.24	3.03	3.94	4.22	4.34	3.74	3.87	3.57	3.67	3.68	3.46
0.160E 06	1.00	4.24	3.35	4.38	4.72	4.86	4.29	4.45	4.17	4.28	4.29	4.08
0.250E 06	1.00	5.71	4.06	5.34	5.77	5.94	5.41	5.60	5.34	5.48	5.49	5.30
0.400E 06	1.00	7.80	4.86	6.70	7.32	7.58	7.09	7.36	7.12	7.31	7.34	7.16
0.500E 06	1.00	8.51	5.24	7.15	7.86	8.16	7.69	8.00	7.77	7.99	8.02	7.85
0.630E 06	1.00	10.6	5.66	7.84	8.61	8.94	8.51	8.87	8.65	8.90	8.95	8.79
0.900E 06	1.00	13.5	6.93	9.82	10.9	11.5	11.1	11.6	11.4	11.8	11.9	11.7
0.100E 07	1.00	15.9	8.07	9.80	11.0	11.5	11.2	11.7	11.5	11.9	12.0	11.8
0.130E 07	1.00	17.2	7.48	10.8	12.3	13.0	12.6	13.3	13.1	13.6	13.7	13.5
0.160E 07	1.00	18.9	7.14	10.3	12.0	12.8	12.5	13.2	13.0	13.5	13.6	13.3
0.250E 07	1.00	19.9	6.59	10.9	12.8	13.7	13.5	14.3	14.2	14.8	15.0	14.7
0.400E 07	1.00	21.0	5.98	11.8	14.8	15.9	14.7	15.5	15.3	16.0	16.3	16.2
0.630E 07	1.00	24.4	5.14	10.8	11.8	11.8	11.7	12.5	12.5	13.0	13.4	13.3
0.100E 08	1.00	24.7	4.19	8.89	9.90	9.90	9.81	10.6	10.5	11.1	11.4	11.4
0.160E 08	1.00	21.0	3.91	6.11	6.96	6.91	7.46	7.43	7.91	8.04	8.04	8.12
0.250E 08	1.00	31.0	3.34	3.83	3.83	3.80	4.12	4.11	4.32	4.34	4.34	4.53
0.400E 08	1.00	38.7	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
0.630E 08	1.00	42.0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
0.100E 09	1.00	41.0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
0.160E 09	1.00	41.0	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86

Die letzten 6 Eigenwerte wurden nur Approximation nicht berücksichtigt

Tabelle 3.3.2

Approximationen in steigender Ordnung

		Kugelstellen										
		120	60	380	60	380	80	380	100	380	120	
		Radien	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	
		Cosinus	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	
		Faktoren	5.94	1.35	-0.488	1.02	-0.295	0.523	-0.181	0.274	-0.113	0.149
EV	G(N)	Y(1,N)										
10.0	1.00	0.470	1.30	1.50	0.578E-01	0.166	-0.705	-0.634	-1.17	-1.12	-1.46	-1.42
40.0	1.00	0.490	1.56	1.80	0.425	0.555	-0.273	-0.188	-0.697	-0.641	-0.958	-0.919
100.	1.00	0.500	1.73	2.00	0.704	0.848	0.662E-01	0.161	-0.320	-0.257	-0.557	-0.514
400.	2.00	0.470	1.93	2.23	1.07	1.23	0.529	0.635	0.203	0.274	0.481E-02	0.531E-01
1000.	2.00	0.460	2.03	2.40	1.31	1.48	0.827	0.941	0.536	0.612	0.360	0.412
0.160E 04	2.00	0.450	2.12	2.45	1.38	1.56	0.914	1.03	0.634	0.711	0.464	0.517
0.250E 04	3.00	0.440	2.21	2.55	1.52	1.71	1.08	1.20	0.820	0.900	0.661	0.716
0.400E 04	3.00	0.430	2.33	2.69	1.70	1.90	1.30	1.42	1.05	1.14	0.909	0.967
0.630E 04	4.00	0.430	2.35	2.71	1.74	1.94	1.35	1.43	1.12	1.21	0.982	1.04
0.100E 05	4.00	0.560	2.46	2.84	1.93	2.14	1.59	1.73	1.39	1.48	1.27	1.33
0.160E 05	4.00	0.760	2.51	2.90	1.99	2.20	1.65	1.79	1.45	1.54	1.33	1.40
0.250E 05	4.00	1.07	2.64	3.05	2.17	2.40	1.87	2.02	1.69	1.79	1.59	1.65
0.400E 05	4.00	1.52	2.96	3.42	2.59	2.84	2.34	2.50	2.19	2.30	2.11	2.18
0.630E 05	4.00	2.40	3.15	3.64	2.86	3.13	2.66	2.83	2.54	2.66	2.48	2.55
0.100E 06	4.00	3.24	3.71	4.29	3.54	3.86	3.41	3.62	3.34	3.48	3.30	3.40
0.160E 06	4.00	4.24	4.10	4.77	4.06	4.43	4.00	4.23	3.97	4.12	3.96	4.06
0.250E 06	4.00	5.71	5.05	5.89	5.22	5.68	5.28	5.57	5.32	5.51	5.36	5.48
0.400E 06	4.00	7.80	6.31	7.46	6.84	7.47	7.10	7.50	7.27	7.51	7.37	7.53
0.500E 06	4.00	8.34	7.04	8.32	7.73	8.44	8.08	8.51	8.29	8.57	8.43	8.61
0.630E 06	4.00	10.6	7.50	8.95	8.41	9.20	8.88	9.37	9.17	9.47	9.34	9.53
0.900E 06	4.00	13.5	9.42	11.4	10.9	12.1	11.8	12.4	12.2	12.6	12.5	12.7
0.100E 07	4.00	13.9	9.41	11.4	10.9	12.0	11.7	12.4	12.2	12.6	12.5	12.7
0.130E 07	3.00	14.2	10.4	12.7	12.3	13.6	13.3	14.1	13.9	14.4	14.3	14.5
0.160E 07	3.00	13.9	10.3	12.6	12.3	13.6	13.3	14.1	13.9	14.4	14.3	14.5
0.250E 07	2.00	12.5	10.4	13.1	12.8	14.3	14.1	14.9	14.8	15.3	15.2	15.5
0.400E 07	2.00	13.2	9.66	12.2	12.0	13.4	13.2	14.0	13.9	14.3	14.3	14.5
0.630E 07	1.00	14.4	8.51	11.0	10.9	12.3	12.2	12.9	12.8	13.2	13.2	13.4
0.100E 08	1.00	14.7	6.98	9.07	8.96	10.1	10.0	10.6	10.6	10.9	10.9	11.1
0.160E 08	1.00	21.0	4.62	6.07	6.00	6.80	6.76	7.17	7.14	7.35	7.34	7.45
0.250E 08	1.00	31.0	2.51	3.30	3.27	3.70	3.68	3.90	3.89	4.00	3.99	4.06
0.400E 08	1.00	38.7	1.34	1.84	1.82	2.10	2.09	2.21	2.21	2.27	2.26	2.30
0.630E 08	1.00	42.0	0.712	0.927	0.917	1.04	1.03	1.09	1.09	1.12	1.12	1.13
0.100E 09	1.00	47.2	0.359	0.481	0.476	0.543	0.540	0.572	0.570	0.586	0.585	0.594
0.160E 09	1.00	52.9	0.191	0.249	0.245	0.277	0.274	0.291	0.290	0.299	0.298	0.303

54

Die letzten 6 Energiewerte wurden zur Approximation nicht berücksichtigt

Tabelle 3.3.2

Approximationen in steigender Ordnung

	Kugelstellen	322	202	14	123	163	203	382	243	222	223	
	Radien	11.315	6.935	0.365	4.745	6.205	7.665	13.505	9.125	7.665	8.395	
	Cosinus	0.950	0.950	0.150	-0.950	-0.950	-0.950	0.950	-0.950	0.950	-0.950	
	Faktoren	0.275	0.130	0.135	0.134	0.102	0.837E-01	0.135E-01	0.667E-01	0.773E-02	0.553E-01	
	EV	G(N)	Y(1,N)									
10.0	1.00	1.00	0.684	0.760	0.768	0.769	0.770	0.771	0.811	0.811	0.805	0.805
40.0	1.00	1.00	0.770	0.861	0.871	0.873	0.874	0.875	0.913	0.913	0.906	0.907
100.	1.00	1.00	0.789	0.890	0.901	0.903	0.904	0.905	0.941	0.941	0.933	0.933
400.	1.00	1.00	0.813	0.924	0.937	0.940	0.942	0.943	0.975	0.975	0.967	0.967
1000.	1.00	1.00	0.800	0.919	0.932	0.935	0.936	0.937	0.967	0.968	0.959	0.959
0.160E 04	1.00	1.00	0.812	0.934	0.948	0.952	0.954	0.955	0.985	0.985	0.976	0.977
0.250E 04	1.00	1.00	0.800	0.927	0.942	0.946	0.948	0.949	0.977	0.978	0.968	0.968
0.400E 04	1.00	1.00	0.814	0.946	0.961	0.965	0.966	0.967	0.995	0.995	0.985	0.985
0.630E 04	1.00	1.00	0.809	0.943	0.959	0.963	0.965	0.966	0.993	0.993	0.983	0.984
0.100E 05	1.00	1.00	0.774	0.912	0.927	0.931	0.933	0.934	0.959	0.960	0.950	0.950
0.160E 05	1.00	1.00	0.800	0.941	0.959	0.964	0.966	0.968	0.993	0.993	0.983	0.983
0.250E 05	1.00	1.00	0.792	0.942	0.961	0.966	0.969	0.970	0.994	0.995	0.984	0.984
0.400E 05	1.00	1.00	0.783	0.942	0.961	0.966	0.968	0.969	0.992	0.992	0.981	0.981
0.630E 05	1.00	1.00	0.792	0.968	0.990	0.996	0.999	1.00	1.02	1.02	1.01	1.01
0.100E 06	1.00	1.00	0.773	0.957	0.982	0.987	0.990	0.991	1.01	1.01	0.999	1.00
0.160E 06	1.00	1.00	0.765	0.972	1.00	1.01	1.01	1.01	1.03	1.03	1.02	1.02
0.250E 06	1.00	1.00	0.767	0.997	1.03	1.04	1.05	1.05	1.07	1.07	1.05	1.05
0.400E 06	1.00	1.00	0.730	0.995	1.05	1.06	1.07	1.07	1.09	1.09	1.07	1.07
0.500E 06	1.00	1.00	0.703	0.966	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.07	1.06	1.06
0.630E 06	1.00	1.00	0.688	0.966	1.03	1.05	1.07	1.07	1.09	1.09	1.07	1.07
0.900E 06	1.00	1.00	0.665	0.966	1.06	1.10	1.12	1.13	1.14	1.15	1.13	1.13
0.100E 07	1.00	1.00	0.631	0.935	1.04	1.07	1.09	1.10	1.12	1.12	1.10	1.11
0.130E 07	1.00	1.00	0.574	0.878	1.01	1.05	1.08	1.09	1.10	1.11	1.09	1.10
0.160E 07	1.00	1.00	0.525	0.819	0.954	1.01	1.04	1.06	1.07	1.08	1.06	1.07
0.250E 07	1.00	1.00	0.404	0.671	0.838	0.919	0.968	0.997	1.00	1.02	1.01	1.02
0.400E 07	1.00	1.00	0.337	0.567	0.730	0.831	0.891	0.929	0.935	0.960	0.946	0.969
0.630E 07	1.00	1.00	0.254	0.444	0.606	0.709	0.778	0.824	0.829	0.858	0.847	0.874
0.100E 08	1.00	1.00	0.177	0.316	0.465	0.578	0.653	0.705	0.708	0.742	0.734	0.765
0.160E 08	1.00	1.00	0.108	0.199	0.308	0.402	0.466	0.511	0.513	0.544	0.538	0.566
0.250E 08	1.00	1.00	0.547E-01	0.104	0.167	0.221	0.261	0.291	0.291	0.312	0.309	0.327
0.400E 08	1.00	1.00	0.270E-01	0.528E-01	0.899E-01	0.118	0.139	0.154	0.154	0.165	0.163	0.173
0.630E 08	1.00	1.00	0.127E-01	0.250E-01	0.407E-01	0.563E-01	0.675E-01	0.747E-01	0.750E-01	0.799E-01	0.793E-01	0.838E-01
0.100E 09	1.00	1.00	0.834E-02	0.161E-01	0.258E-01	0.363E-01	0.435E-01	0.487E-01	0.488E-01	0.521E-01	0.517E-01	0.548E-01
0.160E 09	1.00	1.00	0.504E-02	0.928E-02	0.133E-01	0.183E-01	0.225E-01	0.257E-01	0.258E-01	0.275E-01	0.273E-01	0.291E-01

Die letzten 6 Energiewerte wurden zur Approximation nicht berücksichtigt

Tabelle 3.3.1

Approximiertes in steigender Ordnung

			312	412	512	612	712	812	912	1012	1112	1212
		Radius	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		Constant	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950
		Faktoren	0.740	0.450	0.133E-01	0.153	0.122	-0.671E-02	0.405	0.405	-0.591E-02	0.153E-01
		$H(1,1)$										
11.0	1.00	1.00	0.807	0.695	0.756	0.759	0.759	0.754	0.754	0.755	0.777	0.775
42.5	1.00	1.00	0.795	0.810	0.870	0.871	0.872	0.866	0.866	0.866	0.865	0.865
100.	1.00	1.00	0.828	0.845	0.901	0.902	0.902	0.896	0.896	0.896	0.895	0.891
400.	2.00	1.00	0.869	0.888	0.939	0.940	0.941	0.933	0.934	0.934	0.930	0.946
1000.	2.00	1.00	0.881	0.901	0.948	0.949	0.950	0.942	0.943	0.943	0.939	0.953
0.160E 04	2.00	1.00	0.899	0.921	0.967	0.969	0.970	0.961	0.962	0.962	0.958	0.972
0.250E 04	3.00	1.00	0.895	0.917	0.962	0.963	0.964	0.955	0.956	0.956	0.950	0.965
0.400E 04	3.00	1.00	0.912	0.935	0.978	0.980	0.980	0.972	0.972	0.972	0.968	0.980
0.630E 04	4.00	1.00	0.907	0.931	0.973	0.974	0.975	0.967	0.967	0.968	0.963	0.975
0.100E 05	4.00	1.00	0.868	0.913	0.952	0.954	0.954	0.946	0.946	0.946	0.941	0.953
0.160E 05	4.00	1.00	0.925	0.951	0.990	0.992	0.993	0.984	0.985	0.985	0.980	0.991
0.250E 05	4.00	1.00	0.924	0.951	0.989	0.991	0.992	0.982	0.983	0.984	0.978	0.989
0.400E 05	4.00	1.00	0.925	0.954	0.991	0.992	0.993	0.983	0.984	0.984	0.978	0.989
0.630E 05	4.00	1.00	0.953	0.986	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.02
0.100E 06	4.00	1.00	0.947	0.984	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01
0.160E 06	4.00	1.00	0.944	0.988	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01
0.250E 06	4.00	1.00	0.976	1.03	1.06	1.06	1.06	1.05	1.05	1.05	1.04	1.05
0.400E 06	4.00	1.00	0.950	1.03	1.05	1.06	1.06	1.05	1.05	1.05	1.04	1.05
0.500E 06	4.00	1.00	0.928	1.01	1.04	1.05	1.05	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04
0.630E 06	4.00	1.00	0.915	1.01	1.04	1.04	1.05	1.03	1.04	1.04	1.03	1.03
0.900E 06	4.00	1.00	0.899	1.04	1.06	1.07	1.08	1.07	1.07	1.08	1.06	1.07
0.100E 07	4.00	1.00	0.859	0.998	1.02	1.03	1.04	1.03	1.04	1.04	1.03	1.03
0.130E 07	3.00	1.00	0.794	0.964	0.981	1.01	1.02	1.00	1.02	1.03	1.01	1.02
0.160E 07	3.00	1.00	0.725	0.900	0.917	0.946	0.965	0.949	0.965	0.975	0.963	0.967
0.250E 07	2.00	1.00	0.566	0.782	0.796	0.842	0.872	0.859	0.885	0.903	0.891	0.894
0.400E 07	2.00	1.00	0.478	0.676	0.687	0.752	0.796	0.784	0.823	0.851	0.840	0.843
0.630E 07	1.00	1.00	0.362	0.563	0.571	0.650	0.703	0.693	0.741	0.774	0.765	0.767
0.100E 08	1.00	1.00	0.252	0.425	0.430	0.519	0.581	0.574	0.630	0.670	0.663	0.664
0.160E 08	1.00	1.00	0.160	0.277	0.280	0.360	0.417	0.412	0.464	0.500	0.496	0.497
0.250E 08	1.00	1.00	0.794E-01	0.149	0.151	0.202	0.239	0.237	0.271	0.295	0.293	0.293
0.400E 08	1.00	1.00	0.409E-01	0.831E-01	0.838E-01	0.111	0.130	0.129	0.146	0.159	0.158	0.158
0.630E 08	1.00	1.00	0.189E-01	0.362E-01	0.367E-01	0.498E-01	0.588E-01	0.582E-01	0.666E-01	0.725E-01	0.719E-01	0.720E-01
0.100E 09	1.00	1.00	0.116E-01	0.221E-01	0.223E-01	0.312E-01	0.372E-01	0.368E-01	0.422E-01	0.460E-01	0.456E-01	0.457E-01
0.160E 09	1.00	1.00	0.745E-02	0.119E-01	0.121E-01	0.172E-01	0.204E-01	0.202E-01	0.230E-01	0.251E-01	0.249E-01	0.250E-01

Die letzten 6 Energiewerte wurden zur Approximation nicht berücksichtigt

### 3.3 Eine statistische Approximationsmethode

Wie bereits bei der Darstellung der Approximationsrechnung erster Art, Gleichung (8), gezeigt wurde, gehen die Gewichte quadratisch in das Fehlerquadrat ein. Es ist daher naheliegend, die Kugelstellen so auszusuchen, daß die Quadratsumme der Gewichte ein Minimum wird. Um die Rechnung zu vereinfachen, wird zunächst die Gauß'sche Fehlerrechnung nicht mitgezogen, sondern mit fünf festen Energiewerten gerechnet. Das heißt für jede Kugelstellenauswahl ist ein lineares Gleichungssystem zu lösen; es ergibt fünf Gewichte, mit welchen die Sollkurve an fünf Stellen exakt wiedergegeben wird. Da alle Kurven stetig sind, gibt es um jede Energiestelle ein Gebiet, wo die mit den Gewichten berechnete Approximation noch approximiert, und zwar um so besser, je kleiner die Gewichte sind.

Es bot sich eine ungeordnete Durchsuchung der Möglichkeiten an. Durch eine Monte-Carlo-Routine werden jeweils fünf beliebige Stellen der Kugel ausgesucht, das zugehörige lineare Gleichungssystem gelöst und die Quadratsumme der Gewichte gebildet. Es zeigt sich, daß nach einigen tausend Versuchen eine hinreichend kleine Quadratsumme gefunden wird. Nunmehr wird nur noch in der Nähe der bisher günstigsten Stelle weitergesucht. Die Rechnung wird so lange fortgeführt, bis das Verfahren fast zum Stehen kommt. Das wird dadurch gesteuert, daß die Maschine bei einer vorgegebenen Anzahl von vergeblichen Schritten (e.g. 9.000) die Suche aufgibt. Das Ergebnis wird dann ausgedruckt und geplottet.

Die so gewonnenen Ergebnisse sind deutlich besser als die nach der ersten Approximationsmethode. Das liegt m.E. daran, daß die approximierende Kurve jetzt gezwungen wird, um die Sollkurve zu oszillieren. Für die Messung bedeutet das ferner einen gewissen Fehlerausgleich.

Die Grenzen der Methoden sollen nicht verschwiegen werden. Es wurde versucht, nach dieser Methode eine Approximation

bei sehr hohen Energien zu erzielen. Das Ergebnis ist völlig unsinnig. Der Grund liegt in den großen Gewichten, welche die Sollkurve an fünf vorgegebenen Stellen richtig approximieren. An den übrigen Stellen stehen nur aufgeschaukelte Rechenfehler. Dies bedeutet, daß vom Prinzip her mit den vorgegebenen Werten eine Approximation bei sehr hohen Energiewerten nicht möglich ist.

Tabelle 3.3.3.1

1. Beispiel einer Approximationsrechnung

Programm lief	0.00	Sekunden, machte	1	Schritte, und stolperte	0 mal.	105	276	117	189	3910.4714E	07
Programm lief	0.02	Sekunden, machte	1	Schritte, und stolperte	0 mal.	131	335	275	222	1710.8914E	06
Programm lief	0.00	Sekunden, machte	2	Schritte, und stolperte	0 mal.	372	244	298	62	218	560.6
Programm lief	3.10	Sekunden, machte	521	Schritte, und stolperte	0 mal.	353	93	311	81	318	540.9
Programm lief	1.53	Sekunden, machte	261	Schritte, und stolperte	0 mal.	358	262	176	367	380	520.8
Programm lief	2.66	Sekunden, machte	445	Schritte, und stolperte	0 mal.	339	312	156	377	149	434.4
Programm lief	7.37	Sekunden, machte	1242	Schritte, und stolperte	0 mal.	56	159	373	298	358	409.5
Programm lief	0.60	Sekunden, machte	103	Schritte, und stolperte	0 mal.	332	160	27	359	338	359.4
Programm lief	7.09	Sekunden, machte	1189	Schritte, und stolperte	0 mal.	338	180	300	78	380	238.9

Programm ist müde geworden und macht jetzt nur noch kleine Schritte

Programm lief	55.07	Sekunden, machte	270	Schritte, und stolperte	0 mal.	318	180	260	77	400	198.6
Programm lief	0.52	Sekunden, machte	38	Schritte, und stolperte	0 mal.	318	160	220	75	380	153.6
Programm lief	11.88	Sekunden, machte	2047	Schritte, und stolperte	0 mal.	318	200	180	73	380	149.1
Programm lief	1.34	Sekunden, machte	226	Schritte, und stolperte	0 mal.	318	200	160	55	380	146.5
Programm lief	10.32	Sekunden, machte	1756	Schritte, und stolperte	0 mal.	318	220	180	95	380	143.4

Programm will nicht mehr. Es ist 0 mal gestolpert

Approximation der Dosisempfindlichkeit

			Kurven	318	220	180	95	380
			Radien	11.315	7.665	6.205	3.285	13.505
			Cosinus	0.750	0.950	0.950	0.450	0.950
			Faktoren	-7.883	3.584	7.375	0.860	3.643
Energie	Sollkurve	Approximation						
10.	0.470	2.336	1.851	0.754	0.458	0.108	2.952	
40.	0.490	1.767	2.010	0.902	0.548	0.131	2.808	
100.	0.500	1.110	2.120	0.993	0.607	0.146	2.652	
0.40E 03	0.470	0.351	2.200	1.095	0.672	0.166	2.380	
0.10E 04	0.460	0.460	2.195	1.156	0.724	0.178	2.231	
0.16E 04	0.450	0.476	2.205	1.203	0.736	0.182	2.187	
0.25E 04	0.440	0.676	2.199	1.243	0.770	0.190	2.117	
0.40E 04	0.430	0.947	2.181	1.284	0.808	0.200	2.035	
0.63E 04	0.430	0.585	2.217	1.297	0.813	0.203	1.991	
0.10E 05	0.560	0.560	2.206	1.313	0.850	0.212	1.864	
0.16E 05	0.760	1.444	2.131	1.373	0.860	0.220	1.865	
0.25E 05	1.070	1.532	2.172	1.454	0.910	0.230	1.794	
0.40E 05	1.520	1.882	2.182	1.495	0.989	0.257	1.704	
0.63E 05	2.400	2.758	2.184	1.644	1.083	0.276	1.608	
0.10E 06	3.240	3.240	2.197	1.705	1.163	0.325	1.534	
0.16E 06	4.240	4.055	2.285	1.886	1.316	0.375	1.451	
0.25E 06	5.710	6.308	2.210	2.061	1.489	0.467	1.362	
0.40E 06	7.800	8.765	2.245	2.329	1.758	0.631	1.264	
0.50E 06	8.340	9.350	2.168	2.290	1.797	0.688	1.206	
0.63E 06	10.600	10.453	2.142	2.374	1.909	0.792	1.111	
0.90E 06	13.500	13.846	1.993	2.492	2.170	1.034	1.024	
0.10E 07	13.900	13.900	1.950	2.492	2.161	1.079	0.953	
0.13E 07	14.200	14.903	1.814	2.434	2.218	1.237	0.839	
0.16E 07	13.900	14.693	1.719	2.337	2.143	1.298	0.810	
0.25E 07	12.500	14.051	1.474	2.052	2.018	1.397	0.612	
0.40E 07	13.200	13.200	1.128	1.769	1.745	1.337	0.474	
0.63E 07	14.400	11.368	0.908	1.421	1.491	1.321	0.357	
0.10E 08	14.700	8.924	0.613	1.023	1.122	1.106	0.238	
0.16E 08	21.000	5.990	0.392	0.671	0.745	0.786	0.140	
0.25E 08	31.000	3.011	0.218	0.358	0.381	0.434	0.073	
0.40E 08	38.700	1.610	0.111	0.183	0.204	0.230	0.034	
0.63E 08	42.000	0.798	0.057	0.086	0.105	0.110	0.020	
0.10E 09	47.200	0.539	0.025	0.055	0.060	0.067	0.011	

3.3

Es werden die Ergebnisse dreier Rechnungen mit der 11,5-Soll-Kugel in Abb. 17 bis Abb. 18 vorgelegt. Das Programm wurde so dimensioniert, daß mit 8 Aufpunkten approximiert wurde.

Bei der Abb. 17 wurde in der Approximation zugelassen, daß bei thermischen Neutronen eine erhebliche Fehlanpassung auftritt.

Bei der Abb. 18 wurde die Approximation auch bei thermischer Energie erzwungen. Als unerwünschter Nebeneffekt tritt hierbei auf, daß Schwankungen um die Sollkurve auftreten, so daß auch negative Empfindlichkeiten resultieren können.

Bei sehr hohen Energien, d.h. ab etwa 6,3 MeV, zeigt sich eine prinzipielle Schwäche der jetzigen Methode, so daß eine gute Approximation nicht möglich erscheint. Spätere Rechnungen mit anderem Kugelmateriale sollen hier eine wesentliche Besserung bringen.

Die Abb. 19 zeigt eine Approximation, die die Nachteile der Approximation von Abb. 17 und 18 nicht aufweist. Allerdings ist auch hier der starke Abfall bei hohen Energien bedenklich.

In der Abb. 19 wird eine Approximation der Dosisleistungskurve mit den Daten der richtungsunabhängigen Werte dargestellt. Da mit  $5 \times 4$  Aufpunkten gerechnet wurde, ist diese Lösung praktisch uninteressant. Es kann jedoch festgehalten werden, daß eine richtungs- und energieunabhängige Approximation der Dosisleistungskurve im Prinzip möglich ist.

#### .3.4 Die Approximation für richtungsunabhängige Neutronenfeldgrößen

Die Neutronenfeldgrößen sollen durch die Meßwerte im Mittelpunkt und an vier Tetraederaufpunkten in der Kugel approximiert werden. Die 11,5" Kugel war gewählt worden, weil ihre Empfindlichkeit im Mittelpunkt schon der Dosisleistungskurve recht nahe kam (2). Durch die Hinzunahme von vier weiteren Stellen soll dieser Wert verbessert werden, bzw. durch Errechnung weiterer Gewichtsfaktoren auch eine Flußmessung ermöglicht werden. Mathematisch heißt das, daß nur ein Wert

zu variieren ist, der Wert für alle vier Tetraederaufpunkte. Eine einfache Approximationsrechnung mit der Klein'schen Methode reicht hier völlig aus. Im vorgelegten Rechenprogramm wird der Radius der Tetraederpunkte und die Endenergie, bis zu welcher approximiert werden soll, variiert.

Das Rechenprogramm wird unter der Bezeichnung APRØ - ZWEI mitgeteilt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3.3.4 wiedergegeben bzw. in den Abbildungen 20 bis 24 aufgetragen.

Die Approximation der flat-response-Kurve gelingt bis etwa 10 MeV. Eine Ausweitung des flachen Bereiches über 10 MeV scheint mit einer Polyäthylenkugel nicht möglich. Dies liegt darin, daß die Empfindlichkeit dieser Kugeln oberhalb 10 MeV allgemein stark abfallen, weil der Wirkungsquerschnitt dort sehr klein wird. Will man diesen Effekt dadurch begegnen, daß man den Umfang der Kugel vergrößert - er müßte wesentlich vergrößert werden - so würde ein gänzlich unpraktisches Gerät entstehen.

Dieselben Begrenzungen findet man bei der Approximation der Äquivalentdosiskurve. Zum intermediären und schnellen Bereich unterhalb einer Energie von 6 MeV ist die Approximation besser als solche, die aus der Literatur bekannt sind.

Weiterhin wurde die Energiedosiskurve approximiert, Abb. 22. Bis zur Energie 6 MeV ist die Approximation zufriedenstellend.

Es muß noch bemerkt werden, daß alle drei Approximationen - flat response, Äquivalentdosis und Energiedosis - mit den gleichen Tetraederpunkten erzielt wird. Es werden in den Abbildungen jeweils zwei Systeme verwendet, einmal mit den Tetraederpunkten in 12,05 cm Entfernung vom Mittelpunkt, zum anderen in 12,78 cm Entfernung. Bemerkenswert ist, daß alle drei Approximationen mit denselben Tetraederpunkten gelingen. Das so konstruierte Meßgerät bietet somit den Vorteil, daß bei einer Messung gleichzeitig alle drei Werte errechnet werden können.

#### 4. Meßergebnisse

##### 4.1 Fluenz thermischer Neutronen in der 11 1/2" Polyäthylenkugel bei Bestrahlung mit 30 keV und 4,5 MeV Neutronen

In den Rechnungen in Abschnitt 3.2 wurde die Verteilung thermischer Neutronen in der 11 1/2" Polyäthylenkugel berechnet. Diese Werte sollten durch Messungen bestätigt werden. Dazu wurde die 11 1/2" Polyäthylenkugel mit Neutronen einer Am-Be-Quelle und einer Sb-Be-Quelle bestrahlt. Der Abstand Kugelmittelpunkt - Neutronenquelle betrug 70 cm. Die Bestrahlung wurde am Bestrahlungsmast der ZAbt. Strahlenschutz in 15 m Höhe streufrei durchgeführt. Die Fluenz thermischer Neutronen in verschiedenen Punkten der Kugel wurde mit Indiumfolien von 1 cm<sup>2</sup> Fläche und 100 mg Gewicht bestimmt. Die Indiumfolien wurden 6 Stunden bestrahlt und dann im 2  $\pi$  Methan-Durchflußzähler ausgewertet. Anschließend wurden die Indiumfolien mit 1 mm Cadmiumblech umgeben und in der gleichen Versuchsanordnung bestrahlt, um den Anteil der epithermischen Neutronen an der Aktivierung der Indiumfolien zu bestimmen. In Abbildung 25 ist angegeben, auf welchen Radien die Fluenz thermischer Neutronen bei Bestrahlung mit der Am-Be-Quelle gemessen wurde. Bei Bestrahlung mit der Sb-Be-Quelle wurde aus Intensitätsgründen nur auf der Verbindungslinie Kugelmittelpunkt - Neutronenquelle gemessen.

Bei der Bestrahlung mit der Sb-Be-Quelle entstehen im wesentlichen nur monoenergetische Neutronen von 30 keV Energie. Die Am-Be-Quelle sendet aber ein breites Neutronenspektrum aus mit einer mittleren Energie von 4,5 MeV. Zur Berechnung der Verteilung thermischer Neutronen in der Kugel wurde angenommen, daß das Spektrum der Am-Be-Quelle mit dem von Geiger und Hargrove (24) gemessenen Spektrum identisch ist. Zum Vergleich der gerechneten Flußverteilung in der Kugel mit den Meßwerten wurde die Rechnung für einen Abstand Kugel-

Mittelpunkt - Neutronenquelle von 70 cm durchgeführt.

In den Abbildungen 26 - 29 sind die gemessenen und berechneten Werte der Fluenz thermischer Neutronen in der 11 1/2" Polyäthylenkugel dargestellt. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung ist befriedigend. Bei den Rechnungen für die Am-Be-Quelle muß berücksichtigt werden, daß das Neutronenspektrum der Am-Be-Quelle nicht genau bekannt ist. Außer dem Spektrum von Geiger und Hargrove liegen noch viele andere gemessene Am-Be-Spektren vor, die sich teilweise erheblich unterscheiden (25 - 28). Die Unterschiede sind sowohl durch Unterschiede der Neutronenquellen als auch durch die verschiedenen Meßmethoden bedingt. Hier wurde zum Vergleich das von Geiger und Hargrove gemessene Spektrum benutzt, da diese Autoren den Anteil der Neutronen im intermediären Energiebereich wenigstens abschätzen.

#### 4.2 Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel

##### 4.2.1 Aufbau des Dosimeters

Nach Rechnungen des Abschnittes 3.3.4 lassen sich Fluenz und Äquivalentdosis von Neutronen messen, wenn in einer Polyäthylenkugel von 11 1/2" Durchmesser in 5 Punkten die Fluenz thermischer Neutronen bestimmt wird. Diese 5 Punkte sind der Kugelmittelpunkt und 4 Punkte im Abstand von 12,77 cm vom Mittelpunkt. Diese 4 Punkte sind so angeordnet, daß sie auf den Eckpunkten eines regulären Tetraeders liegen. Zur Bestimmung von Fluenz  $\emptyset$  und Äquivalentdosis D gelten dann die Gleichungen:

$$\emptyset = k_1(0,325 \cdot n_1 + 0,294 n_2) \quad (1)$$

$$D = k_2(14,0 n_1 - 0,014 n_2) \quad (2)$$

Darin sind  $k_1$  und  $k_2$  experimentell zu bestimmende Kalibrierfaktoren.  $n_1$  ist die Anzeige des Detektors im Kugelmittelpunkt für die Fluenz thermischer Neutronen, und  $n_2$  ist die

Summe der Anzeige der 4 Detektoren an den Tetraederecken in 12.77 cm Entfernung vom Kugelmittelpunkt.

Eine perspektivische Skizze des Dosimeters aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel zeigt Abbildung 30. Als Detektoren in diesem Dosimeter werden Paare von LiF-Thermolumineszenzdetektoren verwendet, die mit Polyäthylenstopfen in die Bohrungen der 11 1/2" Kugel eingesetzt werden. Die Stopfen und eine Kapsel für die Thermolumineszenzdetektoren zeigt Abbildung 31. In dem einen Detektor des Thermolumineszenzdetektorpaares ist LiF in der natürlichen Isotopenzusammensetzung (TLD 100). In dem zweiten Detektor ist das  $\text{Li}^7$  auf 99,99 % angereichert (TLD 700). Wegen des  $\text{Li}^5 (n, \alpha) \text{He}^3$  Prozesses ist TLD 100 erheblich empfindlicher für thermische Neutronen als TLD 700. Nach eigenen Messungen verhalten sich die Empfindlichkeiten für thermische Neutronen von TLD 100: TLD 700 = 39:1. Das stimmt gut mit Angaben von Cameron (29) überein, der für dieses Verhältnis  $37 \pm 4$  angibt. Die  $\gamma$ -Empfindlichkeit für TLD 100 und TLD 700 ist fast gleich, so daß die Differenz der Anzeigen der beiden Dosimeter nach Korrektur der leicht unterschiedlichen  $\gamma$ -Empfindlichkeit ein Maß für die Fluenz thermischer Neutronen am Orte des Detektorpaares ist. Das Verhältnis der  $\gamma$ -Empfindlichkeit von TLD 700 : TLD 100 ist etwa 1,07:1,00, ändert sich aber nach jedem Ausheizen des Pulvers geringfügig. Deswegen wird nach jedem Ausheizen des Pulvers die  $\gamma$ -Empfindlichkeit von TLD 100 und TLD 700 durch Bestrahlung mit Co 60  $\gamma$ -Strahlung neu bestimmt.

Das LiF-Pulver befindet sich im Dosimeter in Teflonkapseln von 5 mm Durchmesser und 15 mm Höhe (Abb. 31). Eine Kapsel faßte ca. 100 mg LiF. Zum Auswerten in einem Thermolumineszenzgerät der Firma Con Rad wird 43 mg des Pulvers benötigt, so daß aus jeder Kapsel 2 Proben ausgewertet werden konnten, und zur Berechnung des Dosisäquivalentes bzw. der Fluenz wird der Mittelwert der 2 Auswertungen genommen.

Der Einfluß der epithermischen Neutronen auf die Anzeige der Thermolumineszenzdetektoren wird nicht besonders berücksichtigt.

#### 4.2.2 Kalibrierung und Energieabhängigkeit

Zum Kalibrieren wird eine 10 Ci Am-Be-Quelle verwendet. Die Neutronen dieser Quelle haben eine mittlere Energie von 4,5 MeV. In diesem Energiebereich ist das Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel überempfindlich. Deswegen wurden wie in Arbeit (34) Korrekturfaktoren bestimmt, die die Überempfindlichkeit berücksichtigen. Aus den Rechnungen analog wie in Arbeit (34) folgt, daß die Kalibrierfaktoren  $k_1$  und  $k_2$  in Gleichung (1) und (2) so bestimmt werden müssen, daß im Felde der Am-Be-Quelle 91 % der wahren Fluenz und 112 % der wahren Äquivalentdosis angezeigt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Korrekturen wurden die Kalibrierfaktoren  $k_1$  und  $k_2$  experimentell bestimmt zu

$$k_1 = 4,15 \cdot 10^4 \frac{n/cm^2}{mR}$$

$$k_2 = 0,124 \cdot \frac{mrem}{mR}$$

Die Differenz der Anzeigen der Detektoren mit TLD 100 und TLD 700 in Gleichung (1) und (2)  $n_1$  und  $n_2$  sind dabei in mR angegeben.

Die berechnete Energieabhängigkeit des Dosimeters wurde bei verschiedenen Neutronenenergien am Van-de-Graaff-Generator in Hamburg nachgeprüft. Die Neutronenflußdichte wurde mit einem Long-Counter gemessen. Der Long-Counter wurde bei jeder Bestrahlung so aufgestellt, daß das effektive Zentrum 1 m vom Target entfernt war. Ein zweiter Long-Counter, der als Monitor benutzt wurde, war in großer Entfernung vom Target angebracht. Bei der ersten Messung wurde dieser Monitor für jede Neutronenenergie kalibriert. Dann wurde an die Stelle des ersten Long-Counters das Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel aufgestellt in 146,5 cm Abstand vom Target des Beschleunigers. Bei diesem Targetabstand nimmt

die 11 1/2" Kugel den gleichen Raumwinkel für die einfallenden Neutronen ein wie der Long-Counter in 1 m Abstand. Die Einfallsrichtung der Neutronen auf die Polyäthylenkugel war in der Verbindungslinie Kugelmittelpunkt - Tetraederecke mit Thermolumineszenzdosimeterpaar. Die Tetraderecke war dabei weiter als der Kugelmittelpunkt vom Target entfernt. Bei jeder Neutronenenergie wurde die Polyäthylenkugel mit etwa  $10^7 \frac{n}{cm^2}$  bestrahlt. Dazu waren für einige Neutronenergien schon Bestrahlungszeiten von über 2 Stunden erforderlich, obwohl die Anzeige der Thermolumineszenzdetektoren in der Polyäthylenkugel beim Auswerten nur sehr gering war.

In Abbildung 32 und 33 sind die Meßergebnisse dargestellt. Die Meßergebnisse wurden nach Gleichung (1) und (2) mit den bei der Bestrahlung mit der Am-Be-Quelle bestimmten Kalibrierfaktoren gerechnet. Die Meßwerte für die Fluenz (Abb. 32) liegen etwa 5 bis 10 % über den gerechneten Werten. Für diese um 5 bis 10 % höhere Lage der Meßpunkte gibt es 3 Gründe:

- 1) Gestreute Neutronen niedriger Energie von den Wänden des Van-de-Gräff-Gebäudes. Gestreute Neutronen machen sich bei der Bestimmung der Fluenz erheblich stärker bemerkbar als bei Bestimmung der Äquivalentdosis. Bei der energie- und richtungsunabhängigen Fluenzbestimmung wird jedes gestreute Neutron so gezählt wie ein Neutron, daß direkt vom Target kommt. Anders dagegen ist es bei der Bestimmung der Äquivalentdosis, denn ein Neutron von 10 MeV bewirkt eine 39 mal so hohe Äquivalentdosis wie ein Neutron von thermischer Energie.
- 2) Zur Berechnung des Kalibrierfaktors  $k_1$  wurde angenommen, daß das Spektrum der Neutronen der Am-Be-Quelle mit dem von Geiger und Hargrove gemessenen Spektrum identisch ist. Abweichung des Neutronenspektrums der Quellen von dem von Geiger und Hargrove bedingt einen anderen Wert für  $k_1$  und damit eine Parallelverschiebung der Meßpunkte in Abb. 32.

- 3) Das Dosimeter ist etwas richtungsabhängig. Bei Berechnung der Approximation (1) ist die mittlere Empfindlichkeit des Dosimeters berücksichtigt für Bestrahlung aus allen möglichen Richtungen. Bei der Bestrahlung am Van-de-Graaff-Generator wurde nur aus einer Richtung bestrahlt.

Die Meßwerte für die Äquivalentdosis (Abb. 33) streuen erheblich stärker als die Meßwerte zur Bestimmung der Fluenz. Das liegt daran, daß zur Bestimmung der Äquivalentdosis der Meßpunkt im Kugelmittelpunkt, der in Gleichung (2) mit großem Gewicht eingeht, bei den hohen Energien allein maßgebend ist, während bei der Bestimmung der Fluenz 4 Meßpunkte in der Kugel etwa gleichviel beitragen. Da bei der Bestrahlung am Van-de-Graaff-Generator die Anzeige der Thermolumineszenzdetektoren teilweise nur um den Faktor 3 - 4 höher als die Anzeige unbestrahlter Dosimeter ist, sind die starken Streuungen der Meßpunkte in Abb. 33 mit Ausnahme des Punktes bei 800 keV Neutronenenergie nicht verwunderlich.

Das Dosimeter wurde mit thermischen Neutronen vor dem geöffneten, unteren, linken Kanal der thermischen Säule I des Reaktors FRJ-1 kalibriert. 35 cm vor der Kanalöffnung wurde ein 30 cm x 30 cm großes Neutronenfeld bestimmt, in dem die Neutronenflußdichte auf  $\pm 3$  % konstant war. Die Neutronenflußdichte wurde mit einem kalibrierten  $\text{BF}_3$ -Zählrohr FHZ 5 bestimmt. Das Cadmiumverhältnis war 160. Die 11 1/2" Polyäthylenkugel wurde an der Stelle 35 cm vor der Kanalöffnung mehrere Stunden bestrahlt. Die Polyäthylenkugel war so aufgestellt, daß ein Detektorpaar in einer Ecke des einbeschriebenen Tetraeders von der Öffnung des Strahlrohres weg zeigte. Das ist dieselbe Einfallsrichtung der Neutronen auf das Dosimeter wie bei der Bestrahlung am Van-de-Graaff-Generator. Während der Bestrahlung prüfte ein Monitor die Konstanz der Neutronenflußdichte. Mit den im Abschnitt 4.2.2 bestimmten Kalibrierfaktoren zeigte das Dosimeter 25,4 % der Fluenz und 71,5 % der Äquivalentdosis für thermische Neutronen an.

### .2.5 Richtungsabhängigkeit

Bei der Bestrahlung mit thermischen Neutronen wurde die Anzeige des Dosimeters noch für eine weitere Einfallsrichtung der Neutronen geprüft. Das Dosimeter wurde um  $180^\circ$  gedreht, und das eine Detektorpaar in einem Eckpunkt des in die Kugel eingeschriebenen Tetraeders zeigte zur Öffnung des Kanals der thermischen Säule. In dieser Lage zeigte das Dosimeter 63,2 % der Fluenz und 51,8 % der Äquivalentdosis an.

Die Richtungsabhängigkeit des Dosimeters wurde auch mit den Neutronen einer Am-Be-Quelle überprüft. Das Dosimeter war dabei in 74,5 cm Entfernung von der Neutronenquelle in 20 m Höhe am Bestrahlungsmast angebracht. Bestrahlt wurde jeweils 15 bis 20 Stunden. Für 4 verschiedene Einfallsrichtungen der Neutronen, die um  $90^\circ$  gegeneinander gedreht waren, wurde die Anzeige des Dosimeters festgestellt. Die Abweichungen vom Mittelwert betragen bei der Bestimmung der Fluenz 15 % und bei der Bestimmung der Äquivalentdosis 17,7 %. Diese Werte der Richtungsabhängigkeit setzen sich aus 2 Anteilen zusammen. Einmal ist die tetraederförmige Anordnung der Dosimeter nicht ganz richtungsunabhängig. Der zweite Grund der Richtungsabhängigkeit ist die Tatsache, daß die beiden Detektoren im Kugelmittelpunkt aus TLD 700 und TLD 100 nicht genau in demselben Punkt angebracht sind, sondern 6 mm voneinander entfernt sind (Abb. 31). Das Dosimeter, das näher zur Quelle liegt, hat eine geringfügig höhere Anzeige und verursacht so einen weiteren Beitrag zur Richtungsabhängigkeit. Dieser wurde gemessen, indem beide Dosimeter im Kugelmittelpunkt mit dem gleichen LiF-Pulver (TLD 100 bzw. TLD 700) gefüllt wurden. Die Anzeigedifferenz dieser beiden Dosimeter betrug bei der Bestrahlung mit der Am-Be-Quelle 8,8 %.

### .2.4 Abschätzung der Neutronenenergie

Das Verhältnis der Anzeige des Detektors im Mittelpunkt der 11 1/2" Polyäthylenkugel zur Summe der Anzeigen der 4 De-

tektoren an den Tetraederecken ist stark energieabhängig (Abb. 34), so daß aus diesem Verhältnis die Neutronenenergie abgeschätzt werden kann. Eine solche Bestimmung der Neutronenenergie wird aber sehr leicht beeinflußt durch thermische Neutronen. Ist bei Bestrahlung mit 16 MeV Neutronen 1 % der Äquivalentdosis durch gestreute Neutronen thermischer Energie vorhanden, so wird, da die Anzeige der Dosimeter in den Tetraederecken für thermische Neutronen sehr viel empfindlicher ist als im Kugelmittelpunkt, das Verhältnis

#### Anzeige des Detektors im Kugelmittelpunkt

Summe der Anzeigen der Detektoren an den Tetraederecken

um 50 % verkleinert, und die mittlere Energie würde um den Faktor 3,5 zu klein angezeigt. In Abbildung 34 sind die Meßpunkte der Bestrahlung von Hamburg und Geel eingezeichnet.

Eine Abweichung der Meßpunkte von der gerechneten Kurve ist bei der großen Empfindlichkeit für thermische Neutronen nicht erstaunlich. Dieses Verfahren eignet sich deshalb nicht zur Bestimmung der Neutronenenergie.

#### 4.2.5 Messung im Strahlenfeld eines Reaktors

Das neu entwickelte Dosimeter sollte im Strahlenfeld eines Reaktors überprüft werden. Dort treten hinter den verschiedenen Abschirmungen ganz verschiedene Neutronenspektren auf, und die Anzeige des Dosimeters konnte so für verschiedene Energien geprüft werden. Wegen der Unempfindlichkeit der Thermolumineszenzdetektoren mußte man, um zu lange Bestrahlungszeiten zu vermeiden, in Feldern hoher Neutronendosisleistung messen. Deswegen wurden die Messungen am jülicher Kugelhaufenreaktor durchgeführt. Die Messungen wurden innerhalb des Schutzbehälters in 1 bis 2 m Abstand vor der Abschirmung ausgeführt. Gleichzeitig wurden Vergleichsmessungen von Neutronenflußdichte und Äquivalentdosisleistung

mit dem Long-Counter (30) und mit dem Rem-Dosimeter nach Andersson und Braun (31) ausgeführt. Da nach den ersten Messungen (Tabelle 4.2.5 a) erhebliche Differenzen zwischen den Anzeigen des Long-Counters und dem Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel auftraten, wurde die Flußdichte bei den nächsten Messungen zusätzlich noch mit der 5 Kugel-Methode von Nachtigall und Rohloff (7) bestimmt. Die Meßergebnisse stehen in den Tabellen 4.2.5 b und c. In Tabelle 4.2.5 b fällt auf, daß die Werte, die mit der 5 Kugel-Methode und der 11 1/2" Polyäthylenkugel gemessen wurden, recht gut übereinstimmen, während die Meßwerte des Long-Counters erheblich kleiner sind. Das liegt daran, daß die Empfindlichkeit des Long-Counters stark richtungsabhängig ist (37, 39). Im inneren Schutzbehälter des AVR-Reaktors kommen Neutronen aus allen Richtungen, und die Anzeige des Long-Counters ist fragwürdig. Die Meßwerte zeigen den großen Vorteil eines richtungsunabhängigen Meßgerätes. Das Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel zeigt in 4 von 5 Fällen kleinere Dosisleistungen an als das Andersson-Braun-Dosimeter. Da das letztere Dosimeter für Neutronen unterhalb 1 MeV überempfindlich ist, das Dosimeter aus der 11 1/2" Polyäthylenkugel aber im Energiebereich zwischen  $10^5$  und  $10^6$  eV unterempfindlich ist, sind die Abweichungen der Werte voneinander in Tabelle 2 und 4 zu erwarten. Die Werte des Dosisleistungsäquivalentes, die mit der 5 Kugel-Methode bestimmt wurden, sind noch kleiner als die Werte mit der 11 1/2" Polyäthylenkugel.

Tabelle 4.2.5 a: Vergleichsmessungen im Strahlenfeld des AVR-Reaktors

Meßpunkt	+) $\dot{D}_{AB}$ (mrem/h)	++) $\dot{D}_{11,5}$ (mrem/h)	$\frac{\dot{D}_{AB}}{\dot{D}_{11,5}}$	$\varphi_{LC}$ ( $\frac{+++)_n}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$ )	$\varphi_{11,5}$ ( $\frac{++++)_n}{\text{cm}^2 \text{ sec}}$ )	$\frac{\varphi_{LC}}{\varphi_{11,5}}$
Auf der 11,5 m Bühne gegenüber den Gebläseabschirmklappen	274	165	1,66	4520	16250	0,28
Auf der 17 m Bühne gegenüber der Tür 4/16	952	670	1,41	21000	53900	0,39
Auf der 11,5 m Bühne gegenüber BK 9	90,6	81,6	1,11	1030	7530	0,137

- +)  $\dot{D}_{AB}$  = Mit dem Dosimeter von Andersson und Braun bestimmte Äquivalentdosisleistung
- ++)  $\dot{D}_{11,5}$  = Mit dem Dosimeter aus der 11,5" Polyäthylenkugel bestimmte Äquivalentdosisleistung
- +++) $\varphi_{LC}$  = Mit dem Long-Counter bestimmte Flußdichte
- ++++) $\varphi_{11,5}$  = Mit dem Dosimeter aus der 11,5" Polyäthylenkugel bestimmte Flußdichte

abelle 4.2.5 b: Vergleichsmessungen im Strahlenfeld des AVR-Reaktors bei 30 MW Reaktorleistung

Meßpunkt	$\varphi_{LC}^{+)}$ (n/cm <sup>2</sup> sec)	$\varphi_{5K}^{+)}$ (n/cm <sup>2</sup> sec)	$\varphi_{11,5}^{+)}$ (n/cm <sup>2</sup> sec)	$\frac{\varphi_{LC}}{\varphi_{11,5}}$	$\frac{\varphi_{5K}}{\varphi_{11,5}}$
auf der 11,5 m Höhe zwischen K 14 und BK 1	3165	11550	17015	0,186	0,68
auf der 11,5 m Höhe zwischen K 12 und BK 11	5000	14650	13455	0,371	1,09

) Index LC bei Meßwerten des Long-Counters, Index 5K bei Meßwerten mit der 5 Kugel-Methode, Index 11,5 bei Meßwerten mit der 11,5" Polyäthylenkugel

abelle 4.2.5 c: Vergleichsmessungen im Strahlenfeld des AVR-Reaktors bei 30 MW Reaktorleistung

Meßpunkt	$\dot{D}_{AB}^{++)}$ (mrem/h)	$\dot{D}_{5K}^{++)}$ (mrem/h)	$\dot{D}_{11,5}^{++)}$ (mrem/h)	$\frac{D_{AB}}{D_{11,5}}$	$\frac{D_{5K}}{D_{11,5}}$
auf der 11,5 m Höhe zwischen K 14 und BK 1	128	79	245	0,52	0,32
auf der 11,5 m Höhe zwischen K 12 und BK 11	223	118,7	170	1,31	0,70

+) Index AB bei Meßwerten des Dosimeters von Andersson und Braun, Index 5K bei Meßwerten mit der 5 Kugel-Methode und Index 11,5 bei Meßwerten mit der 11,5" Polyäthylenkugel

### 4.3 Vergleich mit anderen Dosimetertypen

#### 4.3.1 Geräte zur Bestimmung der Flußdichte

Es existieren viele verschiedene tragbare Geräte zur Bestimmung der Neutronenflußdichte bzw. der Fluenz im Energiebereich von 0 bis 10 MeV. Dieser Energiebereich interessiert hauptsächlich bei Reaktoren, radioaktiven Neutronenquellen und hinter Abschirmungen von Beschleunigern. Am häufigsten wird zur Flußdichtebestimmung der Long-Counter von Hanson und Mc Kibben (30) benutzt. Dieses Gerät wurde vielfach verbessert (35, 36) oder für spezielle Zwecke abgewandelt (37, 38). Mit dem Long-Counter wird die Neutronenflußdichte sehr gut energieunabhängig gemessen, ein großer Nachteil dieses Gerätes ist nur seine starke Richtungsabhängigkeit. Bei einem Einfall der Neutronen unter  $15$  bis  $20^\circ$  zur Achse des Long-Counters besitzt dieses Gerät nur noch die halbe Empfindlichkeit (37, 39). Weitere stark richtungsabhängige Geräte wurden von Vakarin (40) und Goryachev (41) gebaut. Für den Detektor von Vakarin ist nur für Neutronenenergien oberhalb 30 keV die Energieabhängigkeit bekannt.

Zur richtungsunabhängigen Neutronenflußdichtebestimmung werden mehrere verschiedene Methoden benutzt. Vielfach wird eine Polyäthylenkugel oder Hohlkugel geeigneten Durchmessers verwendet (42 - 45). Diese Methoden sind aber nur für Neutronenenergien oberhalb 20 - 30 keV geeignet.

Durch Verwendung mehrerer Polyäthylenmoderatoren mit verschiedenem Durchmesser läßt sich die Neutronenflußdichte energieunabhängig im gesamten interessierenden Energiebereich messen (7, 8, 46, 47) (Abb. 35, 36). Nachteilig für diese Methoden ist, daß mit mehreren Detektoren nacheinander gemessen werden muß.

Von Dvorak und Dyer (48) wurde eine ähnliche Anordnung zur Neutronenflußdichtebestimmung wie in dieser Arbeit beschrieben. In einer Paraffinkugel von 12" Durchmesser sind 1" unter der Oberfläche an den 6 Enden eines rechtwinkligen Koordinatensystems Aktivierungsfolien angebracht, die die Flußdichte

von 20 keV bis 2,3 MeV auf  $\pm 10\%$  genau zu messen gestatten. Aktivierungsfolien im Zentrum der 12" Kugel dienen zur Dosis-äquivalentbestimmung. Da Dvorak und Dyer nicht die Anzeige im Mittelpunkt der Moderatorkugel zur Flußdichtebestimmung mit benutzten, wie es in dieser Arbeit geschieht, ist die Anordnung nur bis zu Neutronenenergien von 2,3 MeV geeignet.

Aus dieser Übersicht geht hervor, daß zu einer energie- und richtungsunabhängigen Flußdichtebestimmung, die auch den Energiebereich unter 20 keV berücksichtigt, außer dem hier vorgeschlagenen System nur die Methoden mit mehreren Moderatorkugeln (7, 8, 46, 47) geeignet sind. Ein Vorteil der in diesem Bericht angegebenen Methode ist, daß auch in gepulsten Neutronenfeldern gemessen werden kann.

### 3.2 Geräte zur Bestimmung der Äquivalentdosis

Auch zur energieunabhängigen Bestimmung der Äquivalentdosis existieren eine Anzahl verschiedener Gerätetypen. Bei diesem Vergleich werden nur die Geräte besprochen, die den gesamten Energiebereich von 0 bis 10 MeV erfassen und die keine speziellen Annahmen (z. B.  $1/E$  Verteilung) über das Neutronenspektrum voraussetzen.

Das Dosimeter von Andersson und Braun (31) approximiert die Äquivalentdosiskurve am besten (Abb. 37). Eine Modifikation dieses Gerätes, bei der das Dosimetergewicht erheblich verringert wurde, wurde von Leake vorgeschlagen (32, 33) (Abb. 38). Durch die Verringerung des Moderatorgewichts wurde die Approximation der Äquivalentdosiskurve verschlechtert.

Hankins (2) schlägt als Rem-Dosimeter nur einen Detektor in einer Polyäthylenkugel von 10" oder 12" Durchmesser vor (Abb. 39). Dieses Gerät ist im Bereich intermedärer Neutronen bis zum Faktor 5 überempfindlich.

Dosimeter, die mehrere Polyäthylenmoderatoren verschiedenen Durchmessers benutzen, approximieren die Äquivalentdosiskurve gut (8, 9, 46, 47) (Abb. 40, 41) und gestatten, die Fluß-

dichte gleichzeitig zu messen. Diese Dosimeter haben den Nachteil, daß nicht in gepulsten Neutronenfeldern gemessen werden kann und daß mehrere Moderatoren benutzt werden müssen.

Dosimeter mit mehreren Detektoren in einem Moderator sind von Dvorak (48) und Tatsuta (49) beschrieben. Dvorak benutzt zur Äquivalentdosismessung nur den Detektor im Dosimetermittelpunkt, und er hat damit das gleiche Dosimeter wie Hankins. Tatsuta verwendet 4  $\text{BF}_3$ -Zählrohre in einem zylindrischen Polyäthylenmoderator. Ein Zählrohr ist in der Mittelachse des Moderators, die 3 restlichen sind um je  $120^\circ$  gegeneinander versetzt in 8 cm Abstand von der Moderatorachse. Die Approximation der Äquivalentdosiskurve durch das Dosimeter von Tatsuta zeigt Abb. 42.

Ein Vergleich der Abbildungen 37 bis 42 mit Abbildung 33 zeigt, daß das neue Dosimeter mit der 11 1/2" Moderatorkugel die Äquivalentdosis gut zu messen gestattet. Es weicht in keinem Energiebereich zu stark von der Äquivalentdosiskurve ab. Gegenüber den Dosimetern von Andersson, Leake, Hankins und Tatsuta hat es den Vorteil, daß gleichzeitig die Neutronenflußdichte gemessen werden kann. Anders als mit den Mehrkugel-Methoden (8, 46, 47) kann mit diesem Dosimeter auch in gepulsten Neutronenfeldern gemessen werden.

#### 4.4 Ausblick

Der große Nachteil des Dosimeters mit der 11 1/2" Polyäthylenkugel ist seine geringe Empfindlichkeit. Das Dosimeter wurde mit Thermolumineszenzdetektoren gebaut, wie es in Anlage 1 zum EURATOM-Vertrag O24-65-11 PST D vorgesehen war. Das Thermolumineszenzpulver ist zwar für  $\gamma$ -Strahlung und thermische Neutronen sehr empfindlich. Das gilt nicht für schnelle Neutronen in der 11 1/2" Moderatorkugel, denn zur Erzeugung der gleichen Äquivalentdosis wird von 10 MeV Neutronen nur 1/40 der Fluenz wie von thermischen Neutronen benötigt. Da die Moderierung im Dosimeter die Fluenz nicht wesentlich erhöht, können mit dem Dosimeter aus der 11 1/2"

Polyäthylenkugel erst Werte der Äquivalentdosis von 300 bis 400 mrem gut gemessen werden. Im praktischen Strahlenschutz müssen aber Äquivalentdosisleistungen von 1 mrem/h bestimmt werden können. Eine Erhöhung der Empfindlichkeit des Dosimeters ist durch die Wahl anderer Detektoren möglich. LiJ(Eu)-Szintillatoren sind ungeeignet, da zu jedem Detektor ein besonderer Multiplier notwendig ist. Durch die neuerdings im Handel befindlichen kleinen kugelförmigen He<sup>3</sup>-Proportionalzählrohre ist es möglich, die LiF-Thermolumineszenzdetektoren zu ersetzen und Dosisleistungen von kleiner als 1 mrem/h zu messen, denn die He<sup>3</sup>-Proportionalzählrohre sind noch empfindlicher für thermische Neutronen als LiJ(Eu)-Szintillatoren (33).

#### 5 Zusammenfassung des experimentellen Teils

Nach Rechnungen der Flußverteilung in Polyäthylenkugeln wird ein Neutronendosimeter gebaut. Das Dosimeter, bestehend aus 5 Thermolumineszenzdetektorpaaren in einer 11 1/2" Polyäthylenkugel, gestattet gleichzeitig die richtungsunabhängige Bestimmung von Fluenz und Äquivalentdosis der Neutronen von 0 bis 10 MeV. Mit den zur Zeit verwendeten Detektoren ist die Empfindlichkeit gering. Durch Verwendung von He<sup>3</sup>-Proportionalzählrohren könnte die Empfindlichkeit erheblich gesteigert werden.

## Danksagungen

Die Autoren danken

der Kommission Europäischer Gemeinschaften für die finanzielle Unterstützung der Arbeit,

dem Deutschen Rechenzentrum, Darmstadt und dem Zentralinstitut für angewandte Mathematik der Kernforschungsanlage Jülich für die Benutzung ihrer Einrichtungen

dem zweiten Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg, dem Zentralbüro für Kernmessung in Geel und der Gesellschaft für Strahlenforschung in Neuherberg für die Hilfe bei Bestrahlungen an Neutronengeneratoren und -quellen.

Herrn Dr. Nachtigall, Geel, und Herrn Dr. Burger, Neuherberg, für wertvolle Anregungen und Diskussionen

unseren Mitarbeitern: Frau G. Zimmermann, Herrn G. Crommen und Herrn H. Schüren für tätige Mitarbeit.

5. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

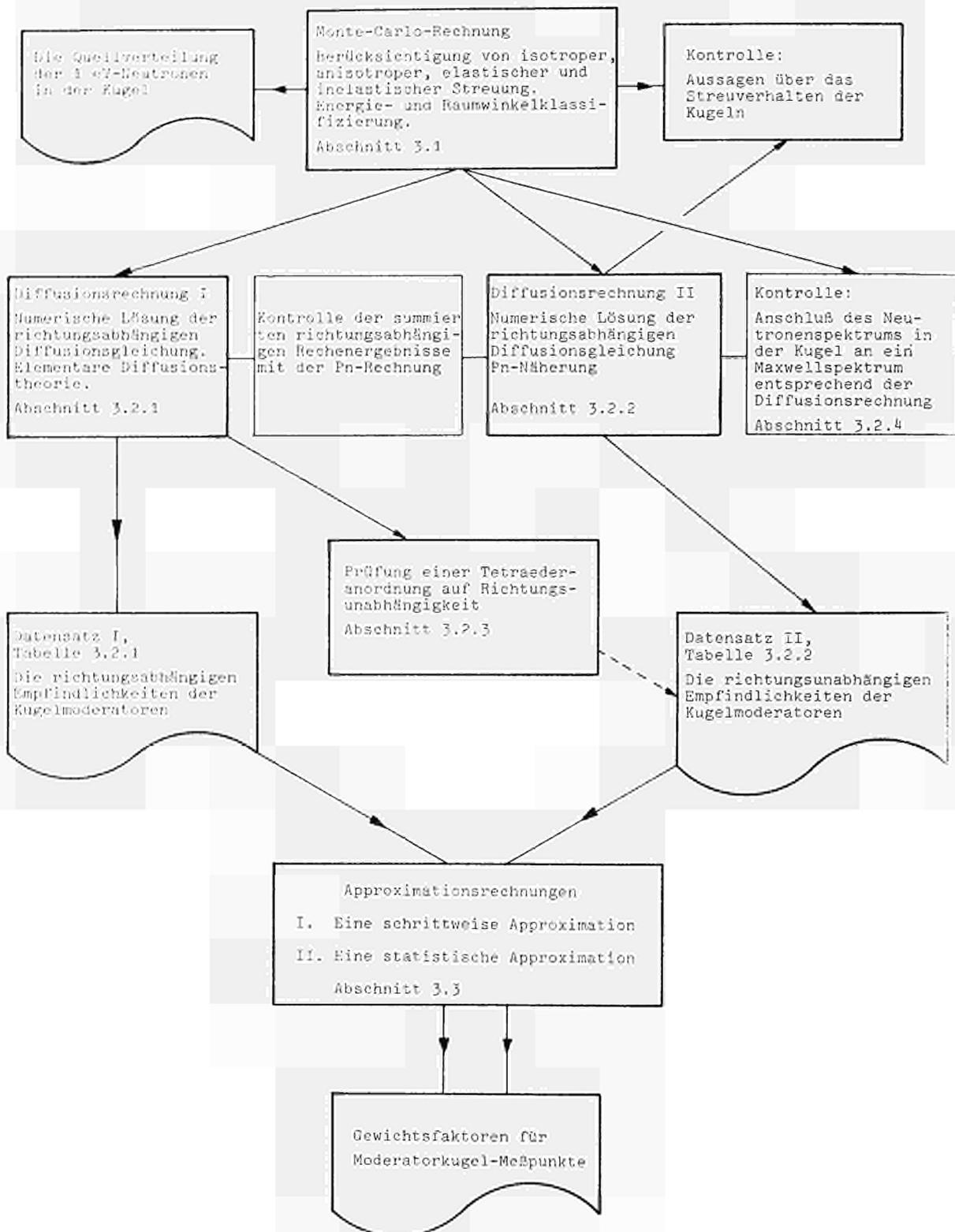
1. Bramblett, R. L., R. L. Ewing, T.W. Bonner: Nucl. Instr. and Meth. 9, 1 (1960)
2. Hankins, D. E.: LA - 2717 (1962)
3. Hankins, D. E.: LA - DC - 7323 A (1965)
4. Hankins, D. E.: LA - 3700 (1968)
5. Hansen, G. E., H. A. Sandmeier: Nucl. Sci. Engng. 22, 315 (1965)
6. Nachtigall, D., F. Rohloff: Nukleonik 6, 330 (1964)
7. Nachtigall, D., F. Rohloff: Jül-213-ST (1964)
8. Nachtigall, D., F. Rohloff: Nucl. Instr. Meth. 50, 137 (1967)
9. Mc Guire S. A.: LA - 3435 (1966)
10. Awschalom M.: P PAD 596 E (1966)
11. Kraft, R., C. J. Wensrich: URCL - 7823 (1964)
12. Rosescu, T.: IFA - FR - 48 (1965)
13. Irving, D. C.: ORNL - 3622 (1965)
14. Raso, D. J., S. S. Holland: AD 422292, AD 422 438 und AD 422 456 (1963)
15. Möller, U.: KFK 297 (1965)
16. Hughes, D.J., J. A. Harvey: BNL - 325 (1965) und BNL - 325 Supplements
17. Hughes, D. J., R. S. Carter: BNL - 400 (1956)
18. Kunz, W., J. Schintlmeister: Nuclear Tables, Pergamon Press 1965
19. Leimdörfer M.: Chalmers Tekniska Högskolas Handlinger Nr. 288
20. Collatz, L.: Funktionalanalysis und Numerische Mathematik, Springer 1964

21. Collatz, L.: The Numerical Treatment of Differential Equations, Springer 1966
22. Marquardt, D. W.: Rechenprogramm NLIN, Share Bibliothek, Deutsches Rechenzentrum Darmstadt
23. Mark J. C.: Mt 92 (1944)
24. Geiger, K. W., C. K. Hargrove: Nucl. Phys. 53, 204 (1964)
25. Greiss, H. B.: Nukleonik 10, 283 (1968)
26. Thompson, M. N., J. M. Taylor: Nucl. Instr. and Meth. 37, 305 (1965)
27. Instituto di fisica dell'universita, Trieste, EANDC (E) 66 U (1966)
28. Salgir, T., J. Walker: Proceedings IAEA Symp. on Neutron Monitoring, Wien (1967)
29. Cameron, J. R., D. Zimmermann, G. Kenney, R. Buch, R. Blond, R. Grand: Health Phys. 10, 25 (1964)
30. Hanson, A. O., J. L. Mc Kibben: Phys. Rev. 72, 673 (1947)
31. Andersson, J. Ö., J. Braun: Neutron Dosimetry, IAEA-Wien (1963)
32. Leake, J. W.: Nucl. Instr. and Meth. 45, 151 (1966)
33. Leake, J. W.: Nucl. Instr. and Meth. 63, 329 (1968)
34. M. Heinzelmann: Atompraxis 13, Direct Information Strahlenschutz 6/67 (1967)
35. De Pangher, J.: HW-SA-2140 (1961)
36. Nakayama, T., H. Tatsuta, H. Ryufuku, T. M. Olsen: Nucl. Instr. and Meth. 45, 343 (1966)
37. Antolkovic, B., B. Holmquist, T. Wiedling: AE-144 (1964)
38. Graves, E. R., R. W. Davis: Phys. Rev. 97, 1205 (1955)
39. Borresen, S., B. Gremeland, S. Messelt: Nucl. Instr. and Meth. 16, 135 (1965)
40. Vakarin, Yu. A., L. N. Veselovskij, B. S. Gribov, A. V. Kolotkov, V. G. Kusnezov, V. A. Sakovic: Atomnaja Energija 22, 124 (1967)

41. Goryachev, I. V., M. M. Gvozdev, V. I. Kukhtevich, L. A. Trykov: Instrum. and Experimental Techniques Nr. 3, 529 (1967)
42. Stephens, L. D., A. R. Smith: URCL-8418 (1958)
43. Smith, A. R.: UCRL-17051
44. Ladu, M., M. Pelliccioni, E. Rotondi: Nucl. Instr. and Meth. 32, 173 (1965)
45. de Kerviler, H., Ph. Tardy-Joubert: Proceedings IAEA Symp. on Neutron Monitoring, Wien (1967)
46. Nachtigall, D.: Jül-158-ST (1964)
47. Zaborowski, H.: CEA-R 2772 (1965)
48. Dvorak, R. F., N. C. Dyer: ANL 7085 (1965)
49. Tatsuta, H., H. Ryufuka, T. Shirotani: Health Physics 13, 559 (1967)

Abbildung 1

Gesamtübersicht über die Arbeit in Form eines Blockbildes



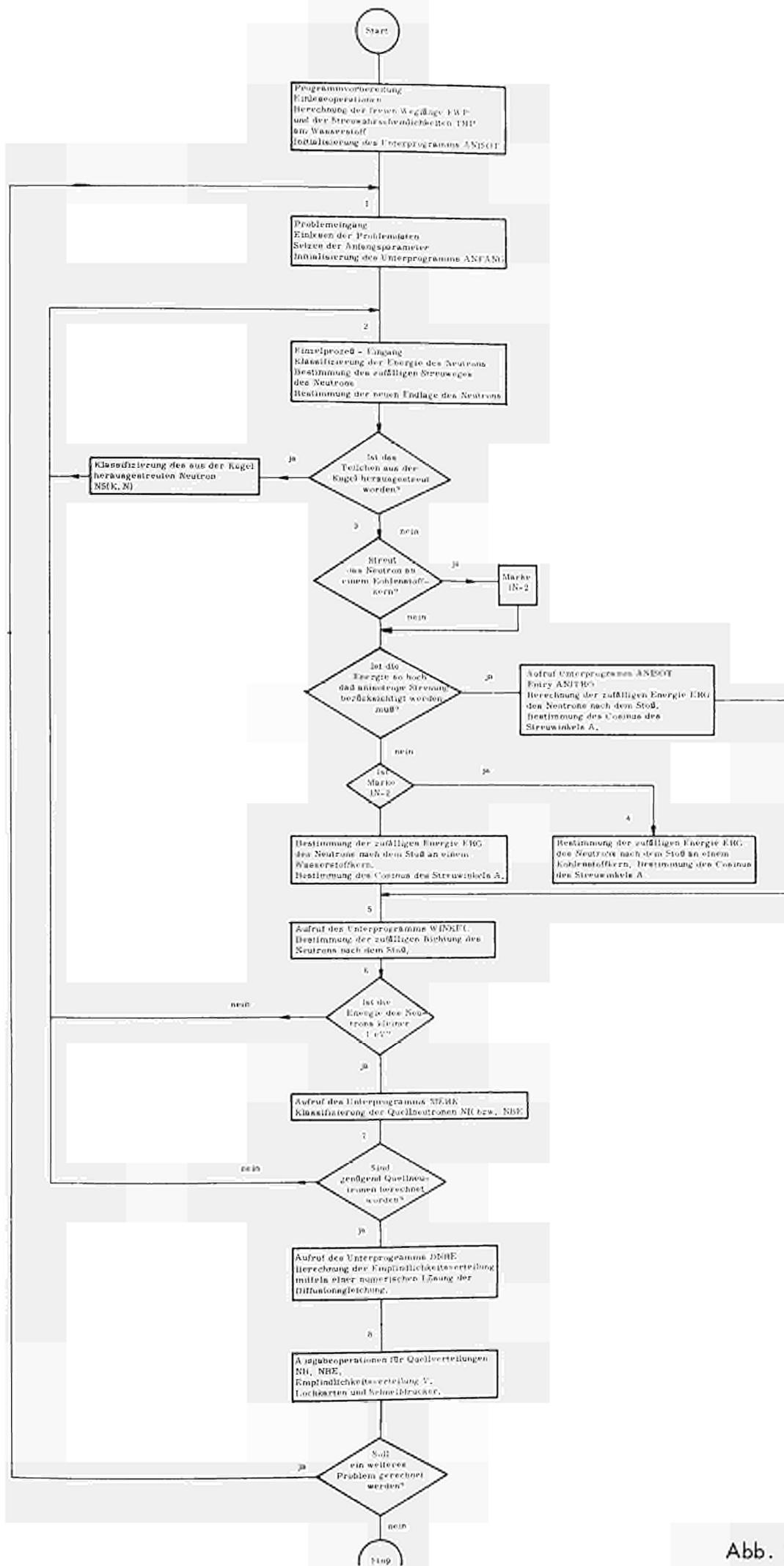
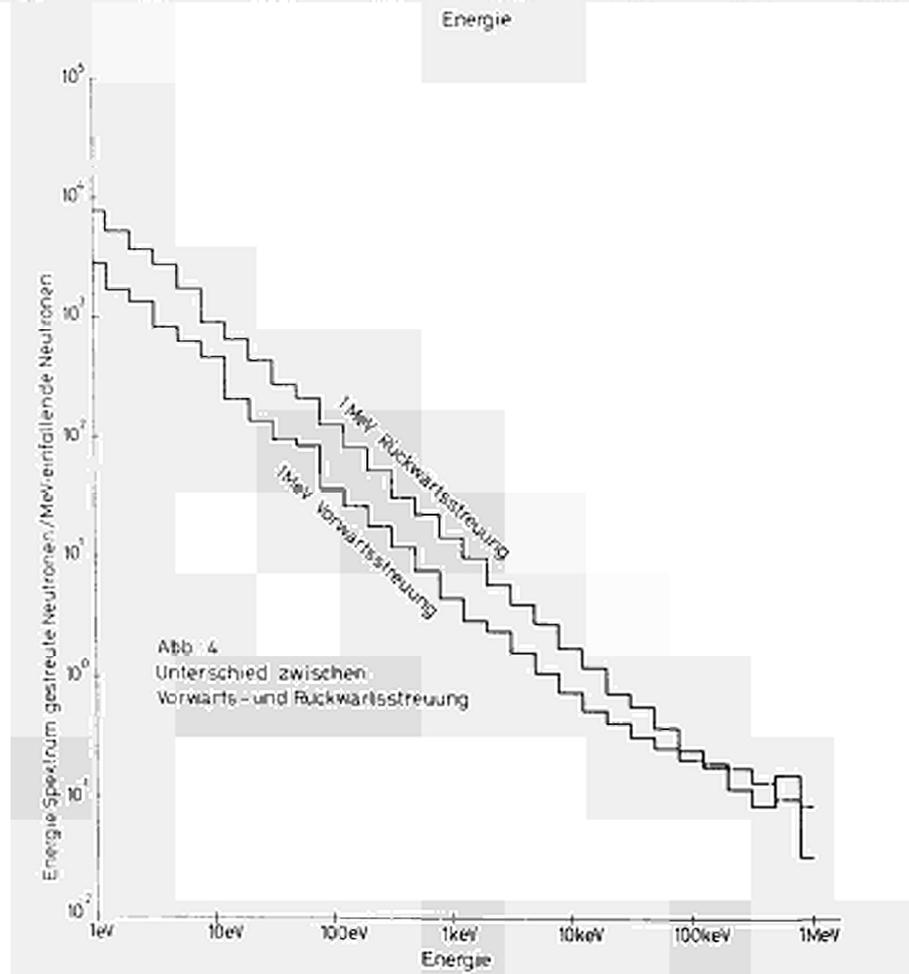
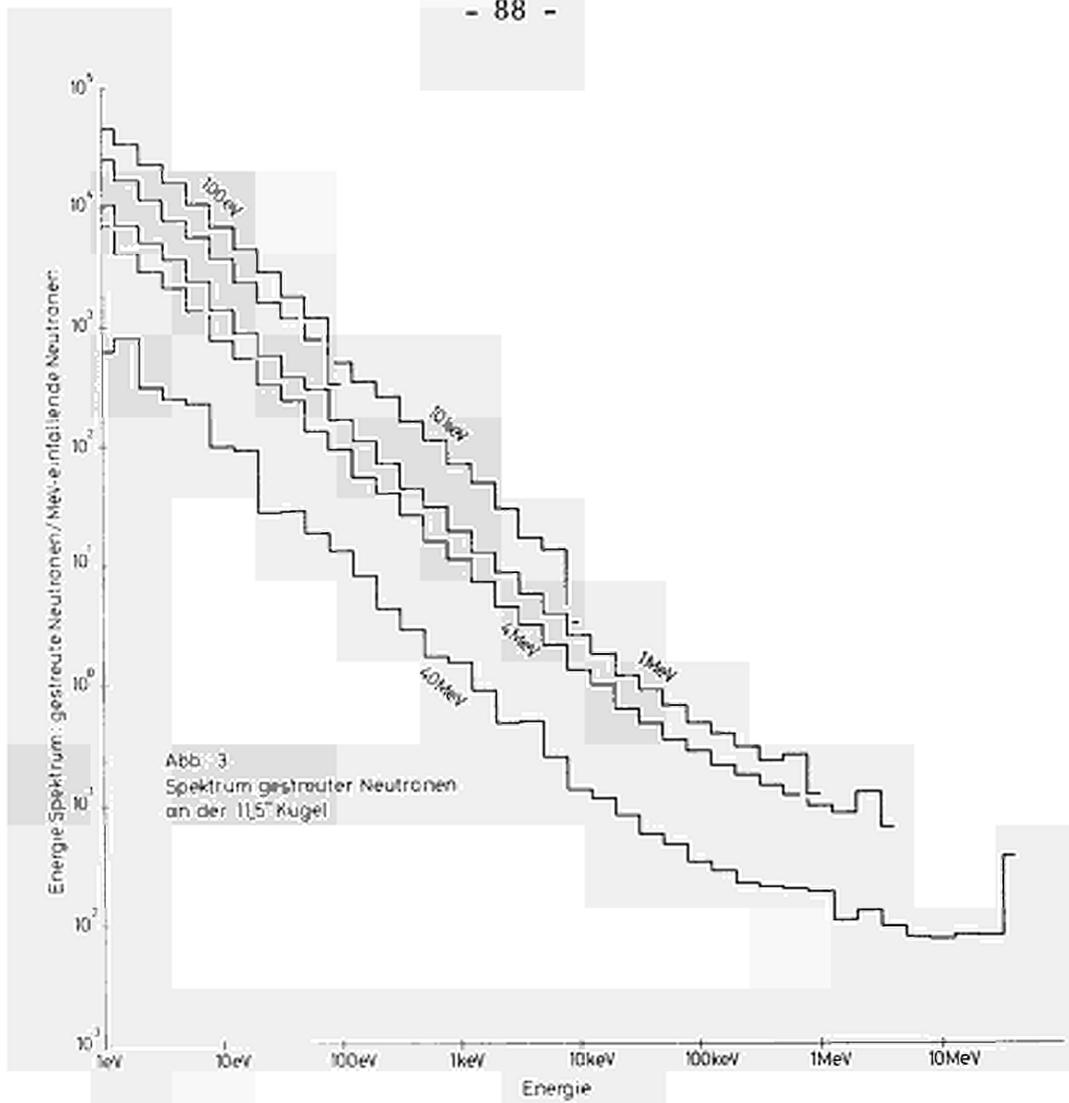


Abb. 2



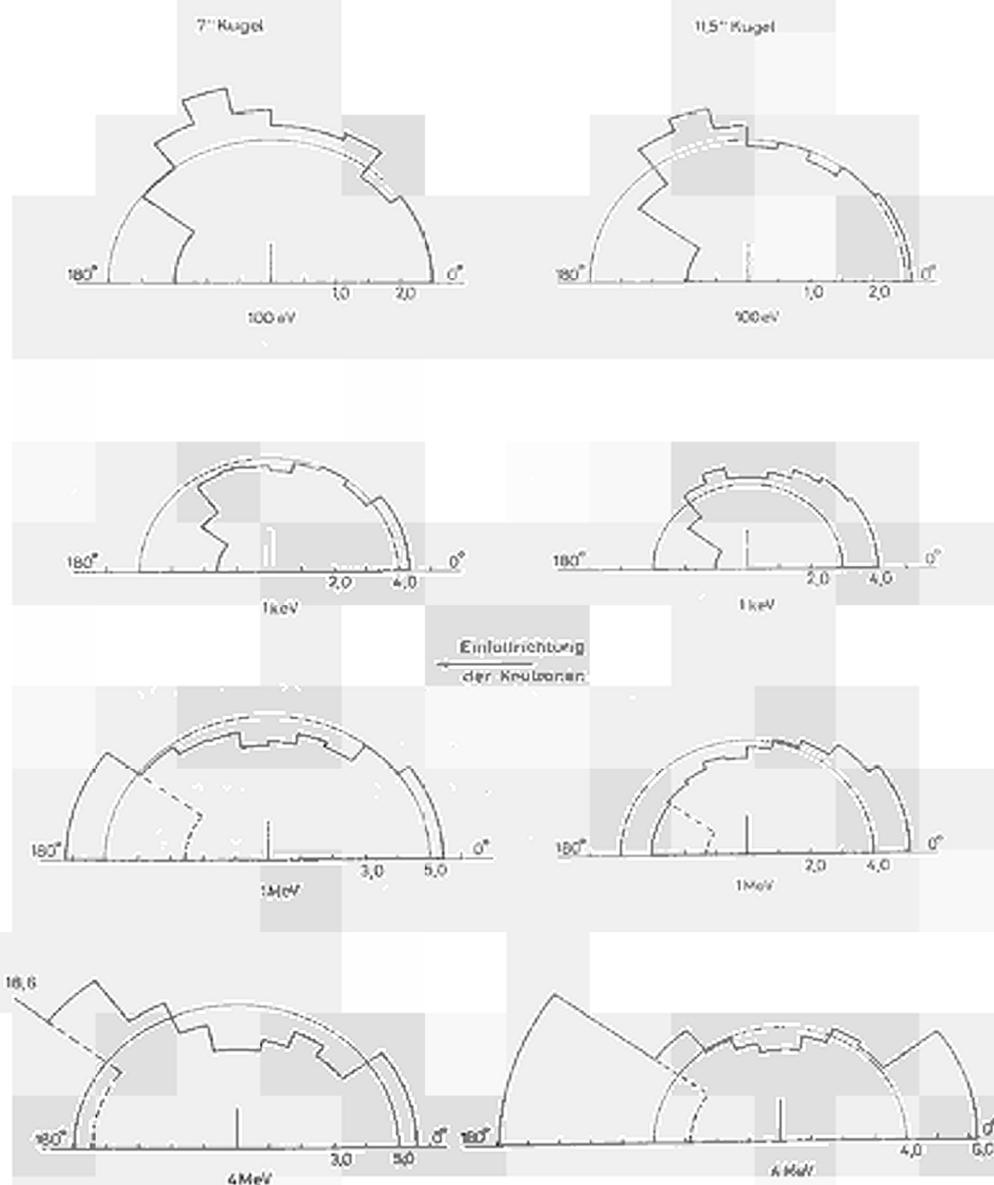
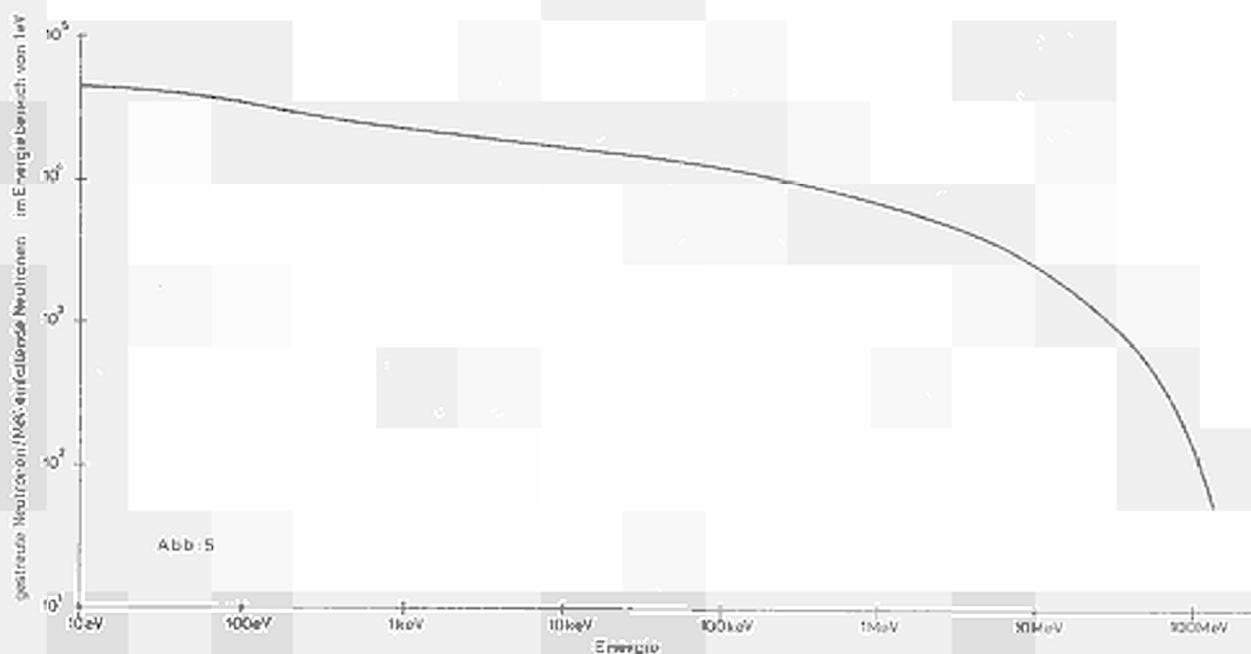
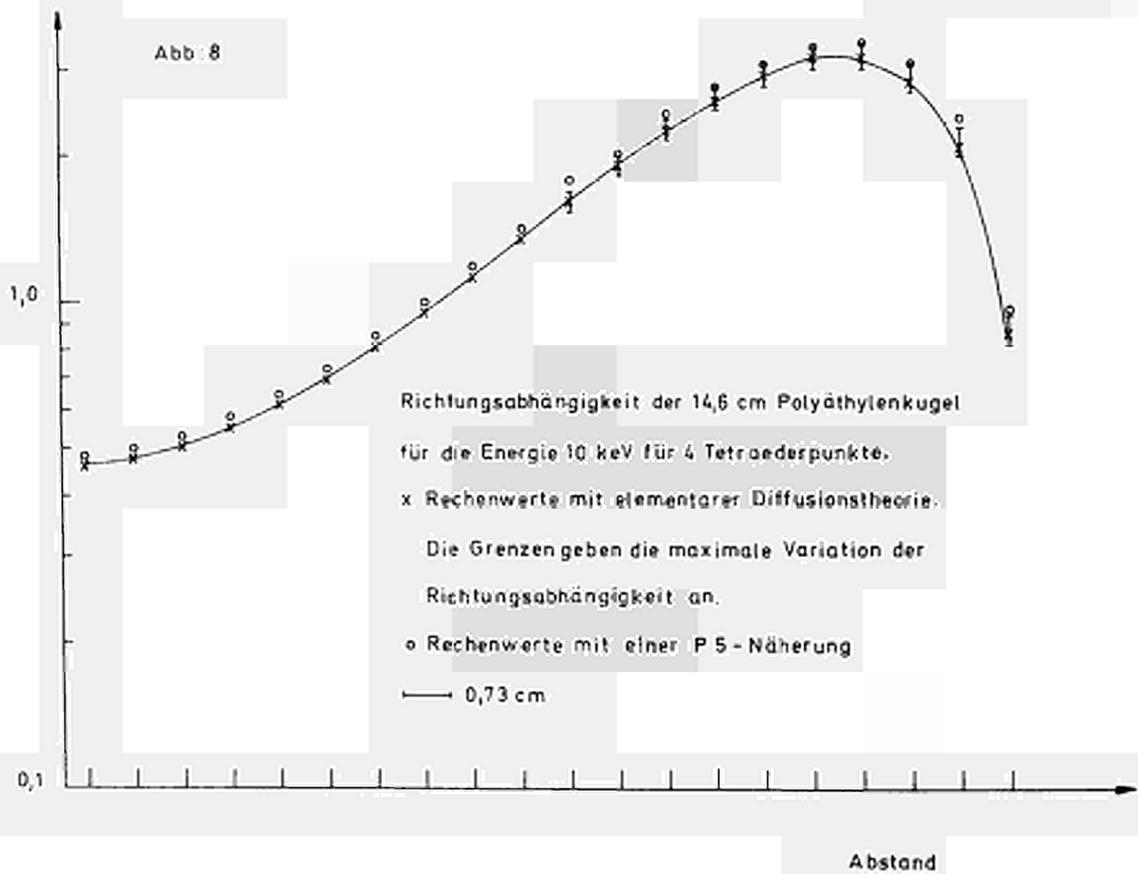
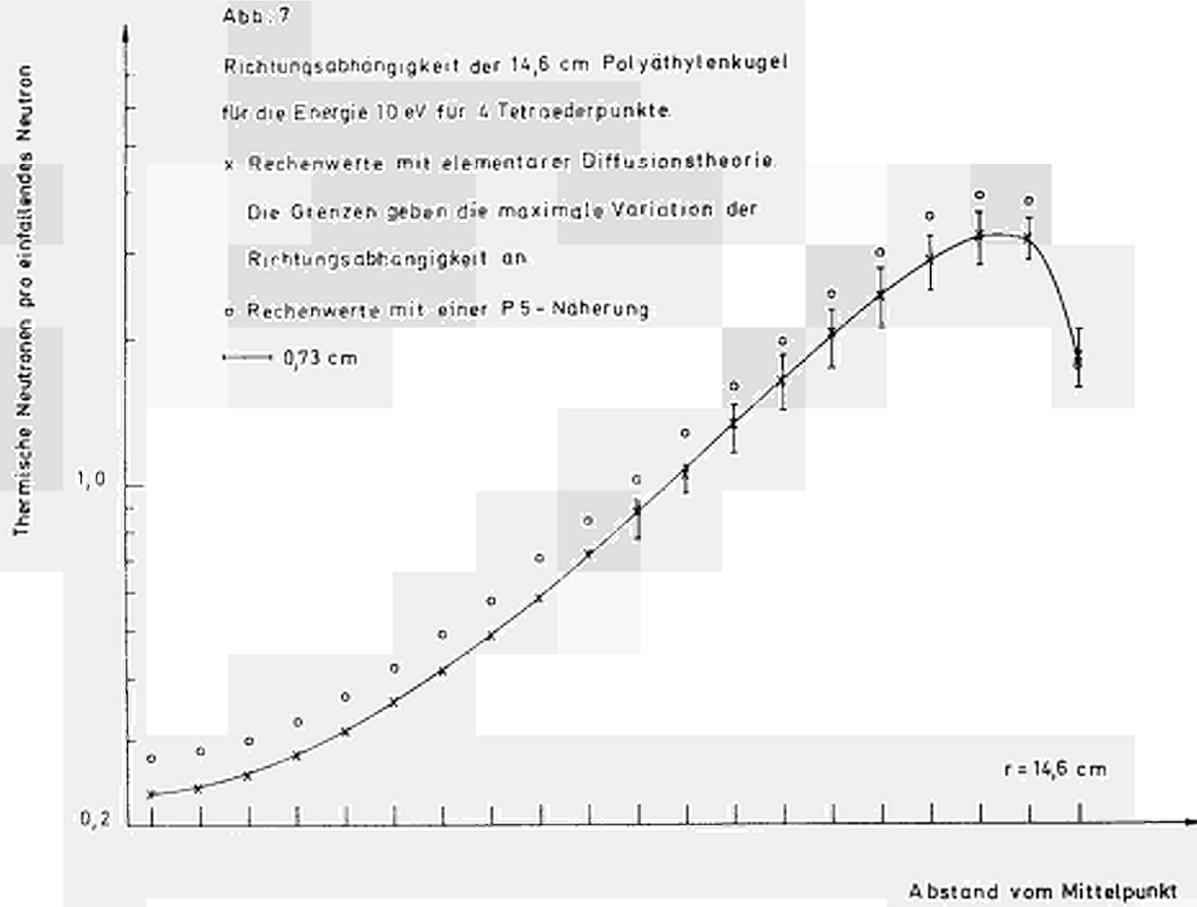
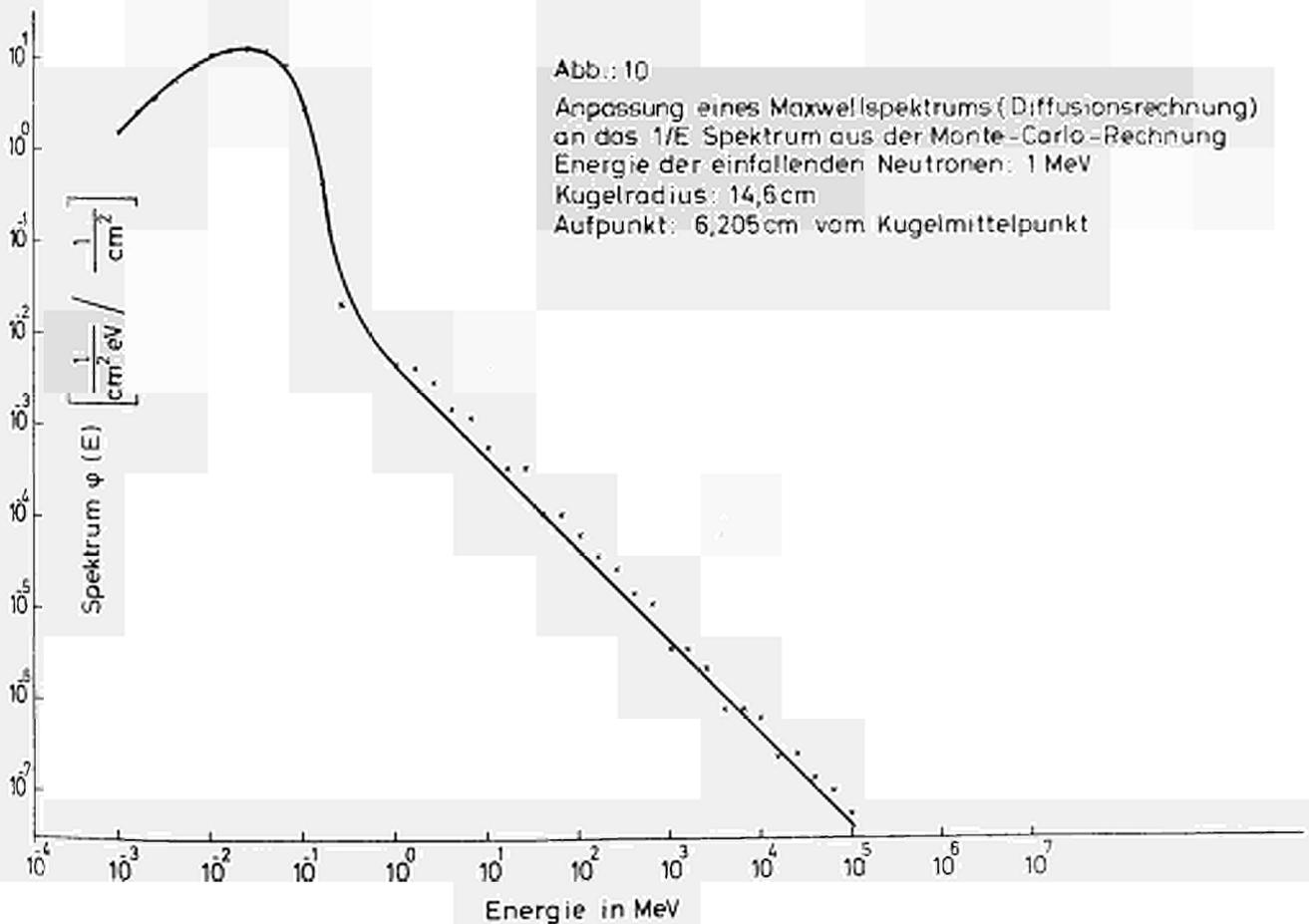
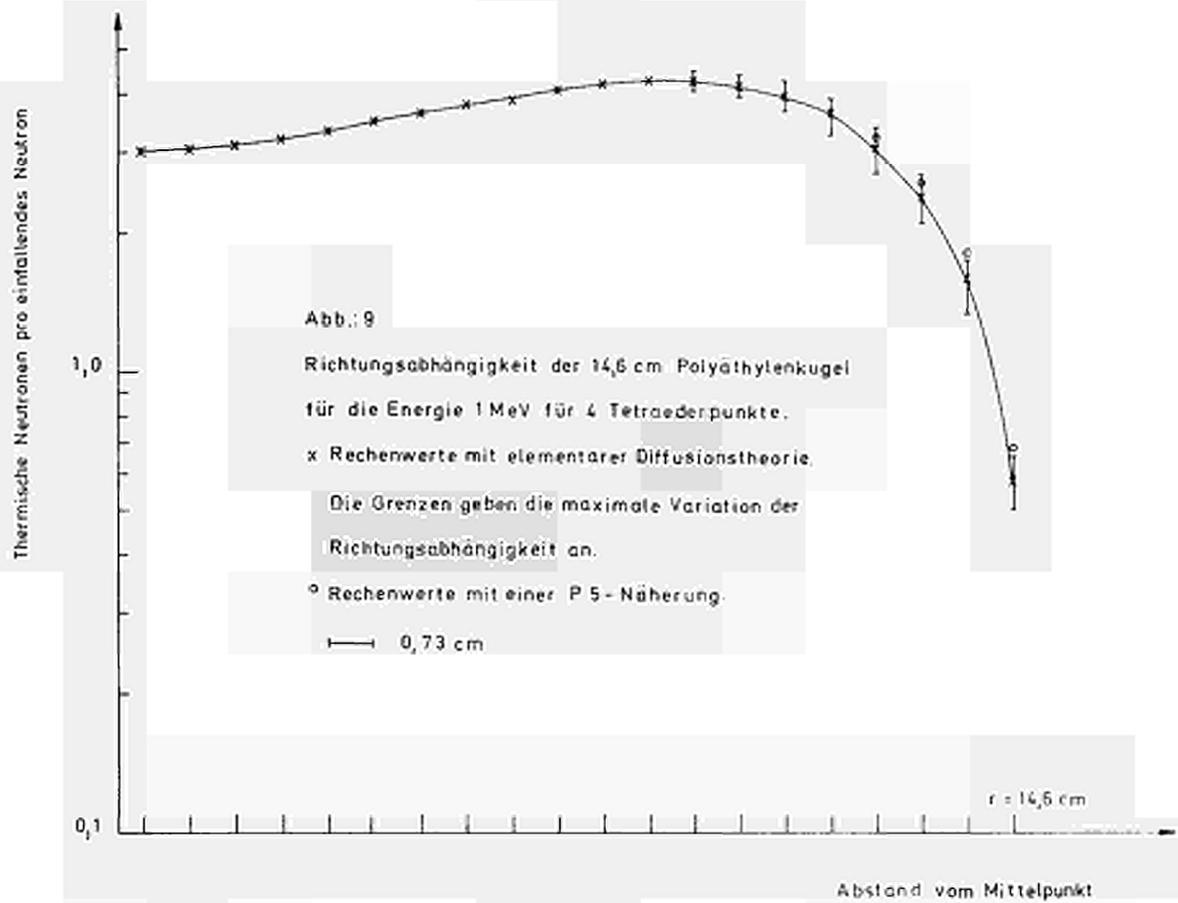
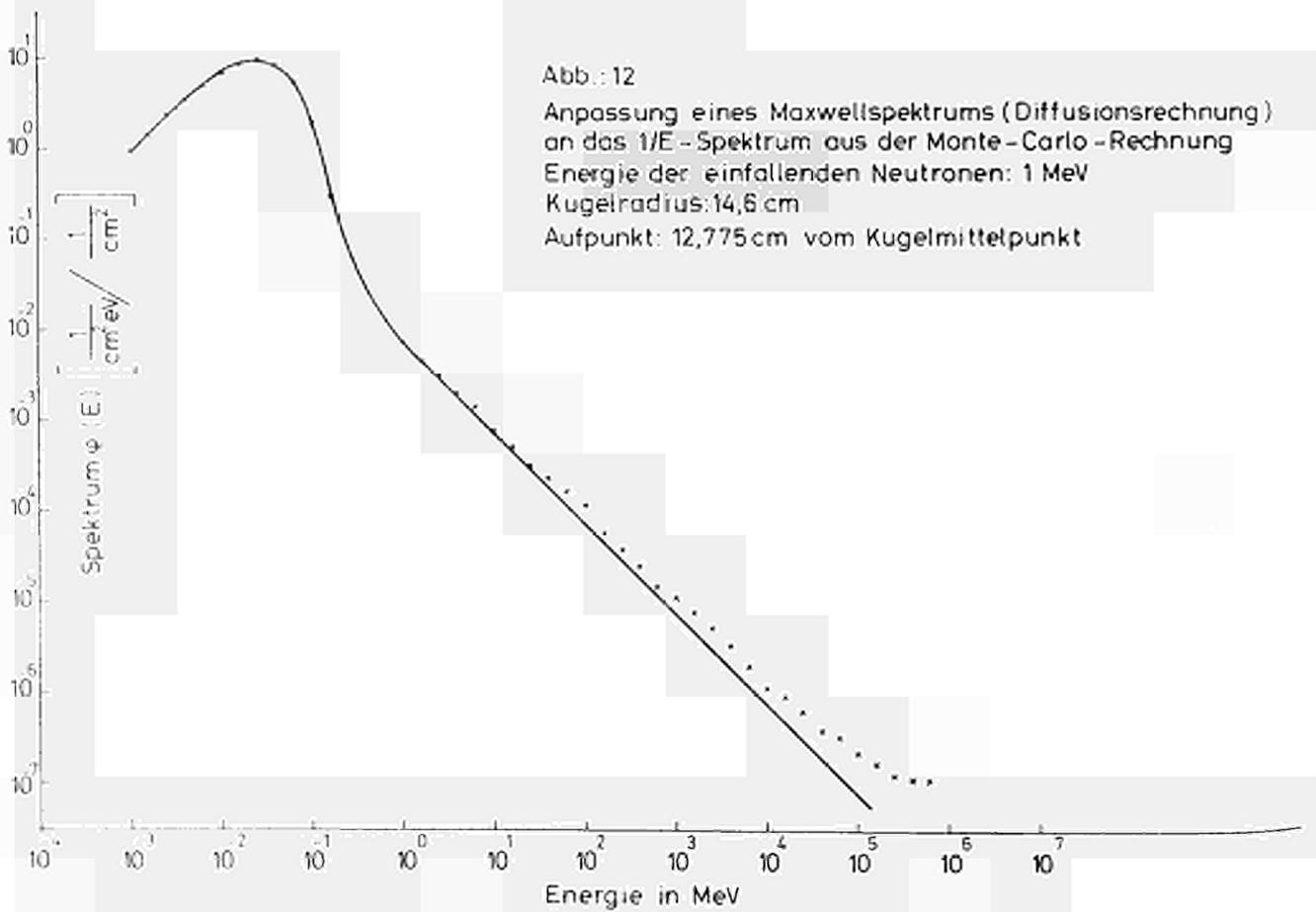
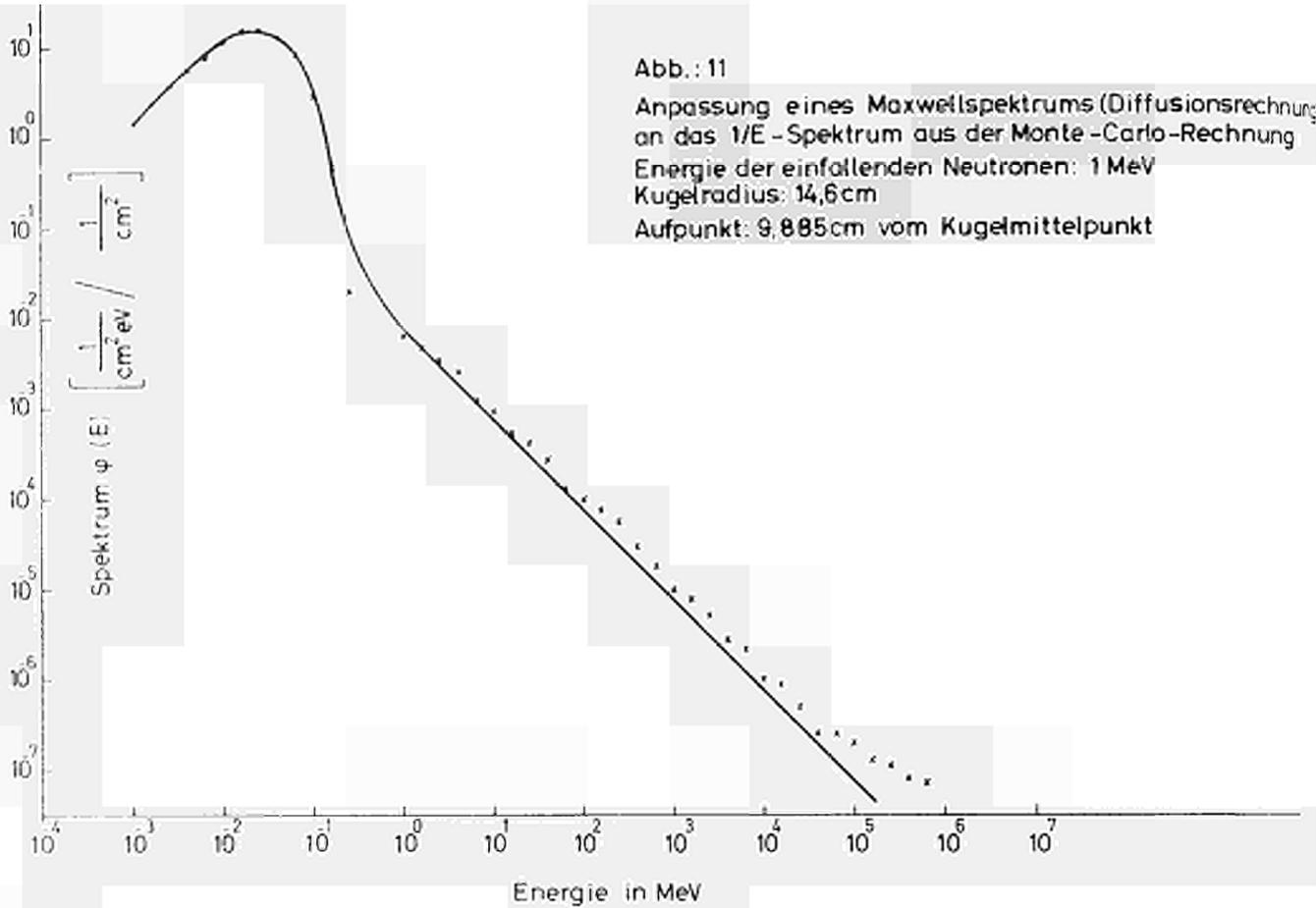


Abb. 6

Richtungsverteilung gestreuter Neutronen an einer Polyäthylenkugel







thermische Neutronen  
einfallende schnelle Neutronen

### Abb: 13

Empfindlichkeit eines Kugelmoderators  
im Mittelpunkt gegenüber einem  
Neutronen-Nadelstrahl im Abstand  $\rho$  vom  
Mittelpunkt  
Radius des Moderators: 14,5 cm  
Energie der einfallenden Neutronen 1 MeV

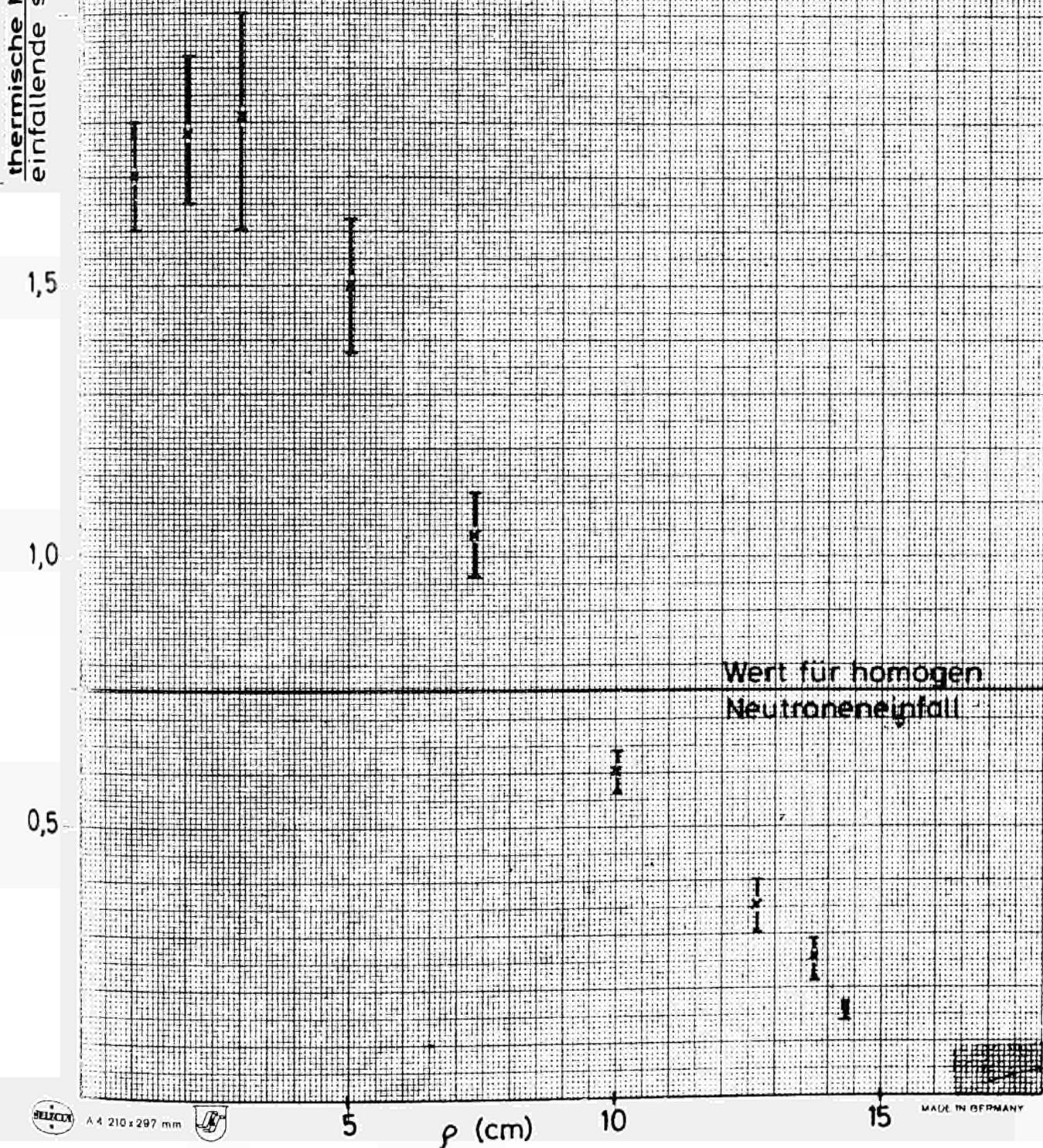
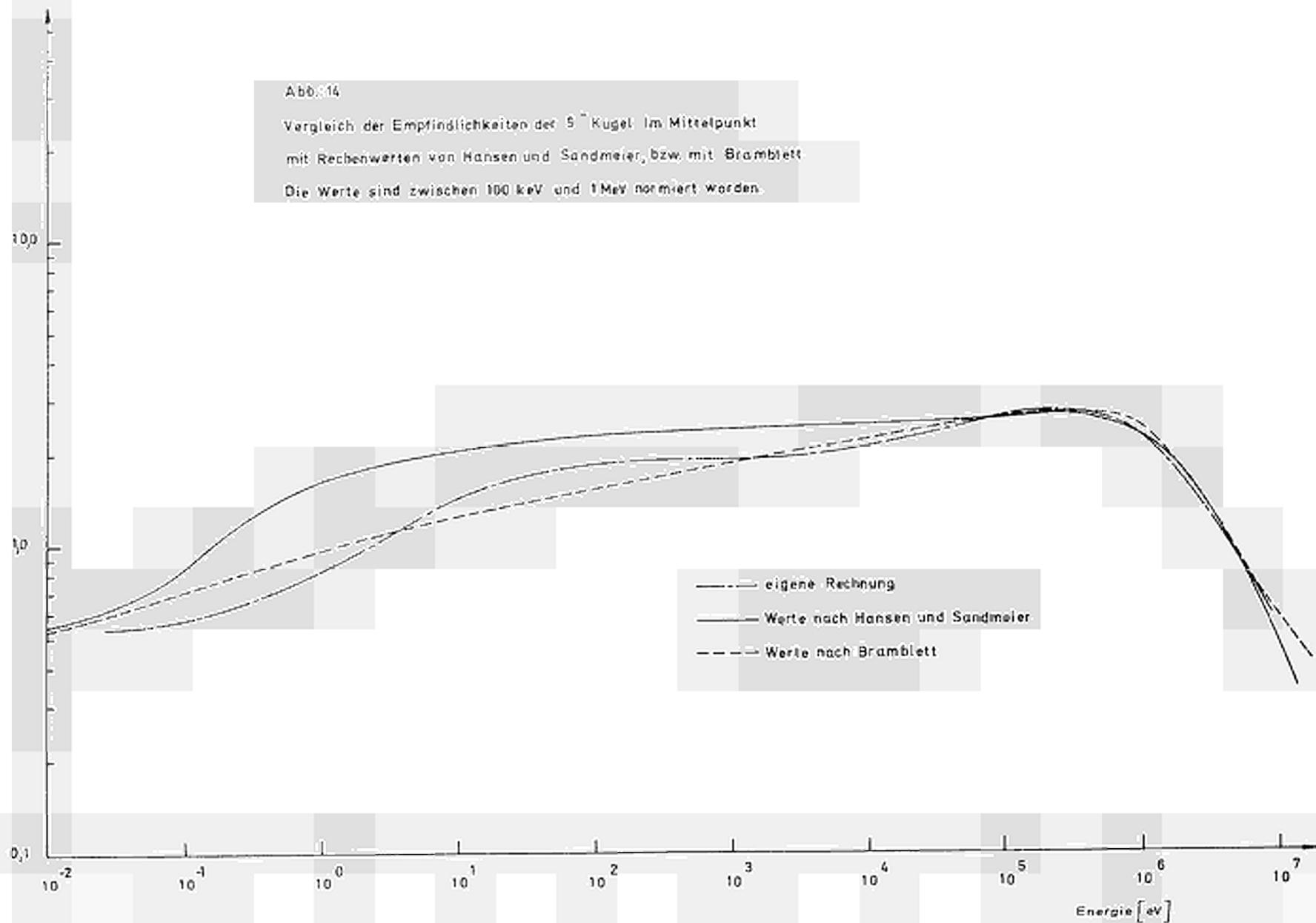


Abb. 14

Vergleich der Empfindlichkeiten der  $5^\circ$  Kugel im Mittelpunkt  
mit Rechenwerten von Hansen und Sandmeier, bzw. mit Bramblett.  
Die Werte sind zwischen 100 keV und 1 MeV normiert worden.



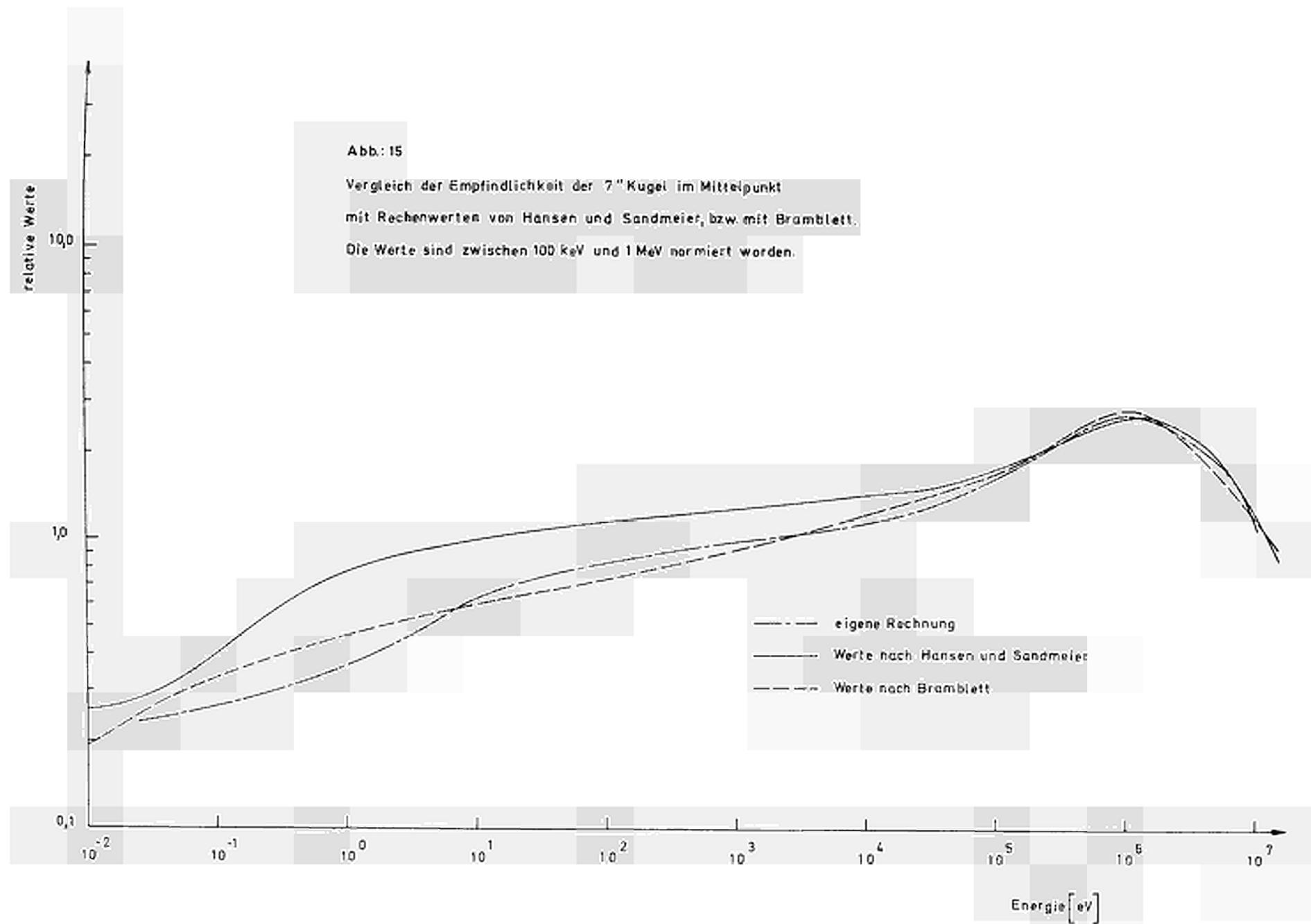
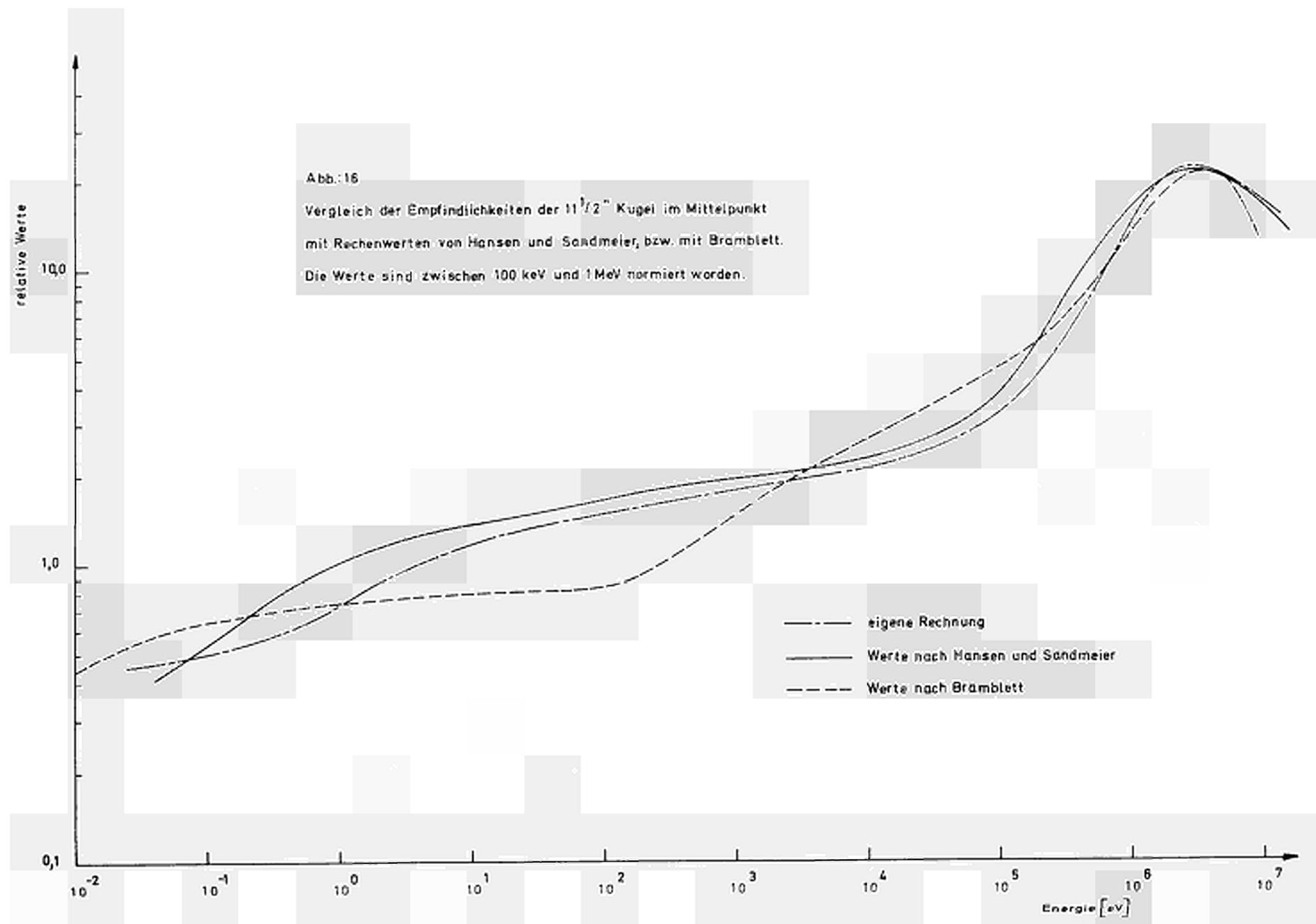
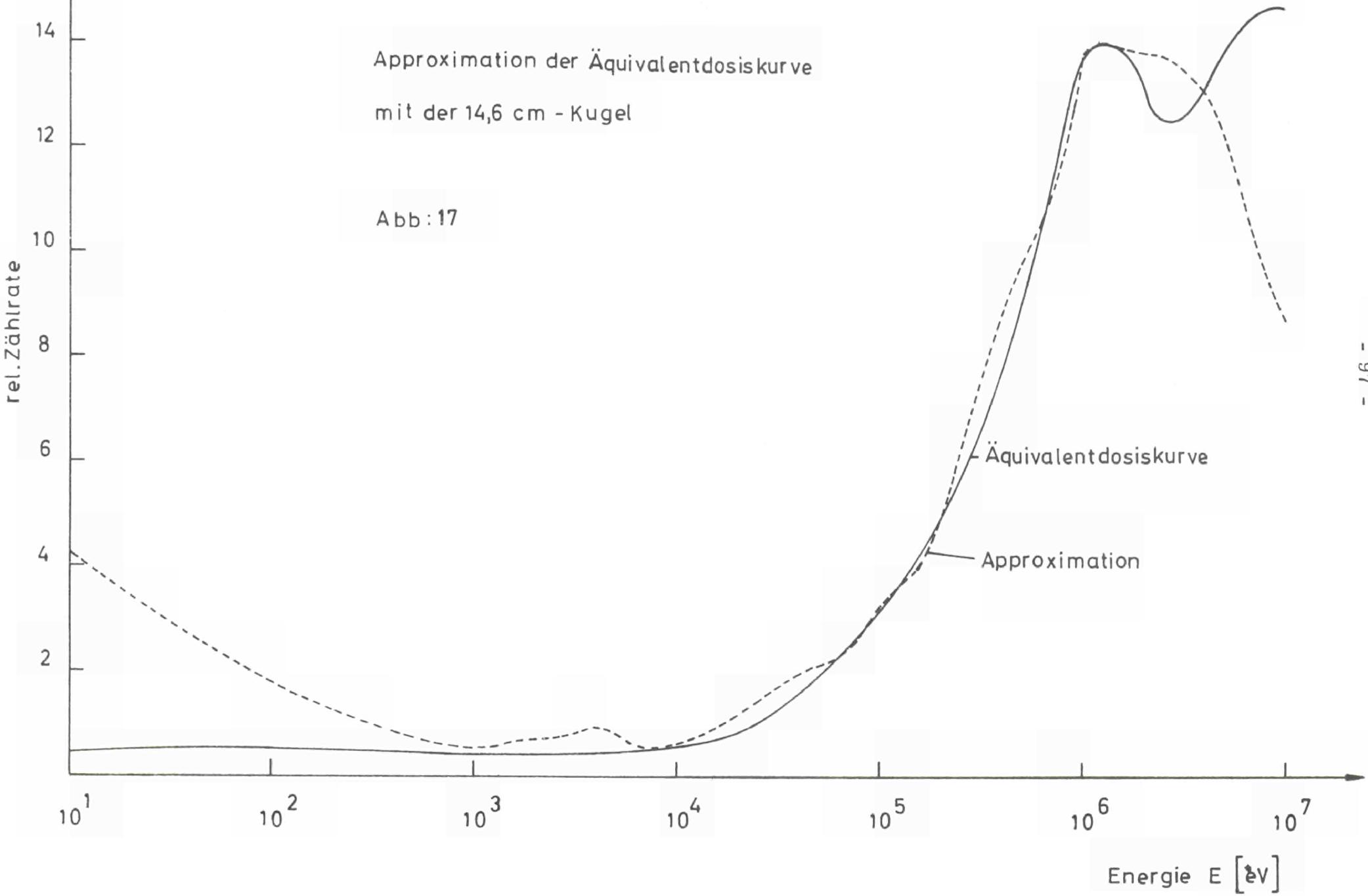


Abb.: 15

Vergleich der Empfindlichkeit der 7" Kugel im Mittelpunkt mit Rechenwerten von Hansen und Sandmeier, bzw. mit Bramblett. Die Werte sind zwischen 100 keV und 1 MeV normiert worden.



in der Kugel	Radien	11,31	13,50	5,47	1,09	11,31	4,74	8,39	9,85
Cosinus		0,75	0,75	0,95	0,25	0,55	-0,75	0,85	-0,15
Gewichts- faktoren		-6,74	6,13	10,44	-3,95	-4,25	3,50	4,76	-1,89



Approximation der Äquivalentdosiskurve  
mit der 14,6 cm - Kugel

Abb:18

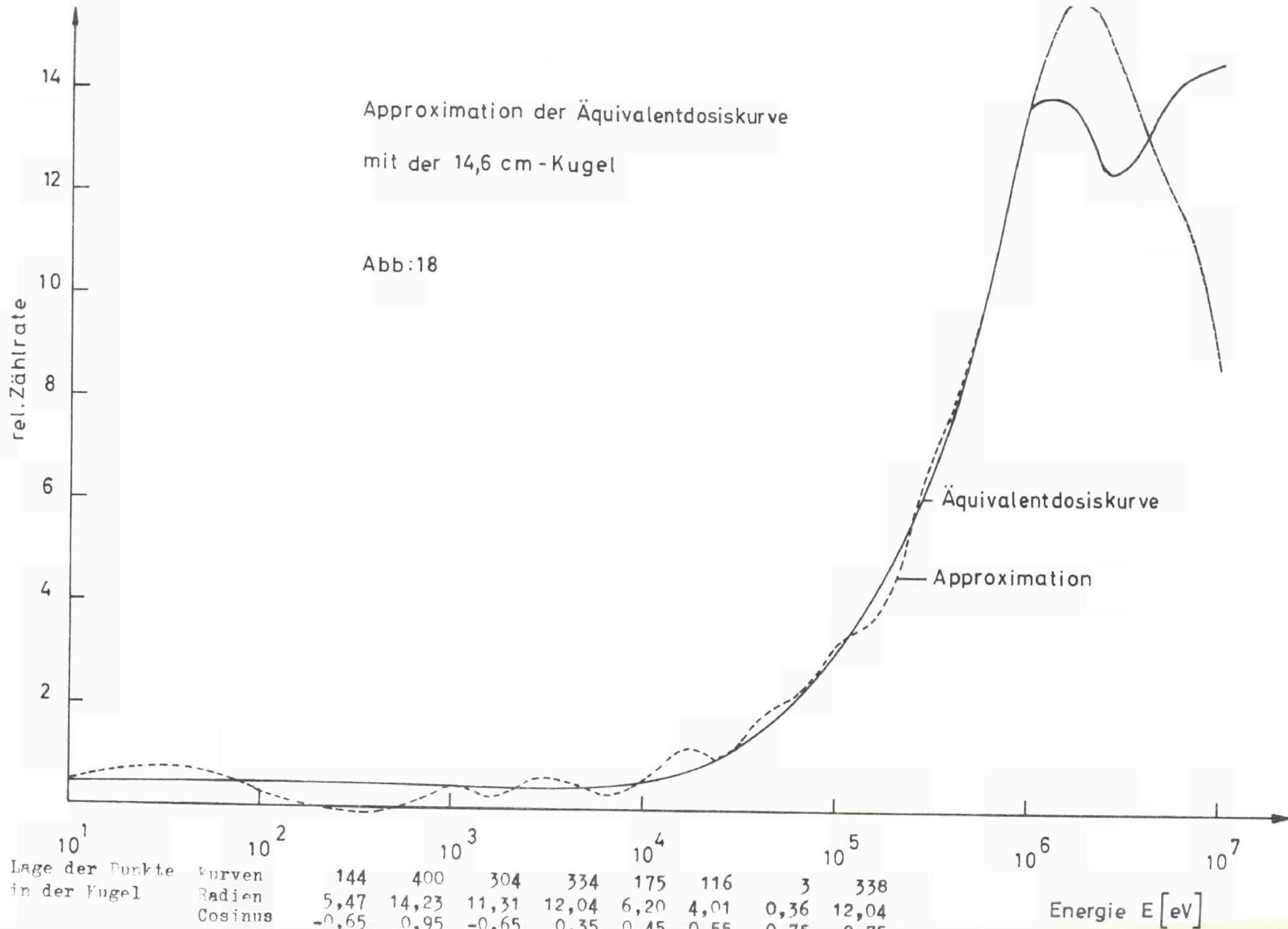


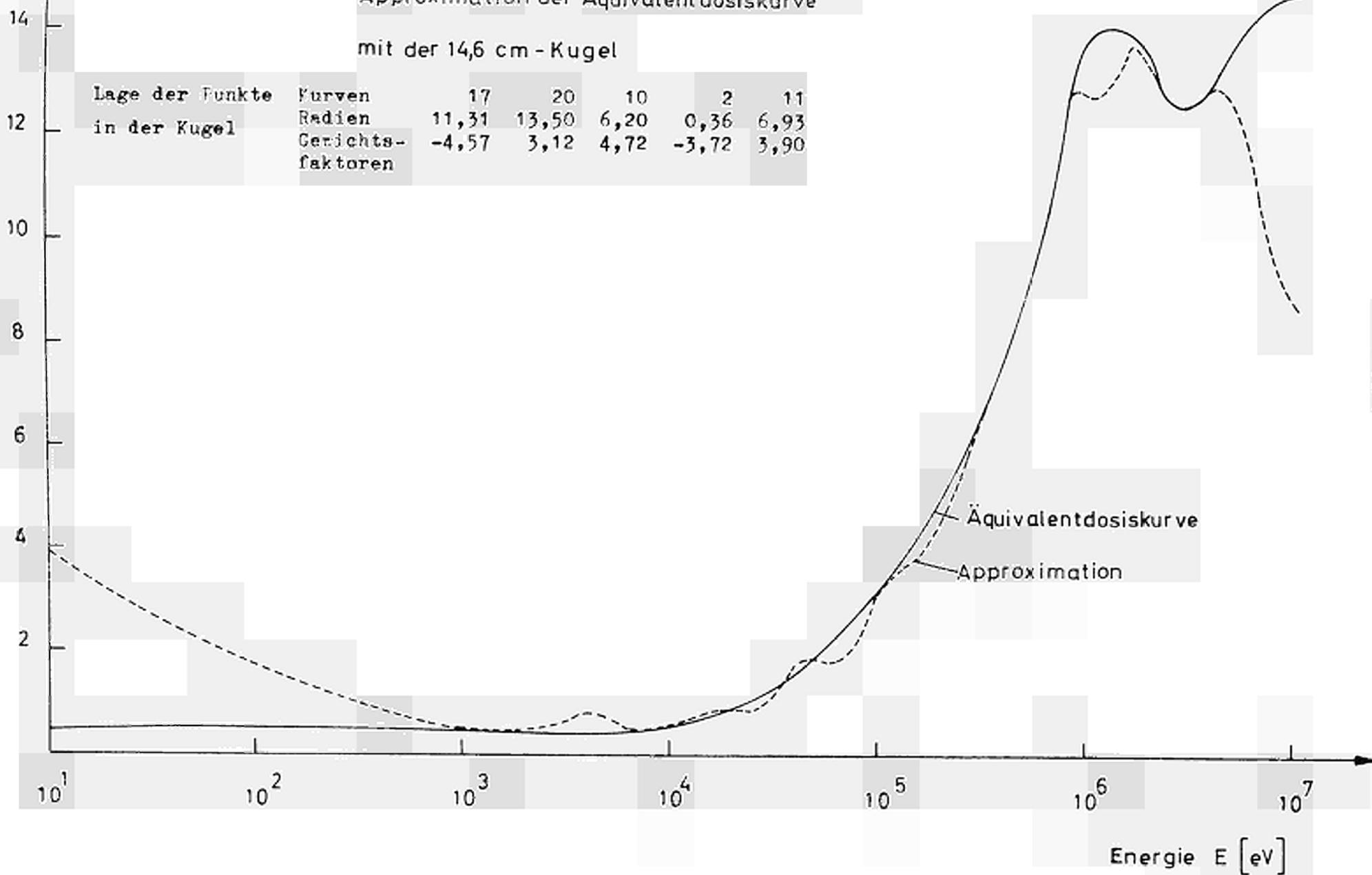
Abb: 19

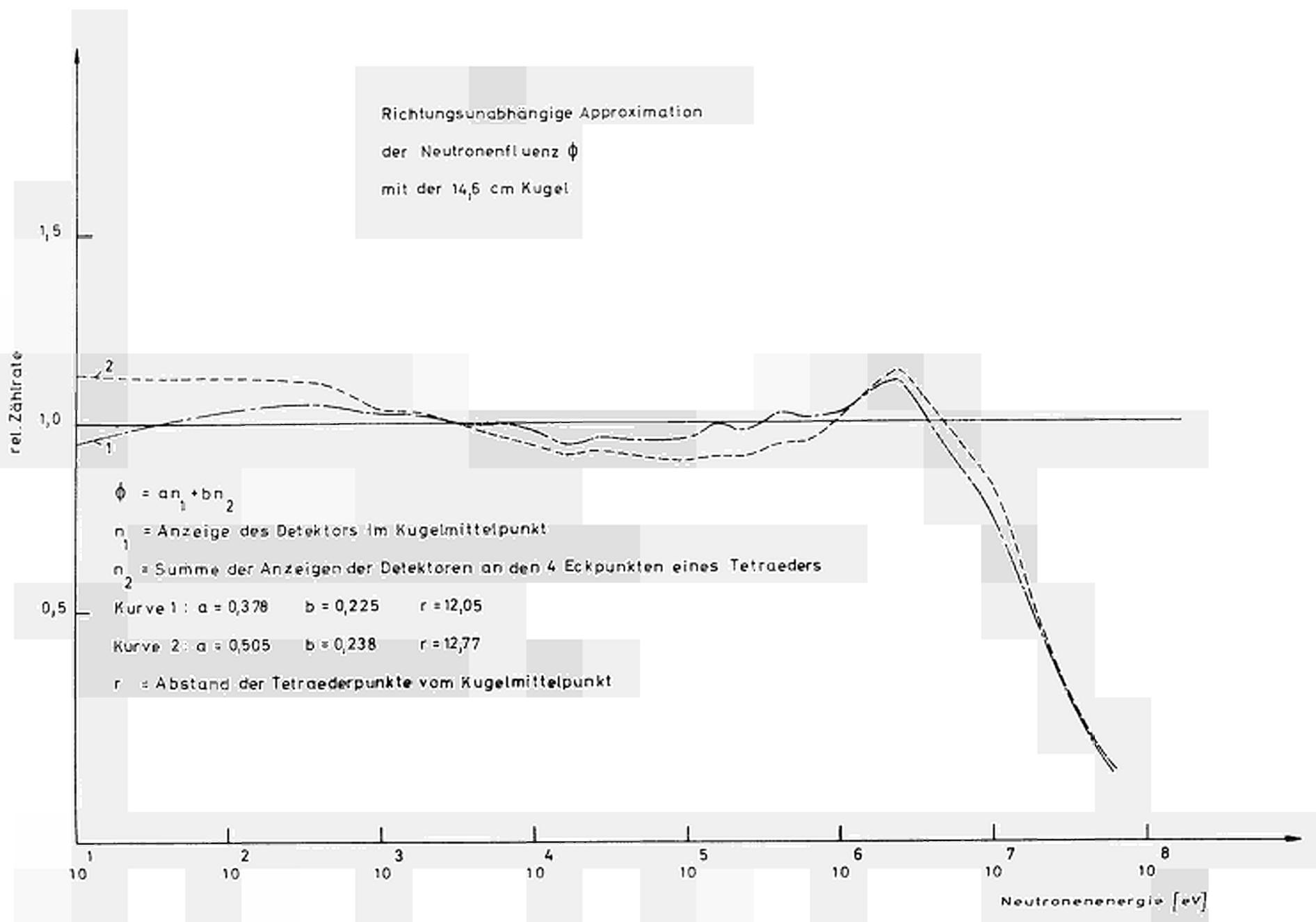
Approximation der Äquivalentdosiskurve

mit der 14,6 cm - Kugel

Lage der Punkte in der Kugel	Kurven	17	20	10	2	11
	Radien	11,31	13,50	6,20	0,36	6,93
	Gerichts- faktoren	-4,57	3,12	4,72	-3,72	3,90

rel. Zählrate





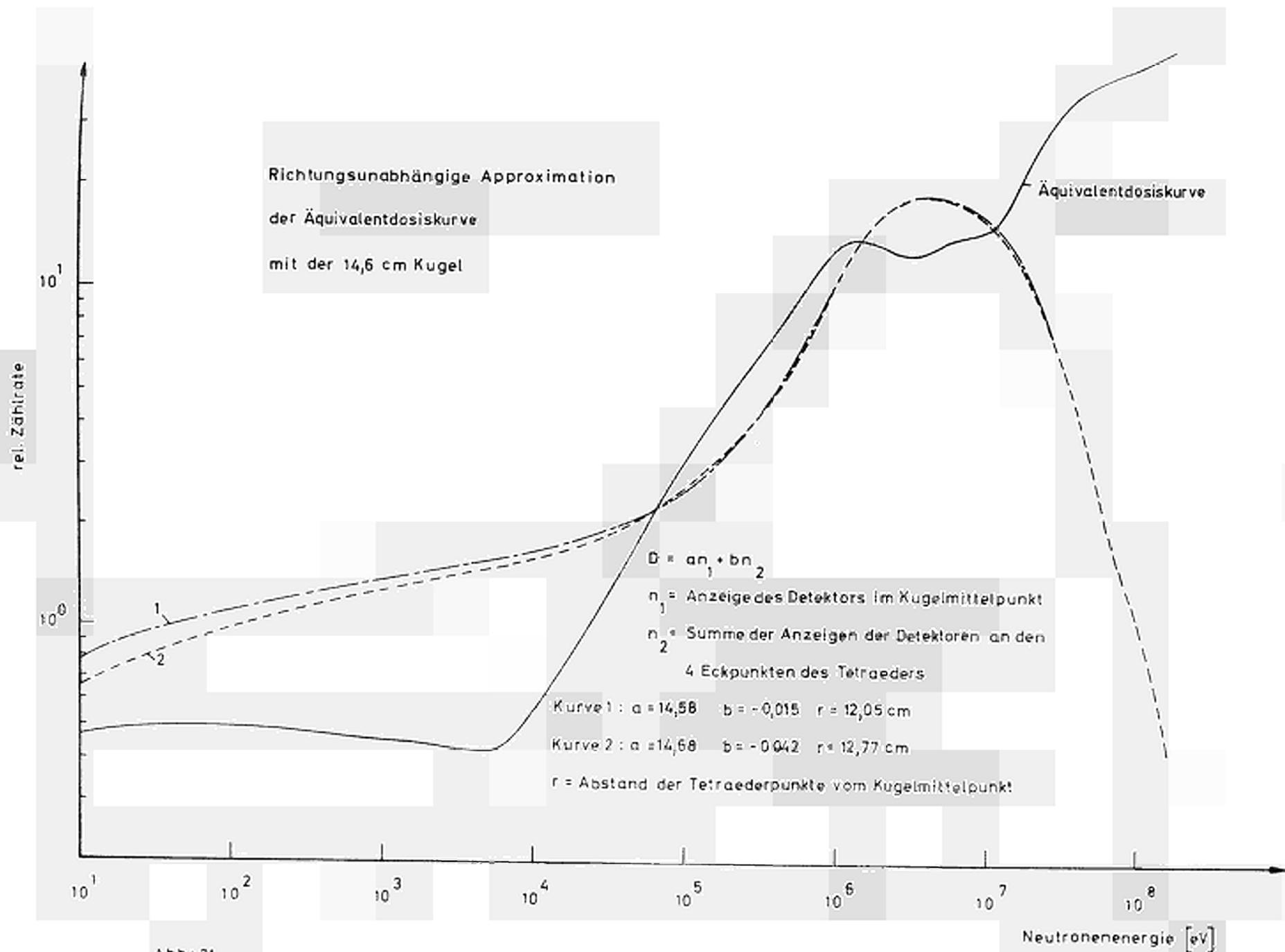
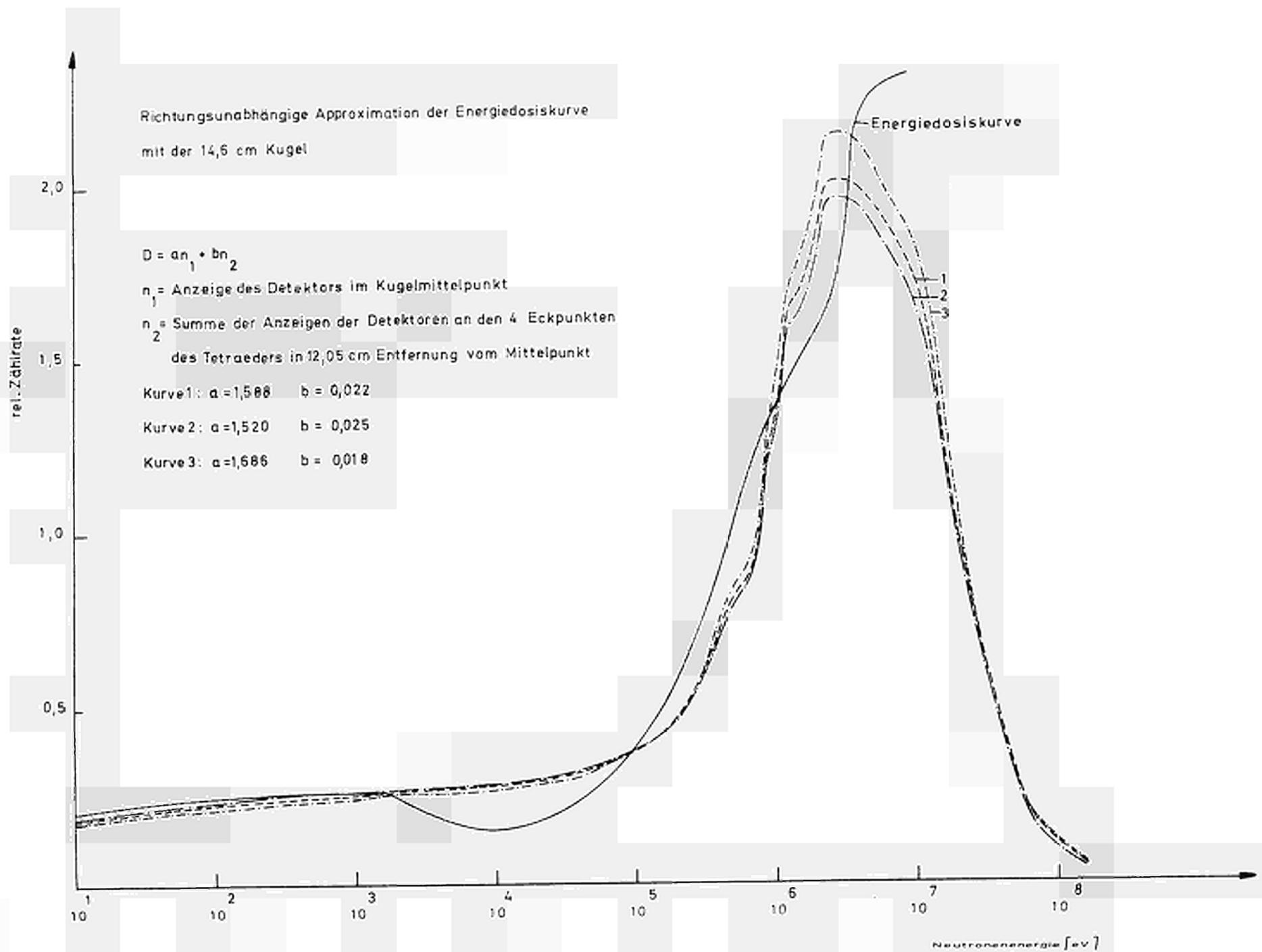
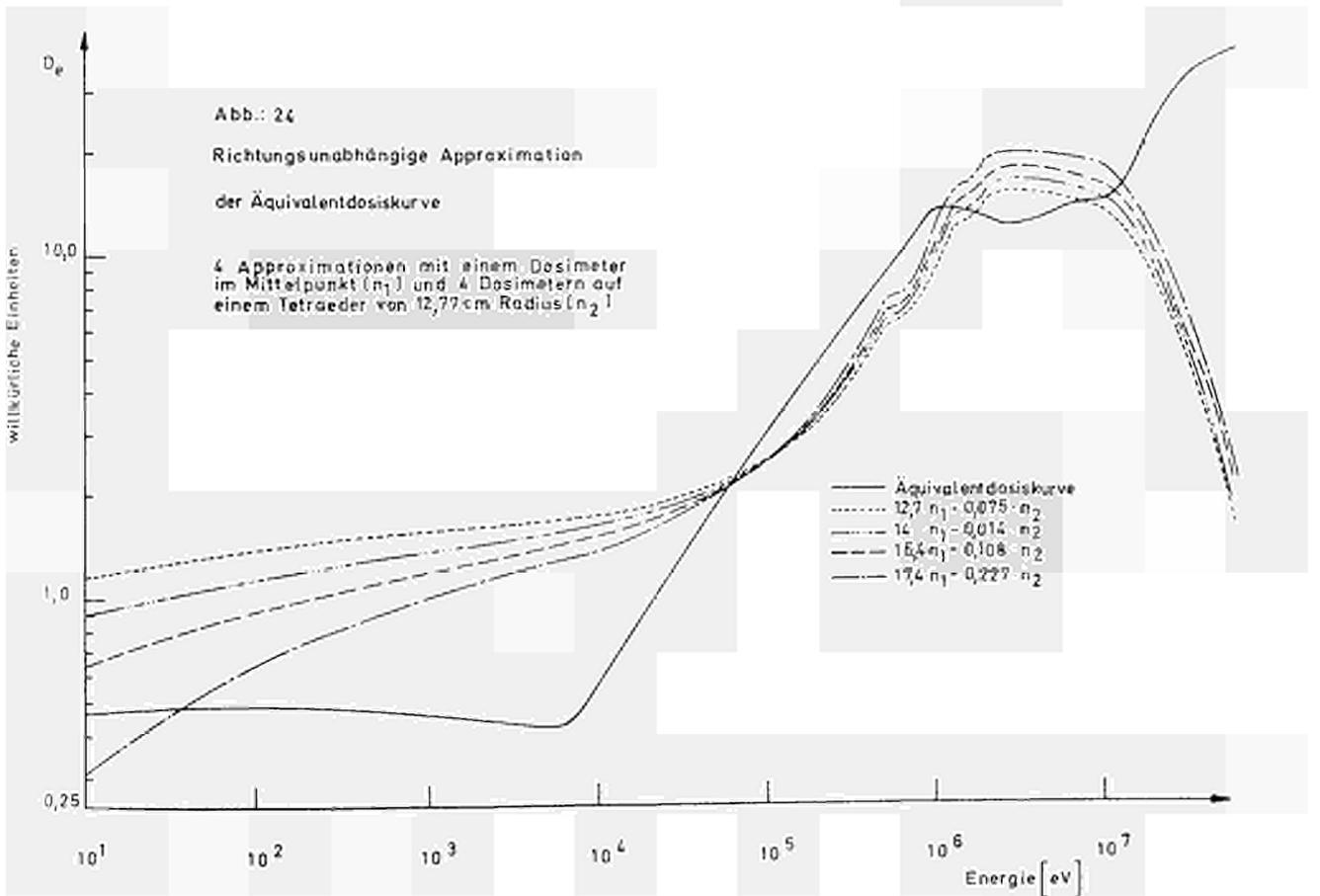
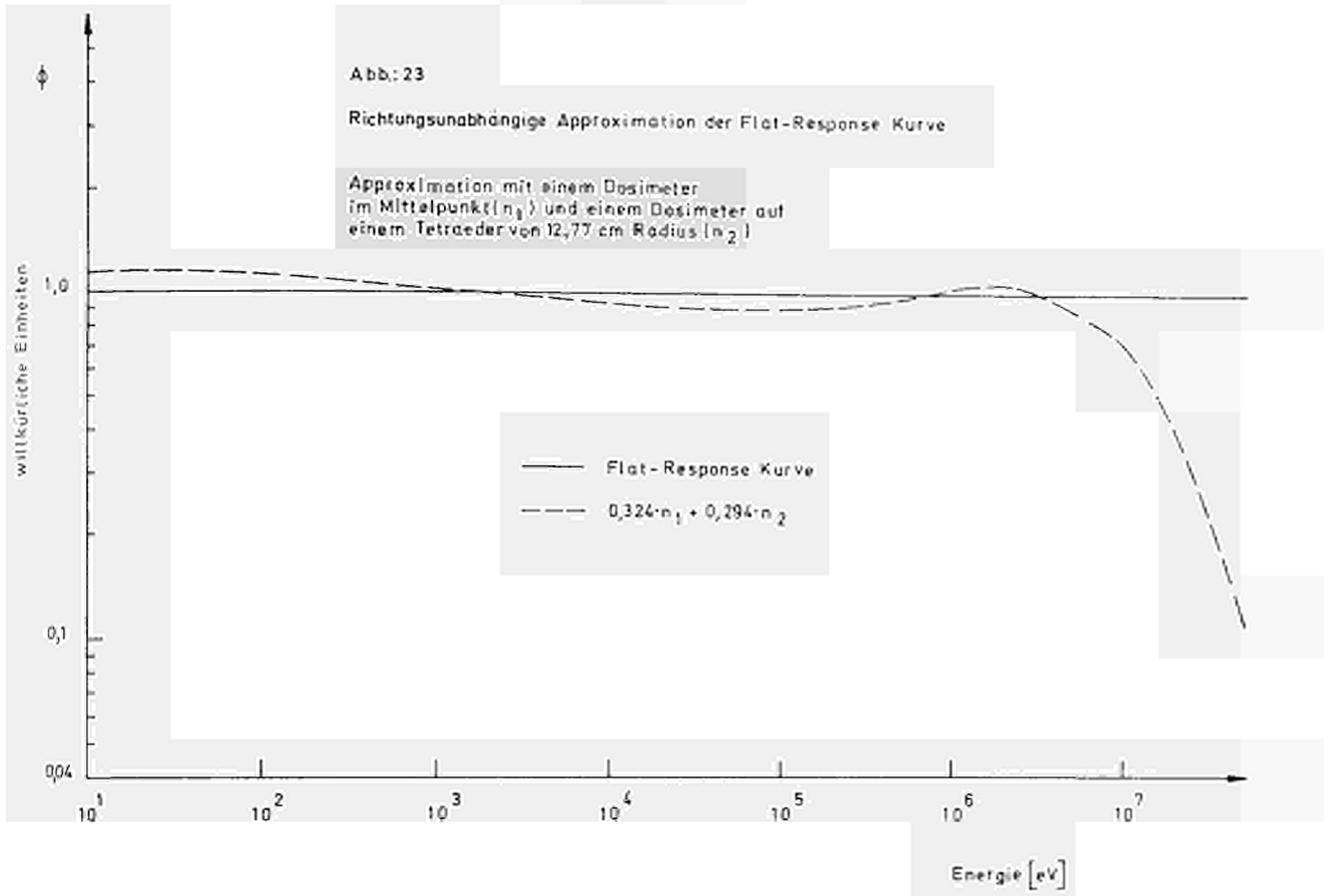


Abb.: 21





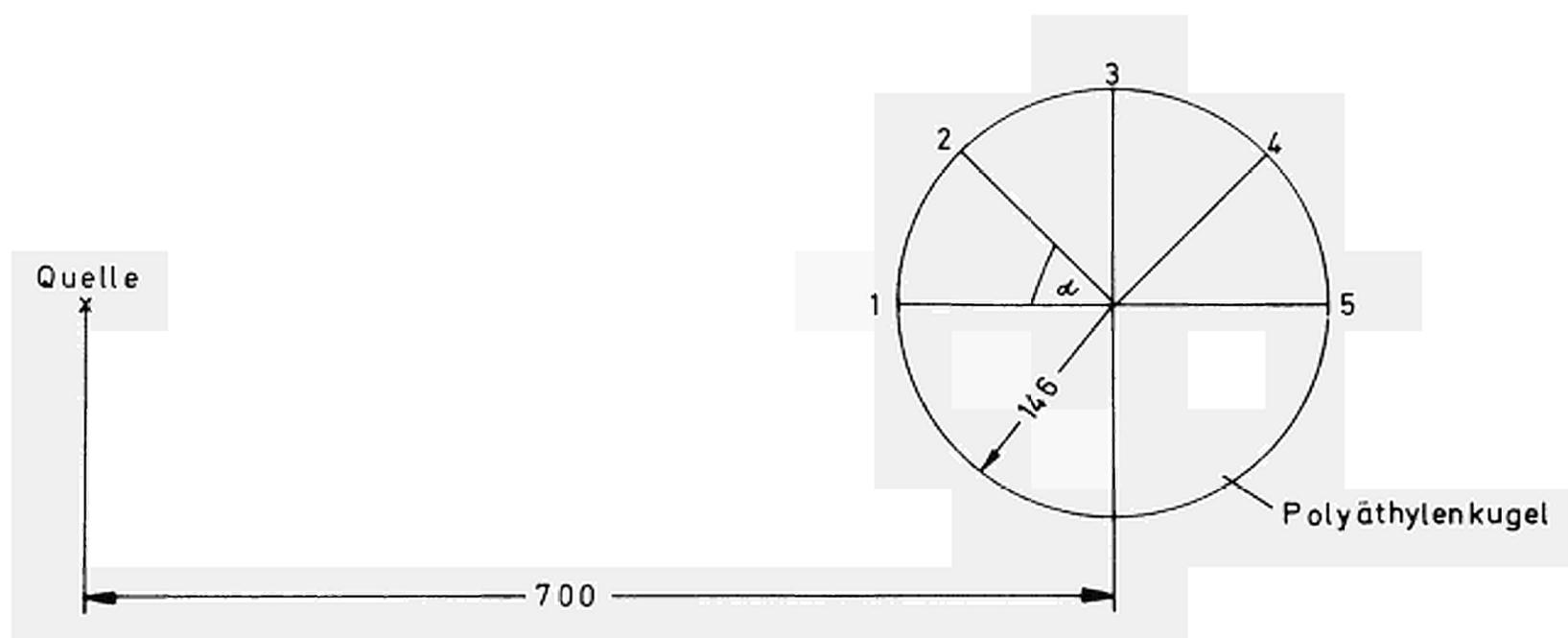


Abb.: 25

Skizze der Versuchsanordnung zur Fluenzmessung der Polyäthylenkugel  
 $\alpha$  : Winkel zwischen Einfallsrichtung der Neutronen und Kugelradius,  
 auf dem die Neutronenfluenz bestimmt wird.

1...5: Radien der Polyäthylenkugel, auf denen die Fluenz thermischer Neutronen bestimmt wird.

Abb. 26

Verteilung der therm. Neutronen in  
der Polyäthylenkugel  
Vergleich berechneter und gemessener  
Werte für die Am-Be-Quelle  
Radius der Polyäthylenkugel 14,6 cm  
Winkel zwischen Einfallsrichtung der  
Neutronen und Kugelradius, auf dem  
der Neutronenfluß bestimmt wurde.  
 $\alpha = 0^\circ$  und  $180^\circ$

--- gem. Werte  
— berechn. Werte

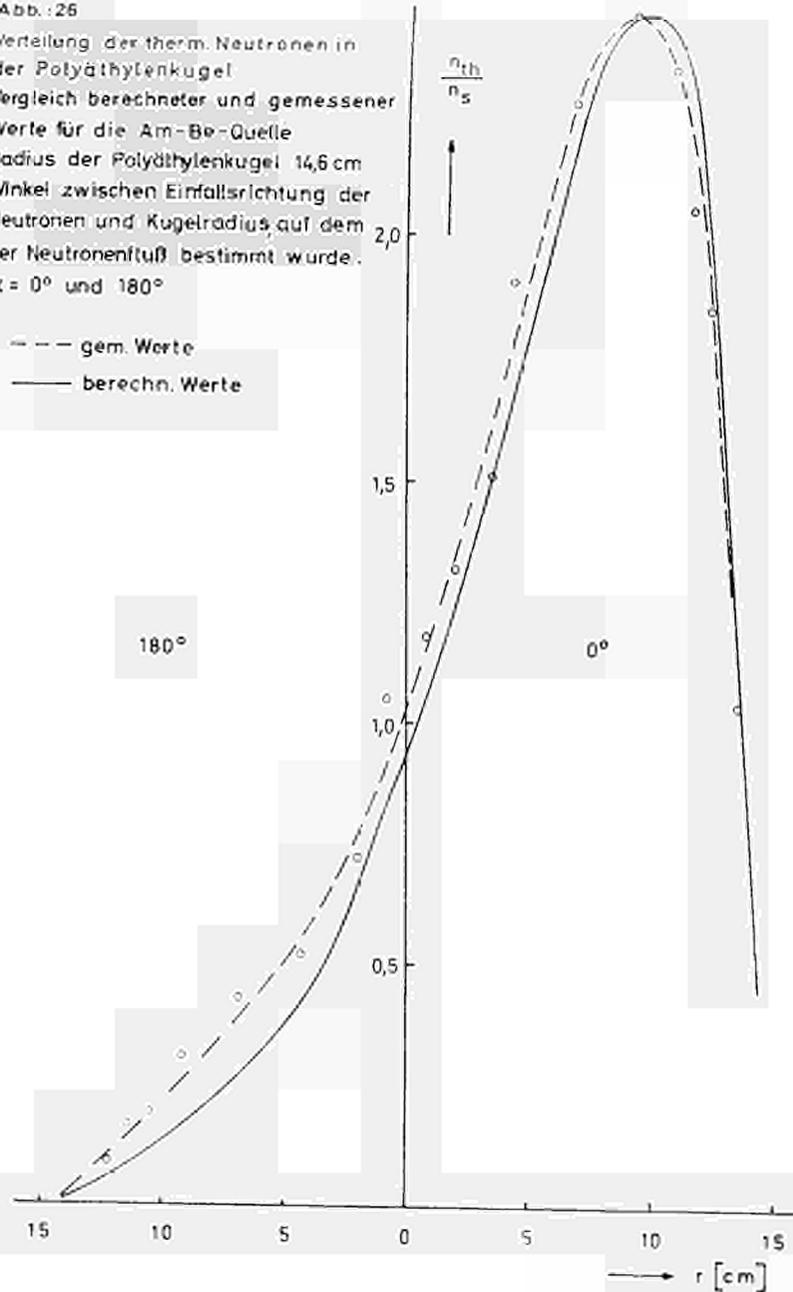


Abb. 27

Verteilung der therm. Neutronen in  
der Polyäthylenkugel  
Vergleich berechneter und gemessener  
Werte für die Am-Be-Quelle  
Radius der Polyäthylenkugel 14,6 cm  
Winkel zwischen Einfallsrichtung der  
Neutronen und Kugelradius, auf dem  
der Neutronenfluß bestimmt wurde  
 $\alpha = 135^\circ$  und  $45^\circ$

--- gem. Werte  
— berechn. Werte

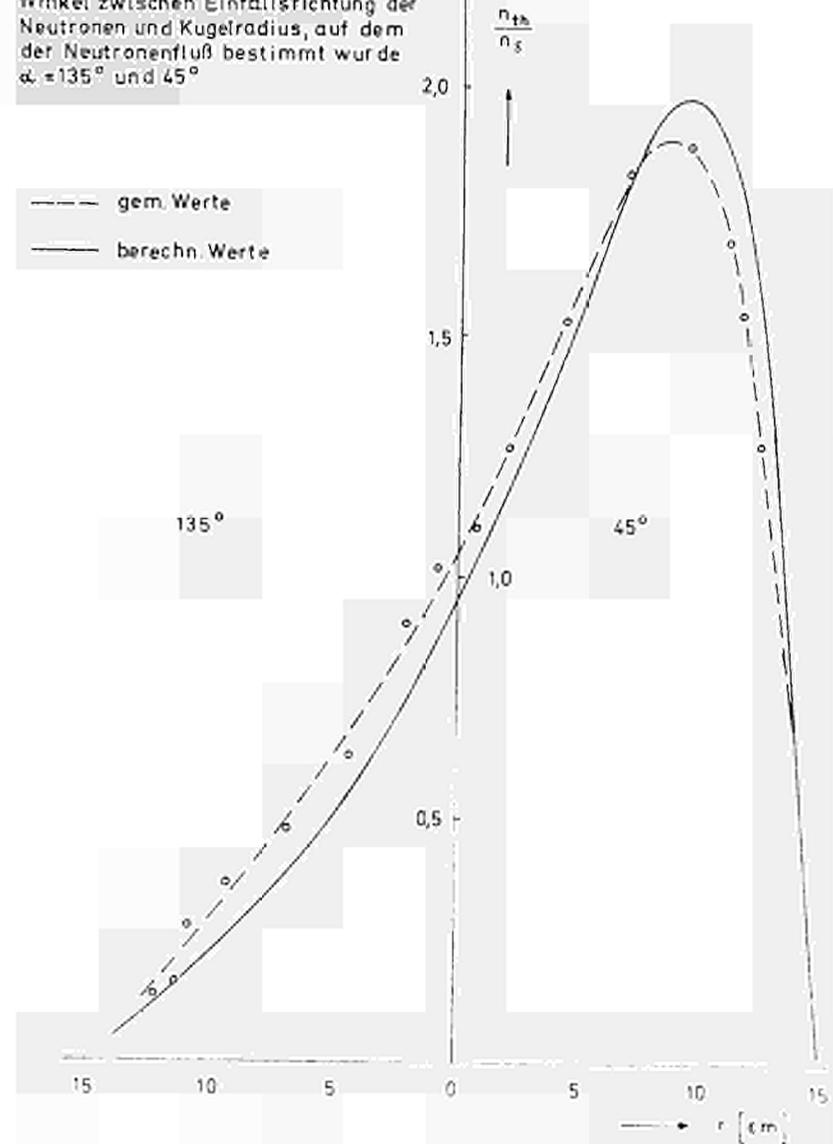


Abb.: 28

Verteilung der therm. Neutronen in der Polyäthylenkugel.  
 Vergleich berechn. und gem. Werte für die Am-Be-Quelle  
 Winkel zwischen Einfallsrichtung der Neutronen und  
 Kugelradius, auf dem der Neutronenfluß bestimmt wurde  $\alpha=90^\circ$   
 Radius der Polyäthylenkugel 14,6 cm.

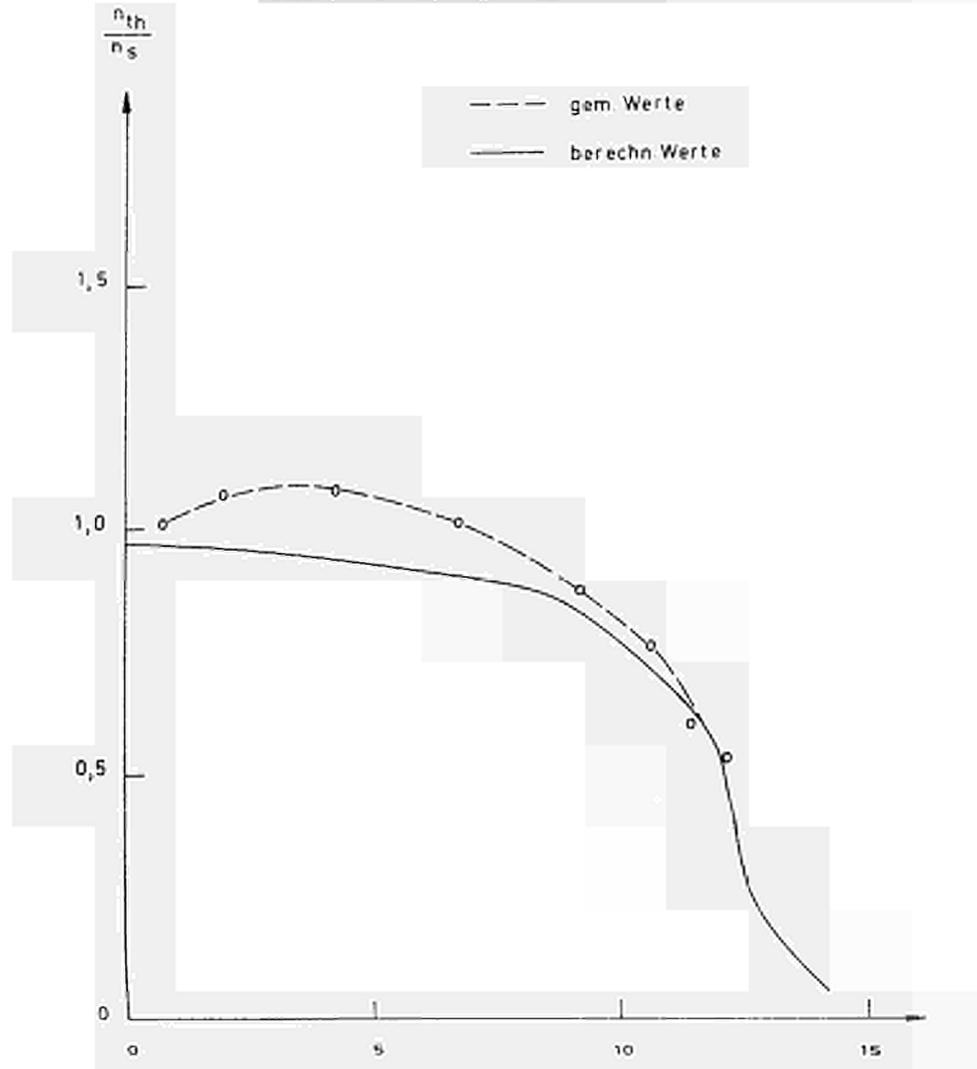
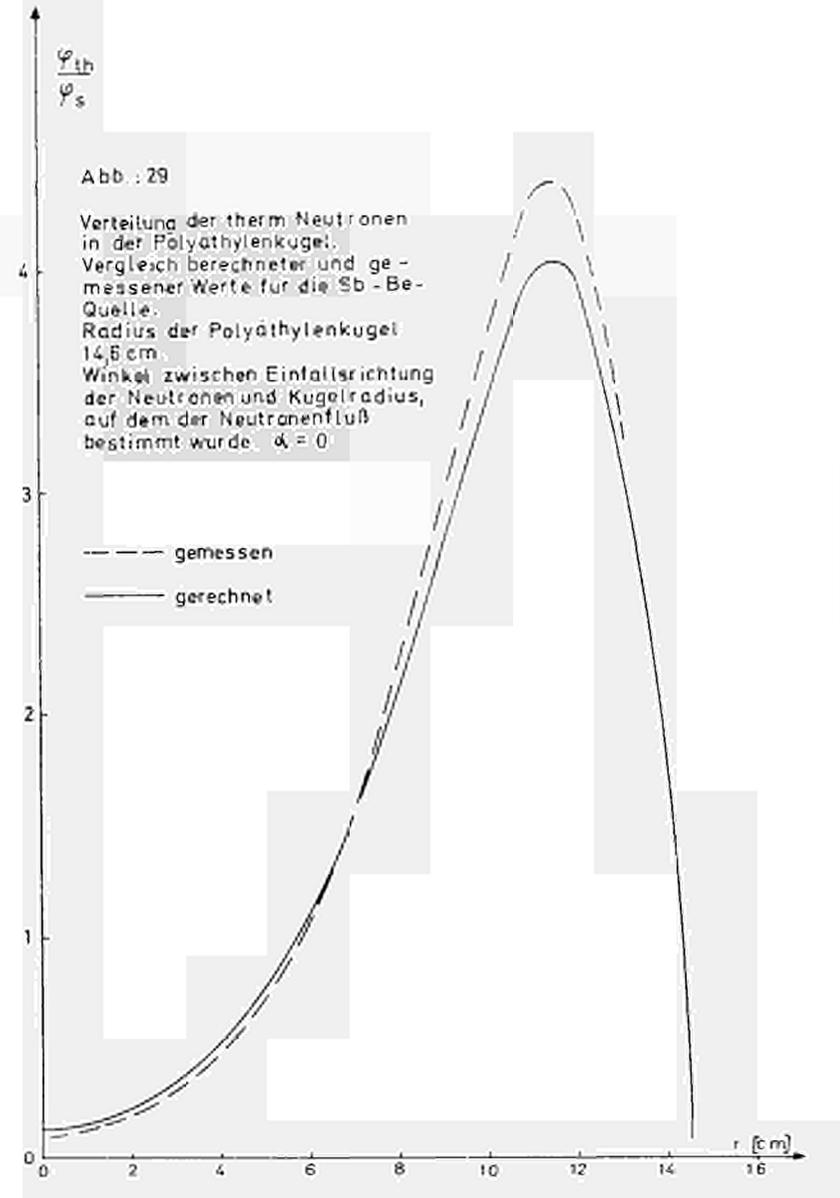


Abb.: 29

Verteilung der therm. Neutronen  
 in der Polyäthylenkugel.  
 Vergleich berechneter und ge-  
 messener Werte für die Sb-Be-  
 Quelle.  
 Radius der Polyäthylenkugel  
 14,6 cm.  
 Winkel zwischen Einfallsrichtung  
 der Neutronen und Kugelradius,  
 auf dem der Neutronenfluß  
 bestimmt wurde.  $\alpha = 0$



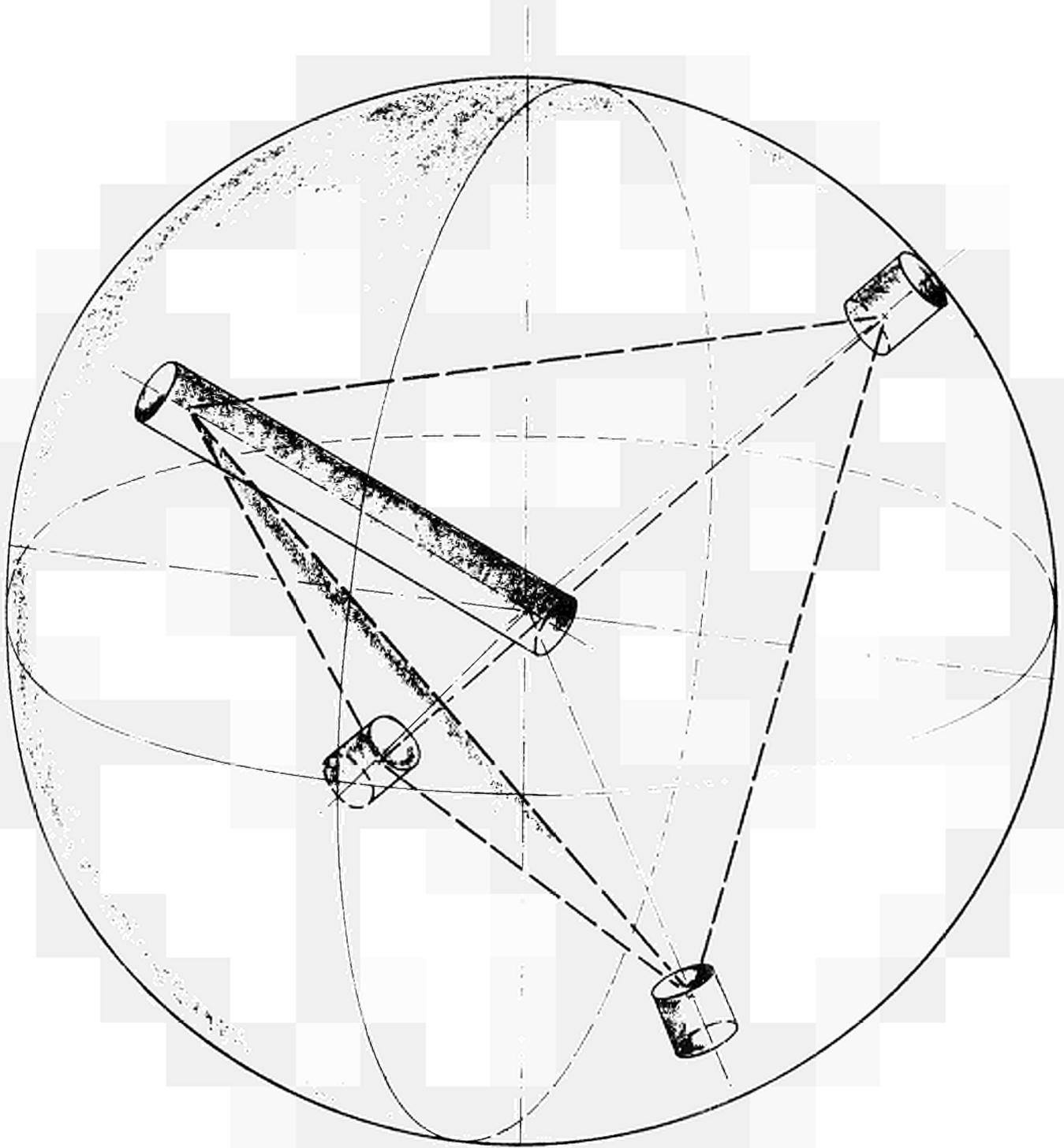


Abb.:30

Perspektivische Darstellung des Dosimeters mit der  
11,5" Polyäthylenkugel

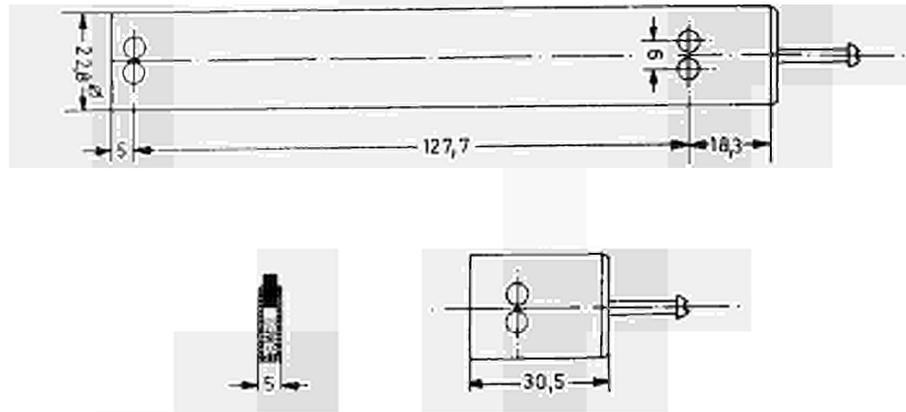
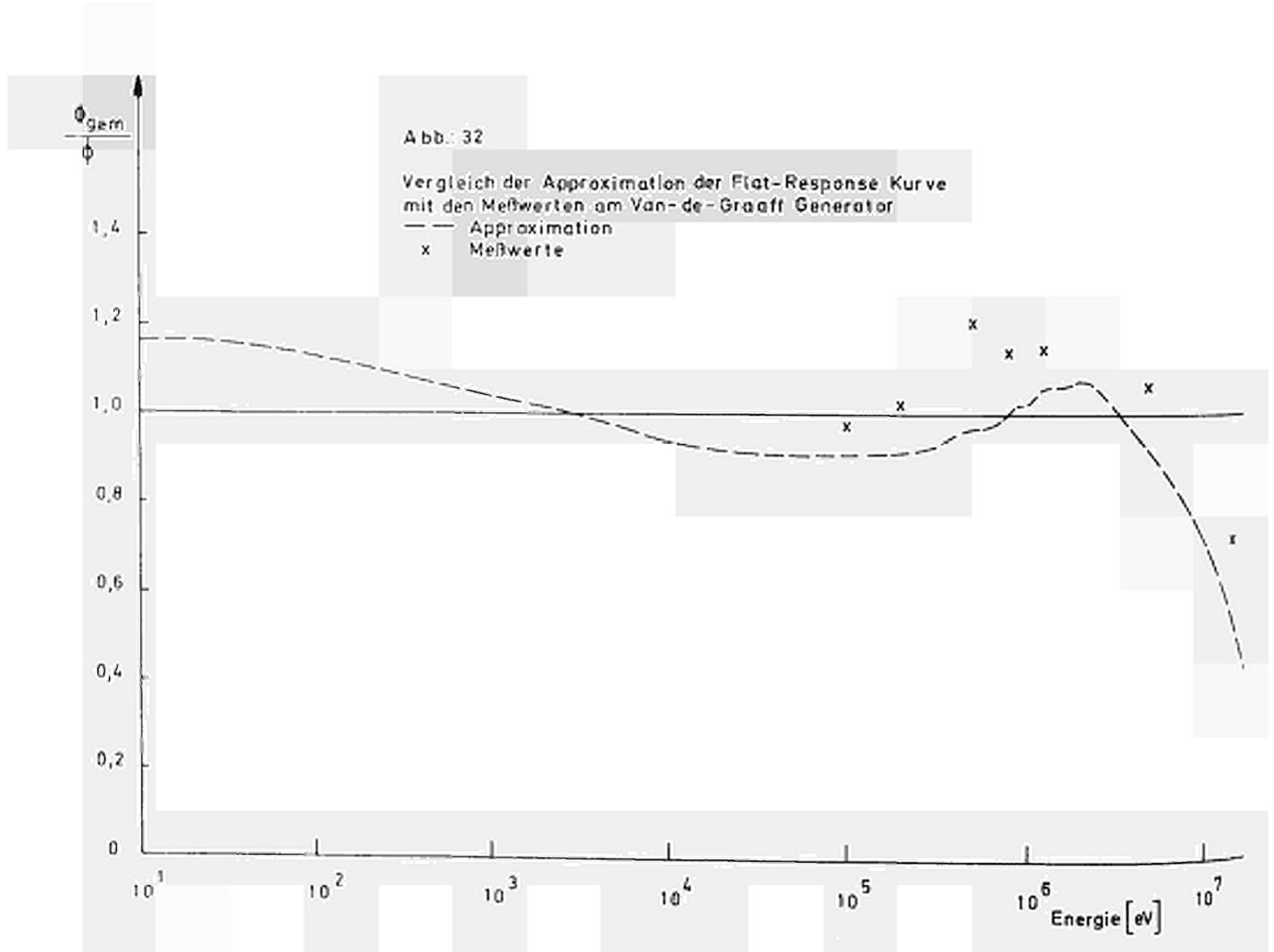
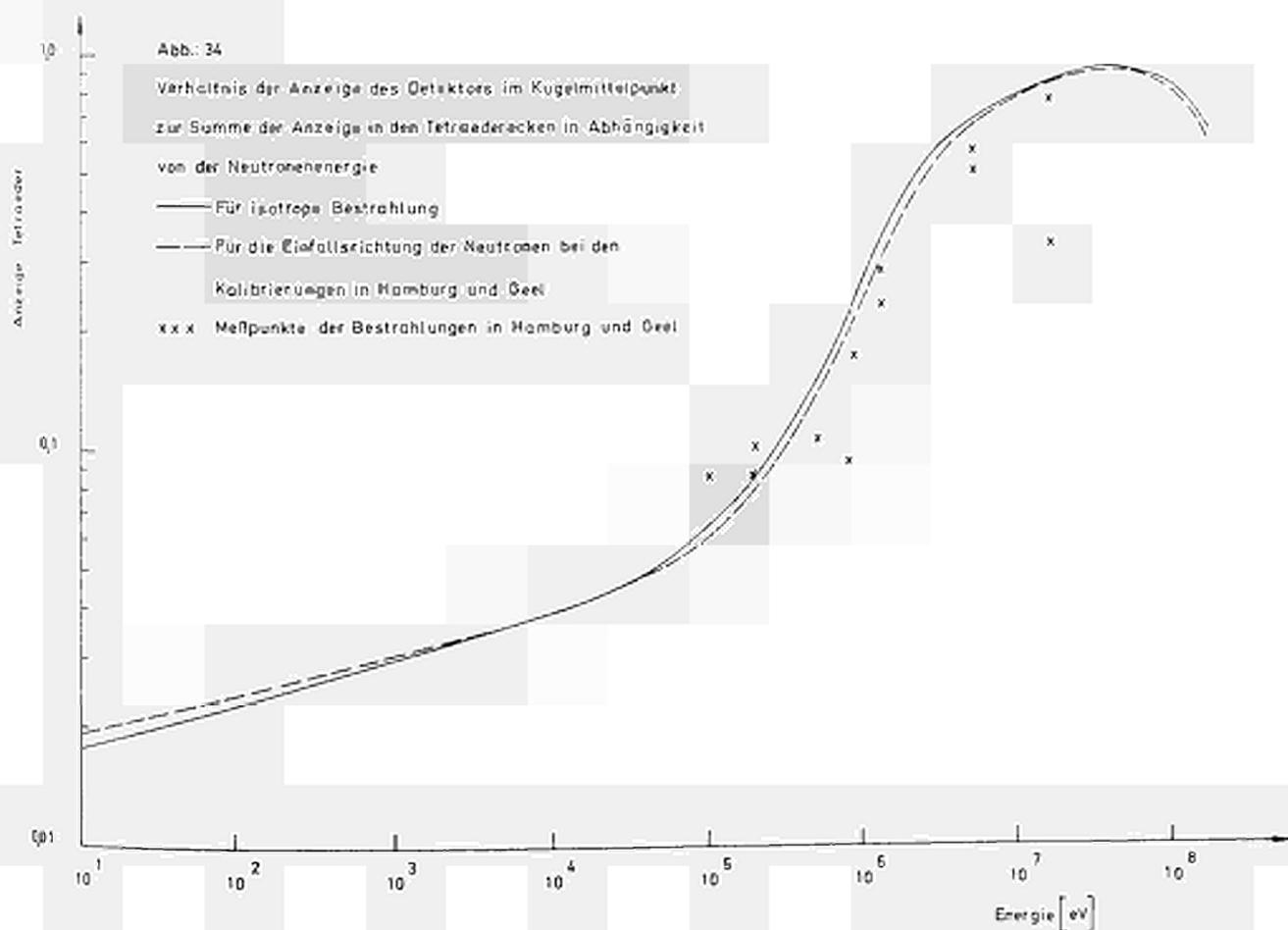
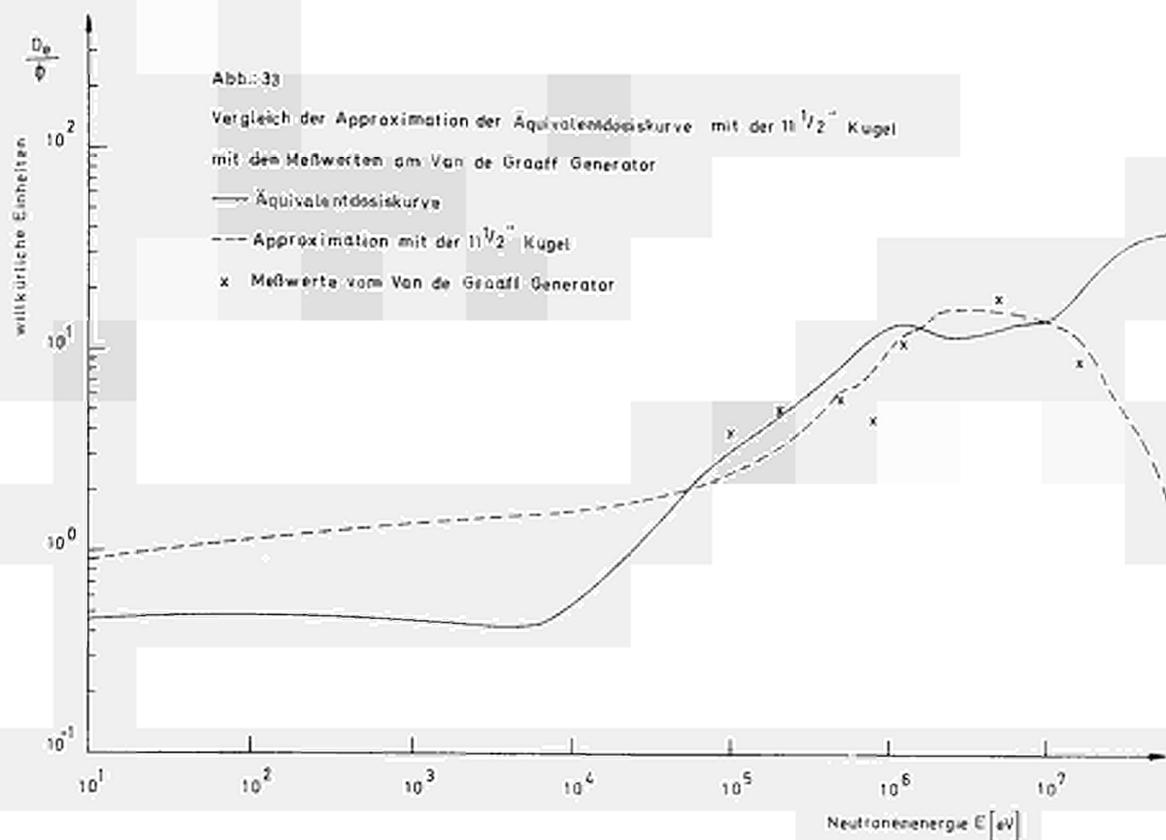


Abb.: 31

Halterungen für die LiF- Dosimeter in der 11,5'' Polyäthylenkugel und eine Dosimeterkapsel





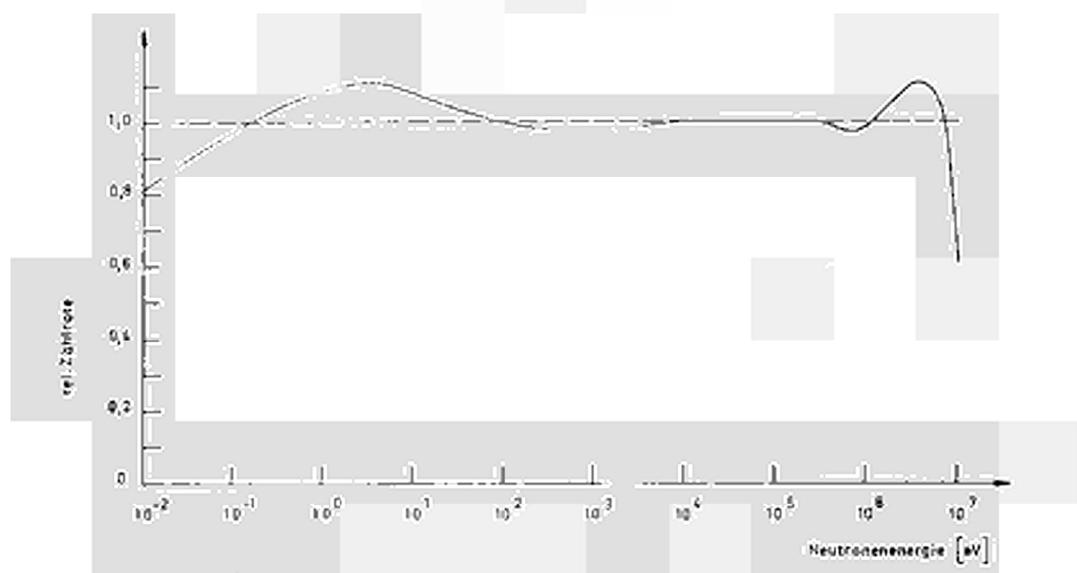
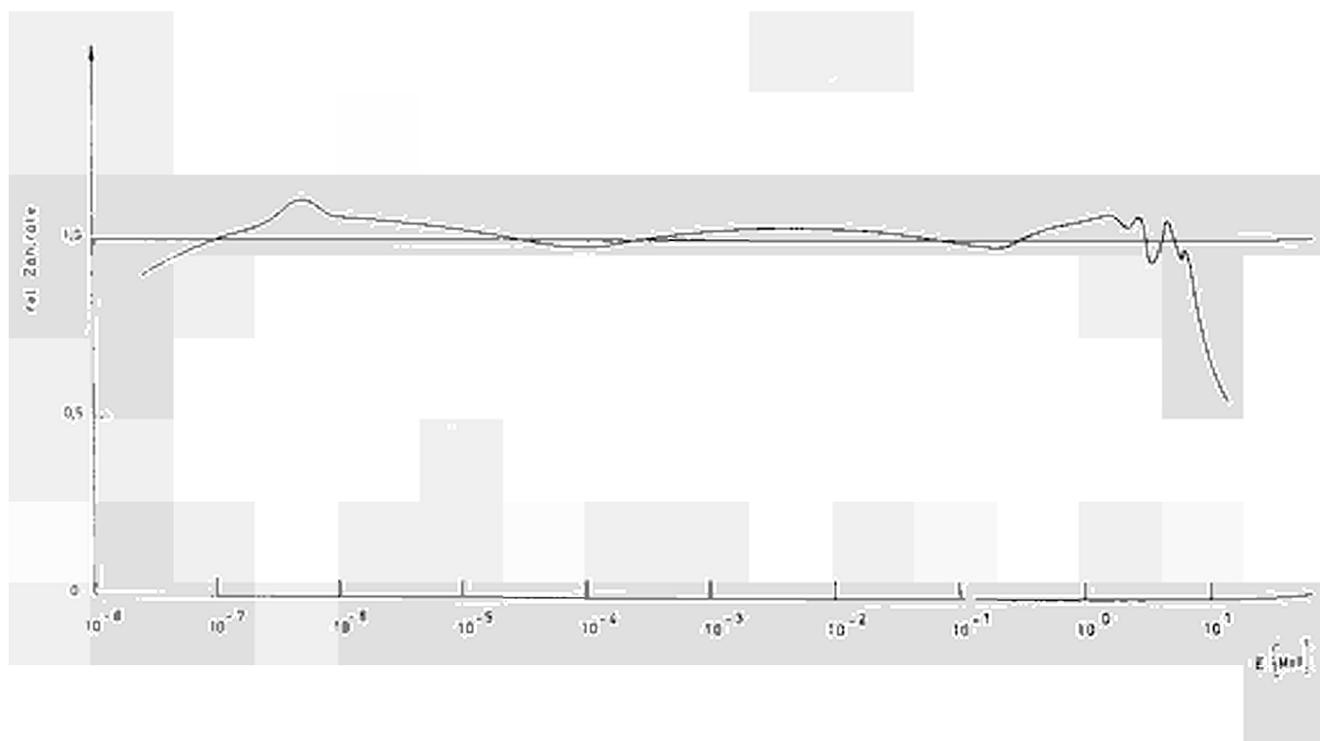


Abb. 35

Approximation der Figt-Response Kurve nach Nechtigall und Rohloff

Abb. 36

Approximation der Flat-Response Kurve nach Zaborowski



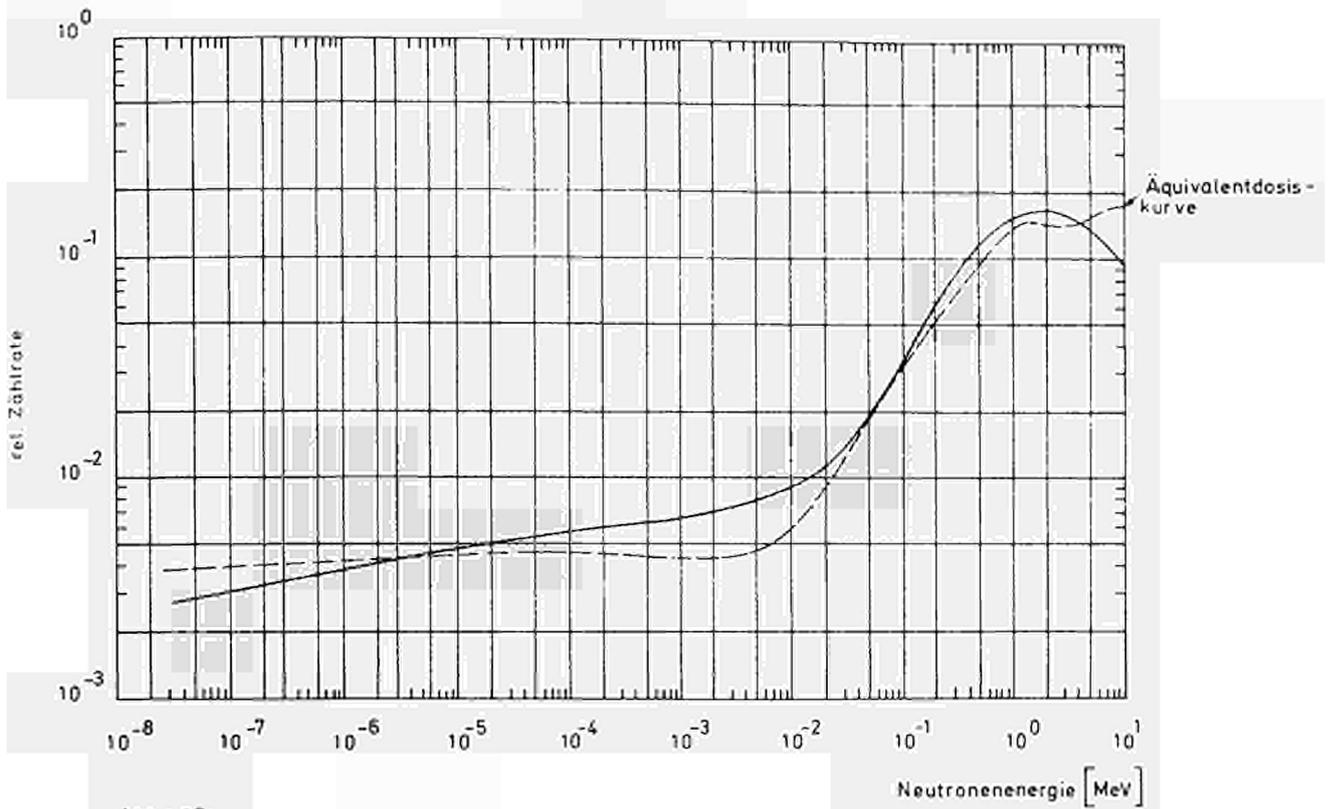


Abb.: 37

Approximation der Äquivalentdosiskurve nach Andersson und Braun

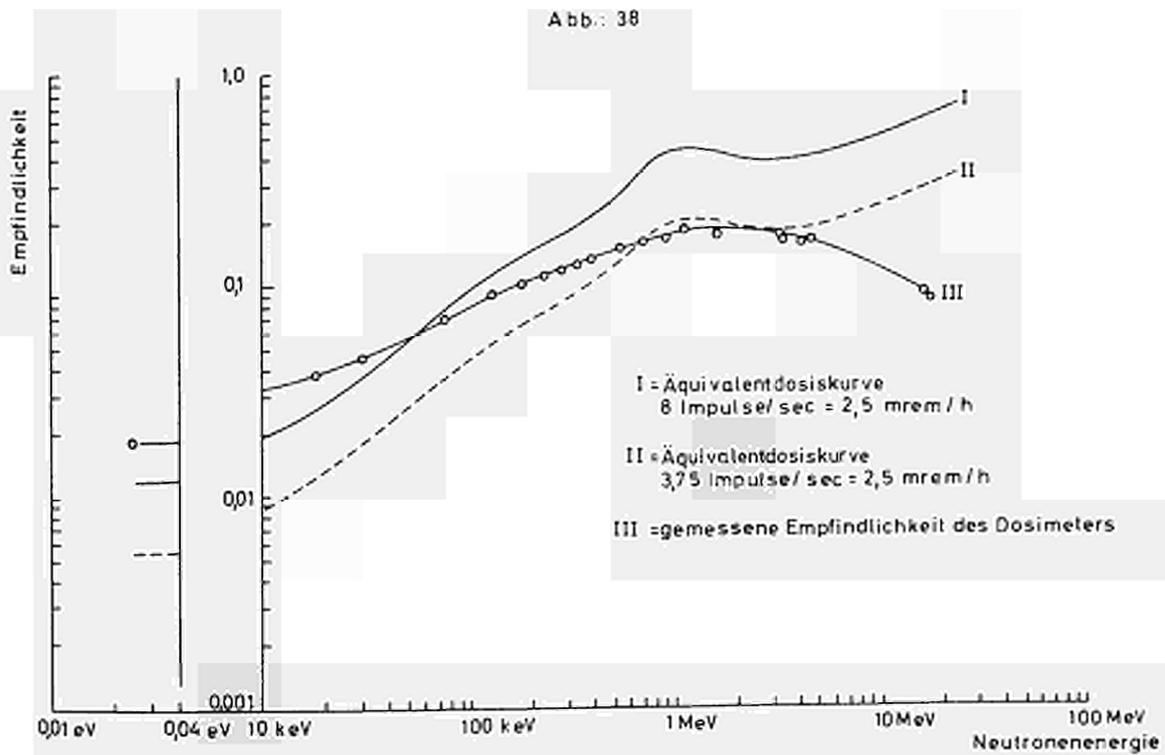


Abb.: 38

Vergleich der Empfindlichkeit des Dosimeters nach Leake mit der Äquivalentdosiskurve

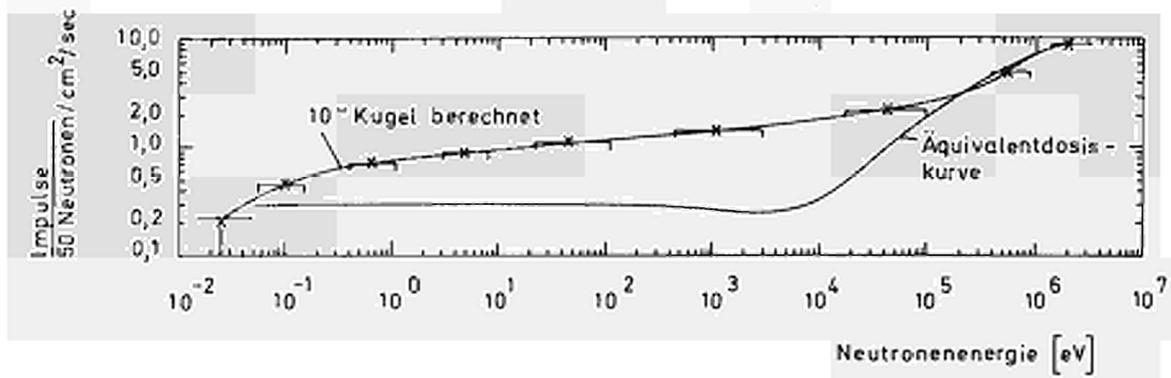


Abb.: 39

Approximation der Äquivalentdosiskurve nach Hankins.

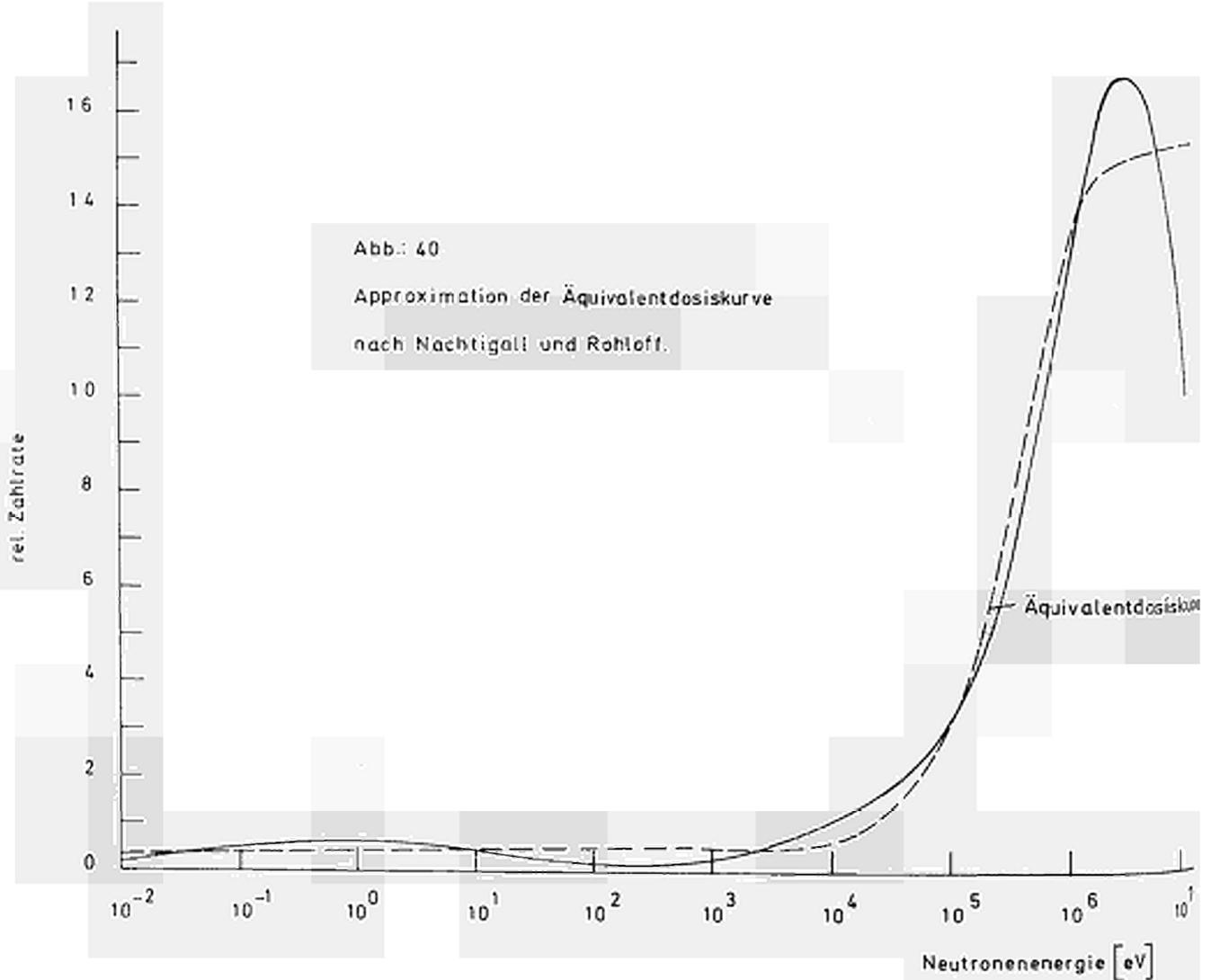


Abb.: 40

Approximation der Äquivalentdosiskurve nach Nachtigall und Rohloff.

Abb. 41

Approximation der Äquivalentdosis nach Zaberowski  
mit der 10" und 4,2" Moderatorkugel.

— Vergleich-Anzeige der 12" Moderatorkugel allein

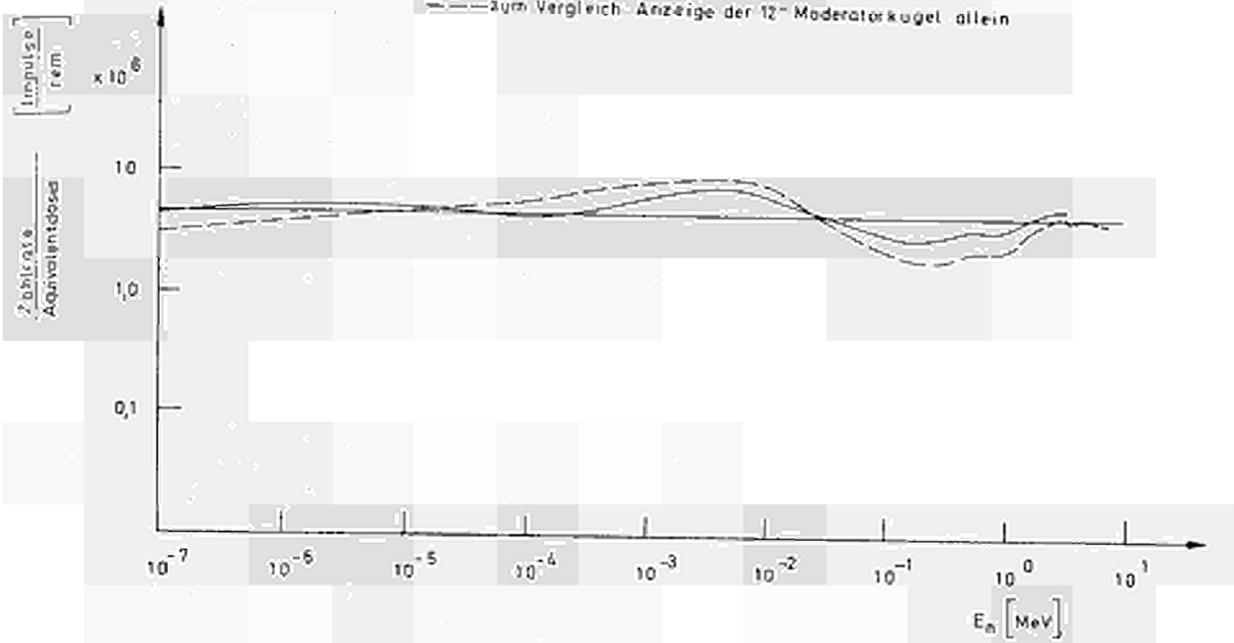
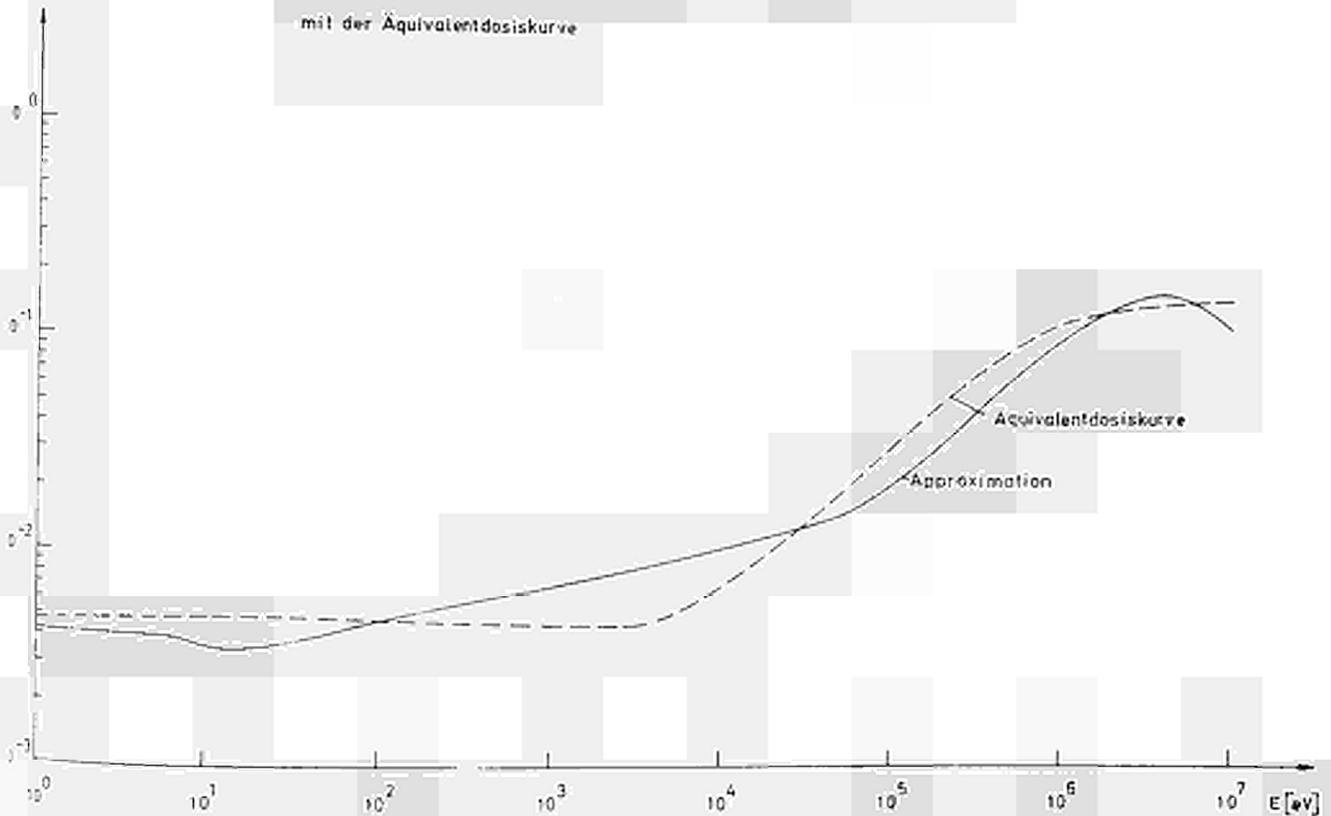


Abb. 42

Vergleich der Empfindlichkeit des Dosimeters nach Tatsuta et. al.  
mit der Äquivalentdosiskurve



7. TABELLENANHANG

-----  
PROGRAMME

```
C
C MONTE-CARLO-PROGRAMM REF: 3.1
C *****
C
C UMSTELLUNG AUF IBM 360/75. JUELICH, DEN 6. JUNI 1967
  DIMENSION NH(11,11),NS(11,47),FWP(46),THP(46),KAN(2),
  *NHE(21,21),ZE(11,11),KTAT(20),ZFTQ(11,11)
  COMMON /BERECH/ NH,NHE,ZE,ZFTQ,NS
  COMMON /DATEN/ RA,DIST,ERGF,DAT,UM,PAM,LAM
  COMMON /WORK/ ERG,X,Y,Z,U,V,W,RR,IX,IY,KZ,KPD,IN,ZFIT
  EXTERNAL ANISOT,ANITRO
  LOGICAL LAM,PAM
  99 FORMAT (1X,10F6.3,' DATA')
  100 FORMAT (10F6.3)
  101 FORMAT (1X,F4.1,F4.2,E9.2,F7.1,I6,I5,F7.2,2I4)
  102 FORMAT (1H1,'KUGELMODERATOR, QUELLVERTEILUNG THERM. NEUTRONEN',
  *40X,F4.1,F4.2/' ENERG.',E11.3,' EV',5X,' RADIUS',F7.2,' CM'//)
  103 FORMAT (1X,11I11)
  104 FORMAT (1H0)
  105 FORMAT (1X,I6,' BERECHNETE SCHICKSALE',I20,' TREFFER IM ZENTRUM'
  *' ABSTAND QUELLE - AUFPUNKT',F7.1,' CM')
  107 FORMAT (' VOL.-VERT.',E9.2,I9,2F9.2,I9,16X,F4.1,F4.2/
  *(1X,11I7,'NH'))
  108 FORMAT (' LIN.-VERT.',E9.2,I9,2F9.2,I9,16X,F4.1,F4.2/
  *(1X,10I7,7X,'NE'/1X,11I7,'NE'))
C
C ANFANGSWERTE
  DATA KAN /36,31/
  DAG=5./ALOG(10.)
  CALL ANISOT
  READ (5,100) FWP
  READ (5,100) THP
  DO 9 K=1,46
  SH=FWP(K)
  SC=THP(K)
  FWP(K)=25.25/(2.*SH+SC)
  9 THP(K)=SH/(SH+0.5*SC)
C
C PROBLEMEINGANG
  1 READ (5,101) DAT,UM,ERGF,DIST,KZM,KRAN,RA,PAM,LAM
  IX=KRAN*2+1
  KZ=0
  KRO=0
  CALL NULL
  RO=RA/100.**0.333333
  RR=RA**2
  IF(PAM) CALL ANFANG
  DO 7 KZZ=1,KZM
  DO 7 KIZ=1,1000
  KZ=KZ+1
  ERG=ERGF
  CALL ANFEIN (82)
C
C EINZELPROZESS EINGANG
  2 KE = DAG*ALOG(ERG)+1.5
  CALL RANDU (IX,IY,R)
  G=-FWP(KE)*ALOG(R)
  X = X+G*U
```

```
Y = Y+G*V
Z = Z+G*W
RQ = X**2 + Y**2 + Z**2
IF(RR.GT.RQ) GO TO 3
N = (W+1.2)*5.
IF(N.LE.1) N=1
IF(N.GE.10) N=10
NS(N,KE) = NS(N,KF)+1
NS(11,KF) = NS(11,KE)+1
NS(N,47) = NS(N,47)+1
NS(11,47) = NS(11,47)+1
GO TO 7
3 CALL RANDU (IX,IY,R)
IN=1
IF(R.GE.THP(KE)) IN=2
CALL RANDU (IX,IY,R)
IF(KE.GT.KAN(IN)) CALL ANITRO (KE,A,&5)
IF(IN.EQ.2) GO TO 4
ERG=ERG*R
A=SQRT(R)
CALL RANDU (IX,IY,R)
GO TO 5
4 ERG=ERG*(0.716+0.284*R)
A = (24.*R-11.) / SQRT(121.+48.*R)
CALL RANDU (IX,IY,R)
5 CALL WINKEL (A)
6 IF(ERG.GT.1.) GO TO 2
CALL MERK (RQ,RO)
7 CONTINUE
CALL DINH
CALL DNHE
AUSGABE
8 IF(PAM) ERGF=0.0
WRITE (6,102) DAT,UM,ERGF,RA
WRITE (6,103) NH
WRITE (6,104)
WRITE (6,105) KZ,KRO,DIST
WRITE(6,102) DAT,UM,ERGF,RA
WRITE (6,103) NS
WRITE (6,104)
WRITE (6,105) KZ,KRO,DIST
WRITE (7,107) ERGF,KZ,RA,DIST,KRO,DAT,UM,NH
WRITE (7,108) ERGF,KZ,RA,DIST,KRO,DAT,UM,NHE
IF(LAM) GO TO 1
STOP
END
```

```
SUBROUTINE MERK (RQ,RQ)
DIMENSION NH(11,11), NHE(21,21), ZF(11,11), ZETO(11,11)
COMMON /DATEN/ RA,DIST,FRGF,DAT,UM,PAM,LAM
COMMON /WOPK/ FRG,X,Y,Z,U,V,*,RP,IX,IY,KZ,KPO,IN,ZFIT
COMMON /BERCH/ NH,NHE,ZF,ZETO
LOGICAL PAM, LAM
RX = SQRT(RQ)
W = 7/RX
N = (W+1.2)*5.
IF(N.LE.1) N=1
IF(N.GE.10) N=10
M = (RX/PA)**3 * 10. + 1.
IF (M.LE.1) M=1
IF(M.GE.10) M=10
NH(N,M) = NH(N,M) + 1
NH(11,M) = NH(11,M)+1
NH(N,11) = NH(N,11)+1
NH(11,11) = NH(11,11)+1
N=(W+1.1)*10.0
IF(N.LE.1) N=1
IF(N.GE.20) N=20
M=20.*RX/PA+1.
IF(M.LE.1) M=1
IF(M.GE.20)M=20
NHE(N,M) = NHE(N,M) +1
NHE(21,M)=NHE(21,M)+1
NHE(N,21)=NHE(N,21)+1
NHE(21,21)=NHE(21,21)+1
IF(RX.LE.RC) KRC=KPO+1
RETURN
END
SUBROUTINE NULL
COMMON /BERCH/ X(1321)
DO 1 I=1,1321
1 X(I)=0.
RETURN
END
```

SUBROUTINE ANFANG

UNTER-PROGRAMM BEGINN

REF: 3.1.5.1

\*\*\*\*\*

COMMON /DATEN/ RA, DIST, ERGE, DAT, UM, PAM, LAM  
COMMON /WORK/ ERG, X, Y, Z, U, V, W, RP, IX, IY, KZ, KRO, IN, ZEIT

LOGICAL PAM, LAM

DIMENSION VER(46)

10 FORMAT (1X, 10F6.4)

11 FORMAT (1H1)

WRITE (6, 11)

READ (5, 10) VER

WRITE (6, 10) VER

RETURN

ENTRY ANEFFIN (\*)

CALL RANDU (IX, IY, R)

IF(.NOT.PAM) GO TO 4

N = 1

1 IF(VER(N)-R) 2, 3, 3

2 N=N+1

GO TO 1

3 TAT=N-1

ERG=EXP(0.46\*TAT)

CALL RANDU (IX, IY, R)

4 X=0.

U=0.

IF(DIST) 6, 5, 6

5 V=0.

W=-1.

Y=RA\*SQRT(R)

GO TO 9

6 CON = 1. - SQRT(DIST\*\*2-RR) / DIST

W = R\*CON - 1.

V = SQRT(1.-W\*\*2)

T=-V/W

YV=DIST\*T

IF(YV.GE.PA) YV=-W\*RA

7 Z = SQRT(RR-YV\*\*2)

Y = (DIST-Z)\*T

IF((YV-Y)-0.1) 9, 9, 8

8 YV=Y

GO TO 7

9 Z = SQRT(RR-Y\*\*2)

RETURN 1

END

SUBROUTINE WINKEL (A)

C  
C  
C  
C

UNTER-PROGRAMM RICHTG

REF: 3.1.5.3

\*\*\*\*\*

COMMON /WORK/ ERG,X,Y,Z,U,V,W,RR,IX,IY,KZ,KRO,IN,ZEIT

CALL RANDU (IX,IY,R)

B=SQRT (1.-A\*\*2)

DFL = 6.2832\*R - 3.1416

C = COS(DFL)

D = SQRT(1.-C\*\*2)

IF(DFL)1,2,2

1 D = -D

2 IF(W\*\*2-0.999)4,3,3

3 U = B\*C

V = B\*D

W = A\*W

GC TC 5

4 UN = A\*U + (B\*C\*W\*U-B\*D\*V)/SQRT(1.-W\*\*2)

VN = A\*V + (B\*C\*W\*V+R\*D\*U)/SQRT(1.-W\*\*2)

WN = A\*W - B\*C\*SQRT(1.-W\*\*2)

U = UN

V = VN

W = WN

5 RETURN

END

SUBROUTINE ANISOT

UNTER-PROGRAMM UNGLCH

REF: 3.1.5.2

\*\*\*\*\*

DIMENSION WIN(20,10,2), AWIN(20,2), PWIN(20,2), WEL(15), KAN(2)  
COMMON /WORK/ ERG,X,Y,Z,U,V,W,RR,IX,IY,KZ,KRO,IN,ZEIT  
DATA KAN /36,31/

```
10 FORMAT (10F5.3)
11 FORMAT (1X,10F5.3,5H ANIT)
  READ (5,10) WIN
  READ (5,10) WEL
  DO 12 N=1,20
    TN=N
    BWIN(N,1)=(TN/20.-0.025)
    AWIN(N,1) = SQRT(BWIN(N,1))
    BWIN(N,2) = 0.708+0.0142*TN
12  AWIN(N,2) = (1.2*TN-11.6) / SQRT(119.8+2.4*TN)
  RETURN
  ENTRY ANITRD (KE,A,*)
  KEW = KE-KAN(IN)
  CALL RANDU (IX,IY,R)
  IF(WEL(KEW).LE.0.AND.IN.EQ.2) GO TO 4
  IF(KFW.GE.6.AND.IN.EQ.2) GO TO 5
  CALL RANDU (IX,IY,R)
  NN=1
1  IF(WIN(NN,KFW,IN)-R)2,3,3
2  NN=NN+1
  GO TO 1
3  ERG = ERG*BWIN(NN,IN)
  A = AWIN(NN,IN)
  GO TO 6
4  CALL RANDU (IX,IY,R)
  ERG=R*(ERG-4.4E6)
  CALL RANDU (IX,IY,R)
  A=2.*R-1.
  GO TO 6
5  ERG = 0.992*FRG
  A = 0.956
6  RETURN 1
  END
```



```
GO(N,M)=R(M)**2*DIF
G1(N,M)=DIF*GP(M)
G2(N,M)=DIF*GM(M)
G3(N,M)=DIF*FM(N)
3 G4(N,M)=DIF*FP(N)
A=(RD+AL)*(0.5*RD+AL)
B=RD*(RD+AL)
C=(0.5*RD+AL)
DO 4 N=1,20
DIF=1.0/(R(20)**2*(1.0/A+1.0/B)+R(20)/C+FM(N)+FP(N)+(R(20)/EL)**2)
GO(N,20)=DIF*R(20)**2
G1(N,20)=0.0
G2(N,20)=DIF*R(20)**2/B
G3(N,20)=DIF*FM(N)
G4(N,20)=DIF*FP(N)
DUF=1.0/(1.0+FM(N)+FP(N))
GO(N,1)=0.0
G1(N,1)=DUF
G2(N,1)=0.0
G3(N,1)=DUF*FM(N)
G4(N,1)=DUF*FP(N)
4 CONTINUE
WRITE (6,102) GO,G1,G2,G3,G4
DO 4001 M=1,21
DO 4001 N=1,21
01 FHW(N,M)=NHE(N,M)
LTPEND=50
VNULL=0.0
WERT=0.0
RI=0.0
GRI=-1.0
DO 1 M=1,20
AM=M
FAK=1.2F5/(ANZ*RA*(3.0*AM**2-3.0*AM+1.0)*DI)
EHN=FHW(21,M)
REIN=RD*AM/EL
RZWE=(RA+AL)/EL-REIN
GRQ=-((REIN*COSH(RZWE)+SINH(RZWE))/SHM)
VOK=FAK*EL**2*(GRQ-GRI)/20.0
VNULL=VNULL+VOK*EHN
WERT=WERT+VOK**2*EHN
RI=REIN
GRI=GRQ
IF(DIST.GT.RA) FAK=FAK*(1.0-(RA/DIST)**2)
DO 1 N=1,21
F(N,M)=FHW(N,M)*FAK
IF(M.EQ.1.0R.NHE(21,M).LE.10) F(N,M)=FAK*0.05*EHN
1 V(N+1,M+1)=F(N,M)*EL**2
DO 6 N=1,20
V(N+1,1)=VNULL
V(N+1,22)=0.0
DO 7 M=1,20
IF(NHE(21,M).GT.50) GO TO 6
7 V(N+1,M+1)=VNULL
6 CONTINUE
DO 10 LTP=1,LTPEND
DO 8 M=1,20
V(1,M+1)=V(2,M+1)
8 V(22,M+1)=V(21,M+1)
DO 9 L=1,20
```

```
M=21-L
DO 9 N=1,20
  TF =      G0(N,M)*F(N,M) + G1(N,M)*V(N+1,M+2) + G2(N,M)*V(N+1,M)
1      + G3(N,M)*V(N+2,M+1) + G4(N,M)*V(N,M+1)
  V(N+1,M+1)=TF
10 CONTINUE
  DO 12 M=1,20
    V(N+1,1)=V(N+1,2)*(1-0.5*(FP(N)+FM(N)))
    * + 0.5*(FM(N)*V(N+2,2)+FP(N)*V(N,2))
12 CONTINUE
  WERT=SQRT(WERT)
  DO 13 M=1,20
    V(1,M+1)=R(M)
    V(22,M+1)=R(M)
13 V(M+1,22)=7(M)
  IF(DIST.LT.0A) DIST=0.
  WRITE (6,118) ERGF,KZ,PA,DIST,VNULL,WERT,DAT,UM,V
  WRITE (7,106) ERGF,KZ,RA,DIST,KR0,V(2,1),V(10,1),V(21,1),VNULL,
*DAT,UM
  DO 1616 M=2,21
1616 WRITE (7,107) (V(N,M),N=2,21)
  RETURN
END
```

```
PROGRAMM APPRO-ZWEI                                PFF: 3.3.4
*****
REAL G(40) /40*1./
REAL E(40), WF(40,20), R(20), WI(40), SO(40)
REAL AP(7,40), A(7), B(7), Q(7), NAM(2)
REAL FAK (11) /0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1.0,1.1,1.2,1.3,1.4,1.5/
100 FORMAT(1X,2A4,1X,E10.2,3F10.5,30X/(4E20.8))
108 FORMAT('1APPROXIMATIONS-BERECHNUNG FUER ',2A4,
1' BIS ZUR ENERGIE ',1P13.3,' EV.   RADIUS= ',0PF10.5)
109 FORMAT('          GEWICHT IM MITTELPUNKT: ',1P7F10.3/
1          '          GEWICHT AUSSERHALB: ',1P7F10.3/
2          '          AN DER STELLE: ',1P7F10.3/
3          '          STANDARD DEVIATION: ',1P7F10.3)
110 FORMAT(1PE10.3,' EV ',0PF10.3,' SOLL   ',7F10.3)
N=1
10 READ(5,100,END=11) NAM,E(N),SO(N),RA,WI(N),(WE(N,M),M=1,20)
SO(N)=1.
N=N+1
GO TO 10
11 ND = N-1
DO 1 K=1,20
1 R(K) = RA/20.*FLOAT(K) - RA/40.
NDU=ND-5
DO 8 KEND=NDU,ND
DO 7 K=1,7
KA=12+K
WIWI=0.
WIWF=0.
WEWE=0.
SWI=0.
SWE=0.
DO 2 N=1,KEND
WIWI = WIWI + WI(N)*WI(N)*G(N)
WIWE = WIWE + WI(N)*WE(N,KA)*G(N)
WEWE = WEWE + WE(N,KA)*WE(N,KA) *G(N)
SWI = SWI + WI(N) *G(N) * SO(N)
2 SWE = SWE + WE(N,KA) *G(N) *SO(N)
DET = WIWI*WEWE - WIWE*WIWE
IF (DET.EQ.0.) GO TO 7
A(K)=(SWI*WEWE-SWE*WIWE)/DET
B(K)=(SWE*WIWI-SWI*WIWE)/DET
QQ = 0.
DO 3 L=1,ND
AP(K,L)=A(K)*WI(L)+B(K)*WE(L,KA)
IF(L.GT.KEND) GO TO 3
QQ=QQ+(SO(L)-AP(K,L))**2
3 CONTINUE
Q(K)=SQRT(QQ/(KEND-1))
7 CONTINUE
WRITE(6,108) NAM,E(KEND),RA
WRITE(6,109) A,B,(R(K),K=13,19),Q
DO 6 L=1,ND
6 WRITE(6,110) E(L),SO(L),(AP(K,L),K=1,7)
8 CONTINUE
WRITE(6,108) NAM,E(KEND),RA
STOP
END
```

```

C
C APPROXIMATIONSPROGRAMM APPRO-STAT REF: 3.3.3
C *****
C
C STATISTISCHE APPROXIMATIONSMETHODE
REAL E(50), W(50), APR0(50), Z(20), R(20)
REAL A(8), PS(8), B(8), PSR(8), PAD(8), TET(8)
REAL Y(400,50), YY(400,3), YYY(8,8), X(9)
INTEGER KSTF(8), LUMMY(8), MREC(8), LREF(8)
LOGICAL PAM /, FALSE./
100 FORMAT (12I3)
101 FORMAT (F10.3, F10.5, 40X, F10.5, 10X, 40(10F8.6))
102 FORMAT(' PROGRAMM LIEF ', F6.2, ' SEKUNDEN, MACHTE ', I5, ' SCHRITTE
1 UND STOLPERTE ', I5, ' MAL. ' / 20X, G15.5, 10X, 10I5)
103 EGRMAT(' PROGRAMM WIL NICHT MEHR, ES IST ', I5, ' MAL GESTOLPERT)
104 FORMAT('!APPROXIMATION DER DOSISEMPEINDLICHKEIT'//
144X, 'KURVEN', 10I8)
124 FORMAT (44X, 'RADIEN', 10F8.3)
134 FORMAT (43X, 'COSINUS', 10F8.3)
144 FORMAT (42X, 'FAKTOREN', 10F8.3)
105 FORMAT (G15.2, 2F15.3, 5X, 10F8.3)
106 FORMAT(' PROGRAMM KANN NICHT MEHR')
107 FORMAT('/' PROGRAMM IST ', F6.2, ' SEKUNDEN VERGEBLICH GELAUFE. '
17' ES MACHT AB JETZT NUR NOCH KLEINE SCHRITTE'/)
108 FORMAT (8X, 'ENERGIE', 6X, 'SOLLKURVE', 2X, 'APPROXIMATION')
109 FORMAT('!STRENG VERTRAULICHE MITTEILUNG:')
C
C ANFANGSWERTE
CALL ERSEFT(217,1,-1,1)
IIK0=1000
IIK0=3000
N=1
READ (5,100) KB, KJ, KSTF
10 READ (13,101,END=11) E(N), W(N), RA, (Y(M,N), M=1,400)
N=N+1
GO TO 10
11 DO 12 K=1, KJ
KK=KSTF(K)
PSR(K)=W(KK)
DO 12 M=1,400
12 YY(M,K)=Y(M, KK)
N=N-1
IF(KSTF(KJ).GT.N) GO TO 33
DO 1 K=1,20
Z(K)=-1.05+0.1*FLOAT(K)
1 R(K)=RA/20.*FLOAT(K)-RA/40.
WMIN=3.7E 32
DAUER=ZFIT(0.)
IX=DAUER/10.
IX=12345+2*IX
CALL RANDU(IX, IY, R)
BAUER=DAUER
C
C BEGINN DER RECHNUNG
C
20 L=-1
I=0

```

```
21 L=L+1
22 I=I+1
1021 CALL NEUMAT (YYY,KJ,PAM,YY,LREG,MREG,JX)
DO 1022 K=1,KJ
1022 RS(K)=RSR(K)
CALL GELMP (YYY,KJ,RS,B,LUMMY,KJ,DUMMY, FALSE, &21)
CALL SCALAR (B,KJ,WERT)
DZEIT=ZEIT(BAUER)
IF(DZEIT.GT.120.) GO TO 24
IF(WERT.GF.WMIN) GO TO 22
WMIN=WERT
DO 1023 J=1,KJ
MREG(J)=LREG(J)
1023 A(J)=B(J)
DAUER=ZEIT(DAUER)
WRITE (6,102) DAUER, I, L, WERT, (MREG(II),II=1,KJ)
DAUER=ZEIT(0.)
IF(I.LT.IIKO) GO TO 20
PAM=.TRUE.
CALL FRIST(ENDE)
IF(ENDE.GT.40.) GO TO 20
23 WRITE (6,103) L

AUSGABE DER ENDERGEBNISSE

24 CONTINUE
DO 25 J=1,KJ
JJ=MREG(J)
MM=(JJ+19)/20
NN=JJ+20-20*MM
RAD(J)=R(MM)
25 TET(J)=Z(NN)
WRITE (6,104) (MREG(I),I=1,KJ)
WRITE (6,124) (RAD(I),I=1,KJ)
WRITE(6,134) (TET(I),I=1,KJ)
WRITE(6,144) (A(I),I=1,KJ)
WRITE(6,108)
DO 32 K=1,N
X(1)=0.
DO 31 J=1,KJ
MW=MREG(J)
X(J+1)=Y(MW,K)
31 X(1)=X(1)+A(J)*Y(MW,K)
APRO(K)=X(1)
KQ=KJ+1
32 WRITE(6,105) E(K),W(K),(X(I),I=1,KQ)
WRITE (6,104) (MREG(I),I=1,KJ)
WRITE (6,124) (RAD(I),I=1,KJ)
WRITE(6,134) (TET(I),I=1,KJ)
WRITE(6,144) (A(I),I=1,KJ)
CALL PLOTTI (E,W,APRO,N)
WRITE(6,109)
STOP
33 WRITE (6,106)
STOP
END
SUBROUTINE SCALAR(A,N,W)
W = SUMME A(N)**2
REAL A(N)
W=0.
```

```
      DO 1 K=1,N
1     W=W+A(K)**2
      RETURN
      END
      SUBROUTINE MEUMAT (YYY,KK,PAM,YY,LREG,MREG,IX)
      REAL YYY(KK,KK), YY(400,KK)
      INTEGER LREG(KK), MREG(KK)
      LOGICAL PAM
      DO 1 L=1,KK
      CALL RANDU(IX,IY,R)
      M=6.*R-3.
      M=MREG(L)+M
      CALL RANDU(IX,IY,R)
      N=6.*R-3.
      M=M+20*N
      IF(.NOT.PAM) M=400.*R+1.
      IF(M.LT.1) M=1
      IF(M.GT.400)M=400
      LREG(L)=M
      DO 1 K=1,KK
1     YYY(K,L)=YY(M,K)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE PLOTTI (E,X,Y,NO)
      REAL PRI(120)/120*' '/
      REAL F(50),X(50),Y(50)
      REAL PS/'*'/, PP/'+'/, PX/'X'/, PB/' '/
100  FORMAT ('0PLOTTUNG DER SOLLKURVE (*) UND DER APPROXIMIERENDEN (+
1     1//4X,'ENERGIE I.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9...1
2     2...11...12...13...14...15...16...17...18...19...20...21...22...23
3     3.24')
101  FORMAT (12X,'I')
102  FORMAT (1X,1PG10.3,' I',120A1)
      DAG=10./ALOG(10.)
      LZ=1
      WRITE (6,100)
      DO 3 K=1,NO
      KST = DAG*ALOG(E(K))-8.5
      IF(LZ.LT.KST) LZ=LZ+1
1     IF(LZ.EQ.KST) GO TO 2
      WRITE (6,101)
      LZ=LZ+1
      GO TO 1
2     KX=5.*X(K)
      KY=5.*Y(K)
      IF(KX.LT.1) KX=1
      IF(KY.LT.1) KY=1
      IF(KX.GT.120) KX=120
      IF(KY.GT.120) KY=120
      PRI(KX)=PS
      PRI(KY)=PP
      IF(KX.EQ.KY) PRI(KX)=PX
      WRITE(6,102) F(K),PRI
      PRI(KX)=PB
      PRI(KY)=PB
3     CONTINUE
      DO 4 K=1,5
4     WRITE(6,101)
      RETURN
      END
```

PROGRAMM FUER UNTERSUCHUNG AUF RICHTUNGSUNABHAENIGKEIT REF:3.2.  
\*\*\*\*\*

```
REAL W(20),Z(20),WI(4),ZI(4),P(20), WB(20,20),WIV(2)
REAL WE(20)
INTEGER IX/123/
100 FORMAT (7X,F8.2,9X,F6.2/)
100 FORMAT (E10.3,F10.5,40X,2F10.5,40(10F8.6))
101 FORMAT (10F8.6)
103 FORMAT (' STATWERTE',E10.3,3F10.5,30X/(4F20.8))
104 FORMAT (9F14.8)
105 FORMAT (' RICHTUNG',1PF10.2,0PF10.3,1P6E15.8)
106 FORMAT (' FEHLER', 3E20.5)
C1 = 1./SQRT(2.)
C2 = 2./SQRT(6.)
5 READ(13,100,END=99) ERG,S,PA,W0,WB
IF(ERG.LT.6.E5) GO TO 5
DO 2 N=1,20
7(N)=-1.05+0.1*FLOAT(N)
2 R(N)=PA/20.*FLOAT(N)-RA/40.
DO 3 JK=1,20
DO 12 N=1,20
12 W(N) = WB(N,JK)
WURT=0.
WART=0.
WVOR=0.
WHIN=0.
WMIN = 5.F20
WMAX = 0.
DO 1 N=1,100
CALL RANDU (IX,IY,B)
IF(ABS(B).GT.1.000) GO TO 98
A=2.*B-1.
CALL RANDU (IX,IY,B)
IF(ABS(B).GT.1.000) GO TO 98
B = 2.*B-1.
SA = C1 * SQRT(1.-A**2)
SB = C2 * SQRT(1.-B**2)
ZI(1) = -SB*(A-SA)
ZI(2) = SB * (A+SA)
ZI(3) = C2*B - SB*SA
ZI(4) = -C2*B - SB*SA
CALL ORDN(ZI,4)
CALL NEWT (Z,W,20,ZI,WI,4,4)
WERT=WI(1)+WI(2)+WI(3)+WI(4)
IF(WERT.LT.WMIN) WMIN = WERT
IF(WERT.GT.WMAX) WMAX=WERT
WART=WART+WERT**2
1 WURT=WURT+WERT
WVOR=1.5*W(20)-0.5*W(19)+2.95*W(7)+0.05*W(8)
WHIN=1.5*W(1) -0.5*W(2) +0.05*W(13)+2.95*W(14)
WURT=WURT/100.
WE(JK) = 4.*WURT
P = WART/100. - WURT**2
IF(P.LT.0.000) GO TO 98
WART = SQRT(P)
GO TO 97
```

```
98 WRITE (6,106) P,WURT,WART
97 WRITE(6,105) ERG,R(JK),WURT,WART,WMIN,WMAX,WVOR,WHIN
 3 CONTINUE
  WRITE (7,103) ERG,S,RA,WQ,WE
  GO TO 5
99 CONTINUE
  STOP
  END
  SUBROUTINE CRDN(W,K)
  REAL W(K)
  J=0
1  J=J+1
  IF(J.EQ.K) RETURN
  I=0
2  I=I+1
  IF(I.EQ.K) GO TO 1
  IF(W(I).LE.W(I+1)) GO TO 2
  Z=W(I+1)
  W(I+1)=W(I)
  W(I)=Z
  GO TO 2
  END
```

PROGRAMM DNAE      PFF: 3.2.2

\*\*\*\*\*

SIMENSIONIERUNG FUER DIE P-7 NAEHERUNG

REAL A(8,8) /64\*0./, R(8) /8\*0./, S(8) /8\*0./

REAL UN(4), FF(8,8), RR(8,8), QV(4,4), RR(8,4), C(4,4)

INTEGER PIVOT(8), QIVOT(4), NNA /8/

REAL R(4,4), Q(4), P(4), COT(4,20), COK(4,20)

116 FORMAT(1P8E12.5)

117 FORMAT(1P4E15.5)

REAL AMAT(20,20)

REAL RO(12,6) /

1.,-2.,1.25,0.,-0.375,0.,0.203125,0.,0.1328125,0.,0.0957031,0.,  
 1.,0.,-5.,8.,-5.0625,0.,1.625,0.,-0.9296875,0.,0.6328125,0.,  
 1.,0.,-3.125,0.,10.125,-16.,10.1563,0.,-3.3203,0.,1.9380,0.,  
 1.,0.,-2.8,0.,5.25,0.,-16.25,25.6,-16.2695,0.,5.3594,0.,  
 1.,0.,-2.6786,0.,4.3393,0.,-7.6172,0.,23.2422,-36.5714,23.2559,0.,  
 1.,0.,-2.6190,0.,3.9777,0.,-5.9583,0.,10.2266,0.,-31.0078,  
 48.7619/

100 FORMAT(1P4E20.5)

101 FORMAT (1P2E20.5)

102 FORMAT (1P10E13.4)

103 FORMAT ('1'////' MATRIX DER P',I1,'-NAEHERUNG FUER RA = ',F10.2////)

104 FORMAT (' MATRIX DER P',I1,'-NAEHERUNG FUER R = ',F10.2)

105 FORMAT (1P8E10.4)

CALL ERRSET(217,256,-1,1)

NNH=NNA/2

STAB=2.53

D=0.008927

RA=8.89

QA=5.08

RA=14.6

QA=6.35

RA=2.54

QD=RA/20.

DO 9 M=1,NNH

DO 9 N=1,NNA

9 RR(N,M)=RO(N,M)

IFEND=NNA-1

DO 1 N=1,IFEND

Z=(2\*N-1)\*(2\*N+1)

RR(N+1,N)=-N/SQRT(Z)

RR(N,N+1)=A(N+1,N)

1 CONTINUE

RR(1,2)=A(1,2)/SQRT(D)

RR(2,1)=A(1,2)

CALL EIGSY(A,NNA,FF,NNA,NNA,0)

DO 2 N=1,NNH

2 UN(N)=1./A(N,N)

DO 3 N=2,NNA

FAK=SQRT(D/(2.\*N-1.))

DO 3 M=1,NNH

FF(N,M)=FAK\*FF(N,M)/FF(1,M)

IF(N.EQ.NNA) FF(1,M)=1.

MM=M+NNH

FF(N,MM)=-FF(N,M)

```
IF(N.EQ.NNA) FF(1,MH)=-1.
3 CONTINUE
WRITE(6,106) FF
DO 10 M=1,20
Z=FLOAT(M)*R0
DO 10 J=1,NNH
Y=UN(J)*Z*STAB
COI(J,M)=SINH(Y)/Y
COK(J,M)=EXP(-Y)/Y
10 CONTINUE
CALL RESBER(BB,UN,STAB*RA,NNA,NNH)
DO 12 I=1,NNH
INNH=I+NNH
DO 12 M=1,NNH
QV(M,I)=0.
R(M,I)=0.
DO 12 K=1,NNA
B(M,I)=R(M,I)+RR(K,M)*FF(K,I)*BB(K,I)
12 QV(M,I)=QV(M,I)+RR(K,M)*FF(K,INNH)*BB(K,INNH)
DO 40 N=1,20
WL = 2*N**3-3*N**2+3*N-1
Z = R0*(WL/2.0)**0.33333
DO 11 I=1,NNA
11 R(I)=0.
R(2)=-1./Z**2
CALL RESBER(BB,UN,STAB*Z,NNA,NNH)
DO 15 I=1,NNA
DO 15 M=1,NNA
15 A(M,I) = FF(M,I)*BB(M,I)
WRITE(6,106) BB,R
CALL GELMP(A,NNA,R,S,PIVOT,NNA,DET,.FALSE.,&50)
WRITE(6,106) BB, A, S, R, DET, Z
DO 17 I=1,NNH
Q(I)=0.
DO 17 J=1,NNH
JNNH=J+NNH
C(I,J)=R(I,J)
17 Q(I)=Q(I)+QV(I,J)*S(JNNH)
WRITE(6,107) B, Q
CALL GELMP(C,NNH,Q,P,QIVOT,NNH,DET,.FALSE.,&50)
WRITE(6,107) Q, QV, C, P, DET
AMAT(N,1)=0.
DO 18 I=1,NNH
18 AMAT(N,1)=AMAT(N,1) + S(I)+P(I)
IF(N.EQ.1) GO TO 21
NI=N-1
DO 20 M=1,NI
AMAT(N,M+1)=0.
DO 20 J=1,NNH
AMAT(N,M+1) = AMAT(N,M+1) + (S(J)+P(J))*COI(J,M)
20 CONTINUE
21 CONTINUE
DO 25 M=N,19
AMAT(N,M+1)=0.
DO 25 J=1,NNH
JNNH=J+NNH
AMAT(N,M+1) = AMAT(N,M+1) + P(J)*COI(J,M)+S(JNNH)*COK(J,M)
25 CONTINUE
50 CONTINUE
40 CONTINUE
```

```

NAM=MNA-1
WRITE (6,103) NAM, PA
WRITE(6,102) AMAT
WRITE (7,104) NAM, PA
WRITE (7,105) AMAT
STOP
END
SUBROUTINE RESBER(RP,UN,X,N,NH)
REAL RP(N,N), UN(NH)
IF(X.EQ.0.) GO TO 2
DO 1 I=1,NH
  INH=I+NH
  Z=UN(I)*X
  RB(1,I) = SINH(Z)/Z
  RB(2,I) = (COSH(Z)-RB(1,I))/Z
  RB(1,INH) = EXP(-Z)/Z
  RB(2,INH) = -RB(1,INH)*(1.+1./Z)
  DO 1 K=3,N
    RB(K,I) = RB(K-2,I)-2.*(K-1.5)*RB(K-1,I)/Z
1  RB(K,INH) = RB(K-2,INH)-2.*(K-1.5)*RB(K-1,INH)/Z
  RETURN
2  DO 3 I=1,N
  RB(1,I)=1.
  DO 3 M=2,N
3  RB(M,I)=0.
  RETURN
END
SUBROUTINE EIGSY(A,NA,R,NP,N,MV)
DIMENSION A(NA,1),R(NP,1)
IF(MV-1) 10,25,10
10 DO 20 J=1,N
  DO 20 I=1,N
  R(I,J)=0.
  IF(I.NE.J) GO TO 20
  R(I,J)=1.
20 CONTINUE
25 ANORM=0.0
C DO 35 I=1,N
  NMINUS=N-1
  DO 35 I=1,NMINUS
  DO 35 J=I,N
  IF(I-J) 30,35,30
30 ANORM=ANORM+A(I,J)*A(I,J)
35 CONTINUE
  IF(ANORM) 165,165,40
40 ANORM=1.414* SQRT(ANORM)
  ANRMX=ANORM*1.0-13/FLOAT(N)
  IND=0
  THR=ANORM
45 THR=THR/FLOAT(N)
50 L=1
55 M=L+1
62 IF( ABS(A(L,M))-THR) 130,65,65
65 IND=1
  X=.5*(A(L,L)-A(M,M))
68 Y=-A(L,M)/ SQRT(A(L,M)*A(L,M)+X*X)
  IF(X) 70,75,75
70 Y=-Y
75 SINX=Y/SQRT(2.*(1.+SQRT(1.-Y*Y)))
  SINX2=SINX*SINX

```

```
78 COSX= SQRT(1.0-SINX2)
   COSX2=COSX*COSX
   SINCS =SINX*COSX
   DO 125 I=1,N
   IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.M) GO TO 115
110  X=A(I,L)*COSX-A(I,M)*SINX
   A(I,M)=A(I,L)*SINX+A(I,M)*COSX
   A(M,I)=A(I,M)
   A(I,L)=X
   A(L,I)=X
   115 IF(MV-1) 120,125,120
120  Y=R(I,L)*COSX-R(I,M)*SINX
   R(I,M)=R(I,L)*SINX+R(I,M)*COSX
   R(I,L)=X
   125 CONTINUE
   X=2.*A(L,M)*SINCS
   Y=A(L,L)*COSX2+A(M,M)*SINX2-X
   X=A(L,L)*SINX2+A(M,M)*COSX2+Y
   A(L,M)=(A(L,L)-A(M,M))*SINCS+A(L,M)*(COSX2-SINX2)
   A(M,I)=A(L,M)
   A(L,L)=Y
   A(M,M)=X
   130 IF(M=N) 135,140,135
   135 M=M+1
   GO TO 62
   140 IF(L=(N-1)) 145,150,145
   145 L=L+1
   GO TO 55
   150 IF(IND-1) 160,155,160
   155 IND=C
   GO TO 50
   160 IF(THR-ANRMX) 165,165,45
165  DO 185 L=1,N
   DO 185 M=L,N
   IF(A(L,L)-A(M,M)) 170,185,185
170  X=A(L,L)
   A(L,L)=A(M,M)
   A(M,M)=X
   IF(MV-1) 175,185,175
   175 DO 180 I=1,N
   X=P(I,L)
   R(I,L)=R(I,M)
180  R(I,M)=X
   185 CONTINUE
   RETURN
   END
```

Tabelle 3.2.1

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 01 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.50 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.066  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.051	0.052	0.053	0.054	0.057	0.061	0.063	0.065	0.066
1.095	0.039	0.042	0.044	0.043	0.059	0.071	0.076	0.081	0.085
1.825	0.031	0.034	0.038	0.044	0.051	0.082	0.093	0.101	0.109
2.555	0.024	0.028	0.032	0.040	0.053	0.096	0.113	0.127	0.140
3.285	0.019	0.023	0.028	0.037	0.067	0.114	0.139	0.160	0.179
4.015	0.015	0.018	0.024	0.034	0.072	0.136	0.171	0.202	0.230
4.745	0.012	0.015	0.021	0.032	0.077	0.163	0.212	0.256	0.295
5.475	0.009	0.013	0.018	0.029	0.084	0.198	0.265	0.325	0.378
6.205	0.007	0.010	0.016	0.028	0.093	0.241	0.333	0.413	0.485
6.935	0.006	0.009	0.014	0.026	0.102	0.296	0.419	0.528	0.622
7.665	0.005	0.007	0.012	0.024	0.114	0.366	0.530	0.676	0.798
8.395	0.004	0.006	0.011	0.022	0.127	0.454	0.673	0.868	1.024
9.125	0.003	0.005	0.009	0.020	0.142	0.566	0.857	1.116	1.312
9.855	0.002	0.004	0.007	0.017	0.159	0.705	1.086	1.426	1.683
10.585	0.001	0.003	0.005	0.015	0.177	0.876	1.371	1.797	2.121
11.315	0.001	0.002	0.004	0.012	0.194	1.077	1.709	2.228	2.633
12.045	0.001	0.001	0.003	0.009	0.208	1.287	2.050	2.644	3.117
12.775	0.000	0.001	0.002	0.007	0.215	1.462	2.339	2.916	3.395
13.505	0.000	0.000	0.001	0.004	0.191	1.452	2.200	2.701	3.124
14.235	0.000	0.000	0.000	0.002	0.179	0.896	1.241	1.443	1.533

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLDF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 01 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.079  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.064	0.065	0.066	0.068	0.072	0.077	0.079	0.081	0.082
1.095	0.049	0.052	0.055	0.060	0.072	0.087	0.093	0.098	0.103
1.825	0.039	0.042	0.047	0.054	0.074	0.100	0.112	0.122	0.131
2.555	0.031	0.035	0.041	0.050	0.078	0.117	0.136	0.153	0.168
3.285	0.024	0.029	0.036	0.046	0.082	0.138	0.167	0.192	0.215
4.015	0.020	0.024	0.031	0.043	0.088	0.164	0.205	0.242	0.275
4.745	0.016	0.021	0.028	0.041	0.096	0.197	0.254	0.305	0.353
5.475	0.013	0.018	0.025	0.039	0.105	0.238	0.317	0.387	0.453
6.205	0.011	0.015	0.022	0.037	0.117	0.290	0.396	0.492	0.582
6.935	0.010	0.013	0.020	0.035	0.130	0.356	0.497	0.627	0.749
7.665	0.008	0.011	0.017	0.032	0.145	0.439	0.625	0.800	0.965
8.395	0.006	0.008	0.014	0.029	0.162	0.543	0.789	1.024	1.242
9.125	0.004	0.006	0.011	0.026	0.181	0.674	0.991	1.306	1.588
9.855	0.003	0.005	0.009	0.022	0.202	0.832	1.240	1.644	2.033
10.585	0.002	0.004	0.007	0.019	0.226	1.020	1.531	2.047	2.514
11.315	0.001	0.003	0.005	0.016	0.247	1.235	1.845	2.490	2.942
12.045	0.001	0.002	0.004	0.012	0.262	1.437	2.144	2.850	3.331
12.775	0.001	0.001	0.003	0.009	0.262	1.541	2.266	2.973	3.472
13.505	0.000	0.001	0.001	0.005	0.223	1.408	2.009	2.556	2.947
14.235	0.000	0.000	0.000	0.002	0.116	0.746	1.019	1.214	1.420

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 02 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.079  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.069	0.070	0.071	0.073	0.078	0.083	0.086	0.088	0.089
1.095	0.053	0.056	0.060	0.065	0.079	0.095	0.103	0.109	0.114
1.825	0.042	0.046	0.051	0.059	0.082	0.111	0.125	0.136	0.146
2.555	0.033	0.037	0.044	0.054	0.086	0.130	0.152	0.170	0.187
3.285	0.025	0.031	0.038	0.050	0.091	0.153	0.186	0.214	0.239
4.015	0.020	0.025	0.033	0.046	0.097	0.183	0.230	0.270	0.306
4.745	0.016	0.021	0.029	0.043	0.106	0.220	0.285	0.341	0.391
5.475	0.012	0.017	0.025	0.040	0.116	0.267	0.355	0.432	0.501
6.205	0.009	0.014	0.022	0.038	0.127	0.326	0.445	0.549	0.641
6.935	0.007	0.011	0.018	0.035	0.141	0.401	0.561	0.700	0.821
7.665	0.005	0.009	0.016	0.032	0.158	0.495	0.702	0.892	1.049
8.395	0.004	0.007	0.013	0.030	0.176	0.612	0.884	1.176	1.356
9.125	0.003	0.005	0.011	0.027	0.196	0.754	1.107	1.412	1.715
9.855	0.002	0.004	0.009	0.024	0.217	0.929	1.269	1.755	2.147
10.585	0.002	0.003	0.007	0.020	0.241	1.123	1.659	2.145	2.625
11.315	0.001	0.002	0.005	0.017	0.261	1.328	1.970	2.530	3.188
12.045	0.001	0.002	0.004	0.013	0.267	1.514	2.220	2.831	3.456
12.775	0.000	0.001	0.003	0.009	0.256	1.574	2.292	2.856	3.463
13.505	0.000	0.001	0.002	0.006	0.206	1.364	1.931	2.362	2.882
14.235	0.000	0.000	0.001	0.002	0.098	0.579	0.917	1.060	1.304

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH G. M. B. H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ BOHLDER

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FÜR DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 02 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FÜR KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.101  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.082	0.083	0.085	0.087	0.092	0.098	0.100	0.102	0.104
1.095	0.063	0.066	0.071	0.076	0.092	0.109	0.117	0.124	0.129
1.325	0.050	0.054	0.060	0.069	0.094	0.126	0.141	0.154	0.164
2.555	0.040	0.045	0.052	0.064	0.099	0.147	0.171	0.191	0.209
3.285	0.032	0.038	0.046	0.059	0.105	0.174	0.209	0.240	0.267
4.015	0.026	0.032	0.041	0.056	0.113	0.207	0.258	0.301	0.340
4.745	0.022	0.027	0.036	0.053	0.123	0.249	0.319	0.380	0.434
5.475	0.019	0.024	0.033	0.051	0.136	0.302	0.397	0.481	0.555
6.205	0.016	0.021	0.030	0.049	0.150	0.369	0.496	0.610	0.708
6.935	0.013	0.018	0.026	0.046	0.167	0.452	0.622	0.776	0.903
7.665	0.010	0.014	0.021	0.041	0.185	0.557	0.780	0.990	1.147
8.395	0.007	0.010	0.017	0.037	0.206	0.685	0.978	1.242	1.449
9.125	0.005	0.008	0.014	0.032	0.230	0.841	1.205	1.545	1.814
9.855	0.004	0.006	0.011	0.028	0.251	1.020	1.474	1.897	2.239
10.585	0.003	0.004	0.009	0.024	0.273	1.211	1.764	2.272	2.721
11.315	0.002	0.003	0.007	0.020	0.299	1.400	2.054	2.609	3.202
12.045	0.001	0.002	0.005	0.015	0.291	1.520	2.254	2.791	3.525
12.775	0.001	0.001	0.003	0.011	0.270	1.515	2.222	2.679	3.440
13.505	0.000	0.001	0.002	0.006	0.202	1.235	1.771	2.105	2.648
14.235	0.000	0.000	0.001	0.002	0.089	0.567	0.787	0.930	1.081

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 03 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.097  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.085	0.087	0.088	0.090	0.096	0.102	0.105	0.107	0.109
1.095	0.067	0.070	0.075	0.081	0.097	0.117	0.125	0.132	0.138
1.825	0.053	0.058	0.064	0.074	0.101	0.135	0.152	0.165	0.177
2.555	0.042	0.048	0.056	0.068	0.106	0.158	0.184	0.206	0.225
3.285	0.033	0.040	0.049	0.063	0.113	0.187	0.225	0.258	0.289
4.015	0.026	0.032	0.042	0.058	0.120	0.222	0.276	0.323	0.367
4.745	0.020	0.027	0.037	0.055	0.131	0.266	0.342	0.417	0.469
5.475	0.016	0.022	0.032	0.051	0.143	0.323	0.426	0.515	0.601
6.205	0.012	0.017	0.027	0.048	0.159	0.393	0.533	0.651	0.774
6.935	0.009	0.014	0.023	0.044	0.176	0.483	0.668	0.825	0.976
7.665	0.007	0.011	0.020	0.041	0.197	0.593	0.837	1.034	1.244
8.395	0.005	0.009	0.017	0.038	0.219	0.722	1.036	1.303	1.642
9.125	0.004	0.007	0.014	0.034	0.243	0.872	1.271	1.616	1.991
9.855	0.003	0.005	0.011	0.030	0.269	1.053	1.526	1.975	2.397
10.585	0.002	0.004	0.009	0.026	0.293	1.232	1.796	2.337	2.899
11.315	0.001	0.003	0.007	0.022	0.310	1.396	2.047	2.639	3.123
12.045	0.001	0.002	0.005	0.018	0.308	1.497	2.171	2.767	3.242
12.775	0.001	0.001	0.004	0.013	0.279	1.449	2.159	2.611	3.004
13.505	0.000	0.001	0.002	0.007	0.209	1.153	1.539	2.027	2.310
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.087	0.514	0.586	0.671	0.764

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.60E 03 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.65 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.111  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.092	0.093	0.095	0.097	0.103	0.109	0.112	0.114	0.116
1.095	0.072	0.075	0.080	0.086	0.102	0.122	0.137	0.157	0.143
1.825	0.057	0.062	0.069	0.078	0.105	0.140	0.156	0.170	0.181
2.555	0.047	0.053	0.061	0.073	0.111	0.163	0.180	0.211	0.230
3.285	0.038	0.044	0.053	0.068	0.117	0.191	0.231	0.263	0.293
4.015	0.032	0.038	0.048	0.064	0.126	0.227	0.282	0.330	0.373
4.745	0.027	0.033	0.043	0.061	0.136	0.271	0.348	0.415	0.477
5.475	0.023	0.029	0.039	0.058	0.149	0.328	0.431	0.524	0.610
6.205	0.020	0.026	0.035	0.056	0.164	0.398	0.538	0.663	0.781
6.935	0.017	0.022	0.031	0.052	0.182	0.487	0.673	0.842	1.001
7.665	0.012	0.017	0.025	0.047	0.201	0.598	0.844	1.071	1.283
8.395	0.009	0.013	0.020	0.042	0.222	0.729	1.052	1.351	1.622
9.125	0.006	0.009	0.016	0.037	0.245	0.889	1.297	1.666	2.024
9.855	0.004	0.007	0.013	0.032	0.271	1.062	1.554	1.996	2.459
10.585	0.003	0.005	0.010	0.028	0.296	1.256	1.831	2.348	2.931
11.315	0.002	0.004	0.008	0.023	0.314	1.422	2.064	2.619	3.168
12.045	0.001	0.003	0.006	0.018	0.310	1.503	2.179	2.737	3.314
12.775	0.001	0.002	0.004	0.013	0.272	1.432	2.080	2.566	3.154
13.505	0.000	0.001	0.002	0.008	0.192	1.105	1.610	1.959	2.366
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.081	0.481	0.682	0.831	0.965

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 2.50E 03 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.117  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.095	0.096	0.098	0.100	0.106	0.113	0.116	0.118	0.120
1.095	0.073	0.077	0.082	0.083	0.106	0.126	0.135	0.142	0.149
1.825	0.058	0.063	0.070	0.080	0.109	0.145	0.162	0.176	0.188
2.555	0.046	0.053	0.061	0.074	0.114	0.169	0.196	0.219	0.240
3.285	0.038	0.044	0.054	0.069	0.121	0.199	0.239	0.274	0.306
4.015	0.031	0.038	0.048	0.065	0.130	0.237	0.294	0.344	0.390
4.745	0.026	0.033	0.043	0.062	0.141	0.284	0.364	0.434	0.499
5.475	0.022	0.028	0.038	0.053	0.155	0.344	0.452	0.547	0.639
6.205	0.018	0.023	0.033	0.055	0.170	0.419	0.553	0.692	0.821
6.935	0.013	0.018	0.028	0.049	0.187	0.513	0.703	0.876	1.056
7.665	0.009	0.014	0.023	0.045	0.207	0.627	0.872	1.104	1.330
8.395	0.007	0.011	0.019	0.040	0.229	0.761	1.077	1.383	1.647
9.125	0.005	0.008	0.015	0.036	0.254	0.919	1.323	1.688	2.042
9.855	0.004	0.006	0.012	0.032	0.277	1.087	1.593	2.012	2.478
10.585	0.003	0.005	0.010	0.028	0.294	1.266	1.849	2.326	2.843
11.315	0.002	0.003	0.008	0.023	0.302	1.424	2.061	2.581	3.141
12.045	0.001	0.002	0.005	0.018	0.298	1.493	2.130	2.698	3.207
12.775	0.001	0.002	0.004	0.013	0.266	1.424	1.994	2.515	2.957
13.505	0.000	0.001	0.002	0.008	0.193	1.101	1.543	1.888	2.300
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.082	0.472	0.645	0.799	0.929

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 03 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALF: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.108  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS :	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.096	0.097	0.099	0.101	0.108	0.115	0.118	0.121	0.123
1.095	0.075	0.079	0.084	0.091	0.109	0.131	0.141	0.148	0.155
1.825	0.059	0.065	0.072	0.082	0.113	0.152	0.170	0.185	0.198
2.555	0.047	0.053	0.062	0.076	0.119	0.177	0.207	0.231	0.253
3.285	0.037	0.044	0.054	0.071	0.126	0.209	0.253	0.289	0.322
4.015	0.030	0.037	0.048	0.066	0.135	0.250	0.311	0.364	0.411
4.745	0.025	0.032	0.043	0.063	0.147	0.301	0.386	0.459	0.524
5.475	0.019	0.026	0.037	0.059	0.161	0.364	0.480	0.580	0.668
6.205	0.014	0.021	0.031	0.054	0.177	0.444	0.601	0.734	0.852
6.935	0.011	0.016	0.027	0.050	0.196	0.538	0.746	0.921	1.087
7.665	0.008	0.013	0.023	0.046	0.218	0.650	0.920	1.153	1.362
8.395	0.006	0.010	0.019	0.042	0.241	0.782	1.119	1.433	1.666
9.125	0.004	0.008	0.016	0.038	0.269	0.936	1.360	1.736	2.067
9.855	0.003	0.006	0.013	0.034	0.293	1.118	1.610	2.047	2.503
10.585	0.002	0.005	0.010	0.029	0.316	1.280	1.864	2.338	2.952
11.315	0.002	0.003	0.008	0.024	0.318	1.422	2.046	2.576	3.254
12.045	0.001	0.002	0.006	0.019	0.305	1.465	2.107	2.637	3.277
12.775	0.001	0.002	0.004	0.014	0.264	1.361	1.967	2.403	3.013
13.505	0.000	0.001	0.002	0.008	0.196	1.044	1.481	1.801	2.231
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.081	0.441	0.617	0.753	0.872

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 6.30E 03 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.125  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.102	0.103	0.105	0.107	0.114	0.121	0.124	0.126	0.128
1.095	0.078	0.082	0.087	0.094	0.113	0.134	0.144	0.152	0.159
1.825	0.062	0.068	0.075	0.086	0.116	0.155	0.173	0.189	0.201
2.555	0.050	0.057	0.065	0.079	0.122	0.180	0.209	0.233	0.255
3.285	0.041	0.048	0.058	0.074	0.129	0.212	0.255	0.292	0.325
4.015	0.034	0.041	0.052	0.070	0.139	0.253	0.314	0.366	0.414
4.745	0.028	0.035	0.046	0.066	0.151	0.304	0.388	0.461	0.528
5.475	0.023	0.030	0.041	0.063	0.166	0.367	0.482	0.581	0.674
6.205	0.019	0.025	0.036	0.059	0.182	0.447	0.602	0.735	0.862
6.935	0.014	0.019	0.030	0.053	0.200	0.546	0.755	0.931	1.105
7.665	0.010	0.015	0.025	0.049	0.220	0.664	0.937	1.162	1.389
8.395	0.007	0.012	0.020	0.044	0.242	0.806	1.157	1.445	1.739
9.125	0.005	0.009	0.017	0.039	0.266	0.964	1.339	1.763	2.146
9.855	0.004	0.007	0.013	0.035	0.290	1.133	1.549	2.033	2.497
10.585	0.003	0.005	0.011	0.030	0.313	1.294	1.800	2.405	2.810
11.315	0.002	0.004	0.008	0.024	0.322	1.424	2.171	2.629	3.135
12.045	0.001	0.003	0.006	0.019	0.312	1.463	2.119	2.699	3.215
12.775	0.001	0.002	0.004	0.013	0.271	1.342	1.927	2.455	2.881
13.505	0.000	0.001	0.002	0.008	0.197	1.004	1.438	1.802	2.116
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.080	0.420	0.599	0.740	0.852

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 04 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.115  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.102	0.104	0.106	0.108	0.115	0.122	0.126	0.128	0.131
1.095	0.080	0.084	0.090	0.097	0.116	0.139	0.149	0.158	0.165
1.825	0.064	0.070	0.077	0.088	0.121	0.161	0.180	0.196	0.210
2.555	0.051	0.058	0.067	0.082	0.126	0.188	0.219	0.244	0.267
3.285	0.041	0.049	0.059	0.076	0.135	0.222	0.268	0.306	0.340
4.015	0.033	0.041	0.052	0.071	0.144	0.264	0.329	0.384	0.433
4.745	0.027	0.034	0.046	0.067	0.156	0.317	0.406	0.484	0.551
5.475	0.021	0.028	0.040	0.063	0.171	0.383	0.504	0.611	0.701
6.205	0.016	0.022	0.034	0.058	0.187	0.465	0.628	0.776	0.889
6.935	0.012	0.018	0.029	0.054	0.207	0.567	0.781	0.964	1.120
7.665	0.009	0.014	0.024	0.049	0.231	0.693	0.964	1.200	1.369
8.395	0.006	0.011	0.020	0.045	0.254	0.837	1.166	1.464	1.660
9.125	0.005	0.008	0.017	0.041	0.279	0.998	1.401	1.768	2.001
9.855	0.003	0.007	0.014	0.036	0.300	1.159	1.648	2.103	2.370
10.585	0.002	0.005	0.011	0.031	0.316	1.321	1.887	2.392	2.711
11.315	0.002	0.004	0.008	0.025	0.321	1.435	2.061	2.577	2.939
12.045	0.001	0.003	0.006	0.020	0.311	1.460	2.072	2.606	2.884
12.775	0.001	0.002	0.004	0.014	0.274	1.328	1.877	2.332	2.621
13.505	0.000	0.001	0.002	0.008	0.192	0.985	1.377	1.709	1.942
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.079	0.413	0.568	0.698	0.803

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.60E 04 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.214  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.112	0.113	0.115	0.118	0.125	0.132	0.135	0.138	0.140
1.095	0.087	0.091	0.097	0.104	0.124	0.146	0.156	0.165	0.172
1.825	0.070	0.076	0.084	0.095	0.127	0.168	0.187	0.202	0.216
2.555	0.057	0.064	0.074	0.088	0.134	0.195	0.225	0.251	0.273
3.285	0.048	0.056	0.066	0.084	0.142	0.230	0.275	0.313	0.347
4.015	0.041	0.048	0.060	0.080	0.154	0.273	0.337	0.391	0.441
4.745	0.035	0.042	0.055	0.076	0.167	0.327	0.415	0.491	0.561
5.475	0.030	0.037	0.049	0.073	0.183	0.394	0.513	0.618	0.714
6.205	0.024	0.031	0.043	0.068	0.200	0.478	0.637	0.780	0.908
6.935	0.017	0.023	0.035	0.061	0.219	0.582	0.793	0.986	1.156
7.665	0.013	0.018	0.029	0.055	0.241	0.703	0.978	1.222	1.475
8.395	0.009	0.014	0.024	0.051	0.266	0.839	1.171	1.484	1.844
9.125	0.007	0.010	0.019	0.045	0.292	0.989	1.401	1.782	2.273
9.855	0.005	0.008	0.015	0.039	0.317	1.152	1.535	2.107	2.618
10.585	0.003	0.006	0.012	0.034	0.344	1.303	1.649	2.368	2.976
11.315	0.002	0.004	0.009	0.027	0.343	1.394	1.690	2.561	3.129
12.045	0.002	0.003	0.007	0.021	0.322	1.403	1.677	2.569	3.055
12.775	0.001	0.002	0.005	0.015	0.275	1.275	1.743	2.307	2.674
13.505	0.001	0.001	0.003	0.009	0.196	0.939	1.300	1.670	1.958
14.235	0.000	0.000	0.001	0.003	0.078	0.291	0.531	0.675	0.779

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 2.50E 04 EV  
 BERECHNETE SCHICKESE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.145  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

WINKELBEREICH:	
RADIUS:	-1.000 -0.866 -0.707 -0.500 0.0 0.500 0.707 0.866 1.000
0.365	0.119 0.121 0.123 0.126 0.133 0.140 0.144 0.146 0.148
1.095	0.093 0.097 0.103 0.111 0.131 0.155 0.166 0.174 0.182
1.825	0.075 0.082 0.090 0.101 0.135 0.177 0.197 0.214 0.228
2.555	0.062 0.070 0.080 0.095 0.142 0.206 0.238 0.265 0.289
3.285	0.051 0.059 0.070 0.089 0.150 0.241 0.288 0.329 0.366
4.015	0.043 0.051 0.063 0.084 0.161 0.285 0.352 0.411 0.465
4.745	0.037 0.045 0.057 0.080 0.175 0.341 0.434 0.515 0.593
5.475	0.031 0.039 0.052 0.077 0.192 0.411 0.536 0.649 0.757
6.205	0.026 0.033 0.045 0.072 0.212 0.497 0.665 0.818 0.970
6.935	0.018 0.025 0.037 0.065 0.233 0.606 0.828 1.033 1.244
7.665	0.013 0.019 0.031 0.059 0.257 0.733 1.015 1.285 1.568
8.395	0.010 0.015 0.025 0.054 0.283 0.874 1.224 1.567 1.891
9.125	0.007 0.011 0.021 0.049 0.304 1.033 1.456 1.877 2.250
9.855	0.005 0.008 0.017 0.043 0.329 1.186 1.689 2.179 2.562
10.585	0.004 0.006 0.013 0.037 0.346 1.330 1.907 2.404 2.940
11.315	0.002 0.005 0.010 0.031 0.350 1.417 2.037 2.549 3.123
12.045	0.002 0.003 0.007 0.024 0.328 1.408 2.020 2.496 3.110
12.775	0.001 0.002 0.005 0.017 0.288 1.264 1.777 2.211 2.692
13.505	0.001 0.001 0.003 0.011 0.201 0.924 1.276 1.602 1.910
14.235	0.000 0.000 0.001 0.004 0.081 0.374 0.515 0.649 0.735

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 04 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.140  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.125	0.126	0.129	0.132	0.140	0.149	0.153	0.156	0.159
1.095	0.098	0.103	0.109	0.113	0.142	0.169	0.181	0.191	0.200
1.825	0.077	0.085	0.094	0.108	0.147	0.195	0.219	0.238	0.254
2.555	0.062	0.070	0.082	0.099	0.154	0.229	0.266	0.296	0.323
3.285	0.049	0.058	0.072	0.092	0.163	0.269	0.324	0.369	0.410
4.015	0.039	0.049	0.063	0.086	0.175	0.321	0.399	0.462	0.522
4.745	0.030	0.039	0.054	0.080	0.188	0.385	0.496	0.579	0.668
5.475	0.023	0.032	0.047	0.076	0.206	0.461	0.602	0.721	0.839
6.205	0.017	0.026	0.041	0.072	0.229	0.553	0.738	0.895	1.053
6.935	0.013	0.021	0.035	0.068	0.254	0.664	0.905	1.111	1.298
7.665	0.010	0.017	0.030	0.064	0.282	0.795	1.099	1.370	1.557
8.395	0.008	0.014	0.026	0.059	0.309	0.940	1.310	1.654	1.854
9.125	0.006	0.011	0.022	0.053	0.338	1.093	1.545	1.944	2.223
9.855	0.004	0.008	0.018	0.048	0.365	1.263	1.764	2.225	2.628
10.585	0.003	0.006	0.014	0.041	0.382	1.387	1.946	2.463	2.964
11.315	0.002	0.005	0.011	0.034	0.376	1.457	2.131	2.595	2.963
12.045	0.001	0.003	0.008	0.026	0.351	1.429	1.998	2.524	2.872
12.775	0.001	0.002	0.005	0.018	0.295	1.240	1.752	2.187	2.523
13.505	0.000	0.001	0.003	0.011	0.204	0.882	1.264	1.547	1.912
14.235	0.000	0.000	0.001	0.004	0.078	0.361	1.014	0.608	0.741

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLÖFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 6.30E 04 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.187  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.147	0.153	0.152	0.156	0.164	0.173	0.177	0.180	0.182
1.095	0.115	0.120	0.127	0.136	0.161	0.188	0.201	0.211	0.220
1.825	0.093	0.101	0.111	0.125	0.165	0.215	0.239	0.258	0.275
2.555	0.075	0.084	0.096	0.114	0.170	0.246	0.284	0.316	0.345
3.285	0.062	0.072	0.085	0.107	0.180	0.288	0.344	0.392	0.437
4.015	0.052	0.062	0.077	0.102	0.194	0.341	0.420	0.489	0.555
4.745	0.044	0.053	0.069	0.096	0.210	0.407	0.515	0.612	0.708
5.475	0.036	0.045	0.060	0.090	0.229	0.489	0.634	0.768	0.906
6.205	0.026	0.035	0.050	0.082	0.249	0.592	0.782	0.965	1.162
6.935	0.019	0.027	0.042	0.075	0.276	0.708	0.952	1.195	1.461
7.665	0.014	0.021	0.035	0.069	0.301	0.836	1.154	1.450	1.779
8.395	0.010	0.016	0.029	0.063	0.331	0.983	1.368	1.718	2.137
9.125	0.007	0.013	0.024	0.058	0.358	1.150	1.602	2.003	2.492
9.855	0.005	0.010	0.020	0.051	0.381	1.307	1.817	2.253	2.817
10.585	0.004	0.007	0.016	0.045	0.396	1.432	1.977	2.453	3.075
11.315	0.003	0.005	0.013	0.038	0.394	1.479	2.070	2.523	3.173
12.045	0.002	0.004	0.009	0.030	0.366	1.431	1.986	2.437	2.969
12.775	0.001	0.003	0.006	0.021	0.301	1.238	1.718	2.101	2.447
13.505	0.001	0.001	0.004	0.013	0.205	0.876	1.206	1.481	1.662
14.235	0.000	0.000	0.001	0.005	0.082	0.350	0.484	0.589	0.640

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.181  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.162	0.164	0.167	0.171	0.181	0.192	0.197	0.201	0.205
1.095	0.127	0.134	0.142	0.153	0.183	0.217	0.233	0.245	0.256
1.825	0.102	0.111	0.123	0.140	0.189	0.250	0.279	0.303	0.323
2.555	0.080	0.091	0.106	0.128	0.197	0.290	0.336	0.373	0.407
3.285	0.063	0.075	0.091	0.118	0.208	0.341	0.407	0.464	0.515
4.015	0.048	0.060	0.078	0.108	0.222	0.406	0.495	0.580	0.647
4.745	0.037	0.049	0.067	0.100	0.241	0.472	0.601	0.712	0.821
5.475	0.028	0.040	0.058	0.094	0.259	0.558	0.734	0.869	1.008
6.205	0.022	0.032	0.051	0.089	0.281	0.665	0.892	1.071	1.218
6.935	0.017	0.026	0.044	0.085	0.307	0.793	1.077	1.301	1.496
7.665	0.013	0.021	0.038	0.079	0.338	0.932	1.267	1.561	1.781
8.395	0.010	0.017	0.033	0.074	0.370	1.082	1.490	1.841	2.071
9.125	0.007	0.014	0.028	0.067	0.401	1.235	1.717	2.130	2.371
9.855	0.006	0.011	0.024	0.059	0.421	1.375	1.918	2.377	2.690
10.585	0.004	0.008	0.019	0.052	0.428	1.488	2.041	2.553	2.887
11.315	0.003	0.006	0.015	0.044	0.421	1.521	2.050	2.592	2.881
12.045	0.002	0.004	0.011	0.035	0.381	1.458	1.952	2.436	2.707
12.775	0.001	0.003	0.008	0.025	0.321	1.244	1.758	2.059	2.267
13.505	0.001	0.002	0.004	0.015	0.222	0.890	1.164	1.435	1.553
14.235	0.000	0.001	0.001	0.005	0.090	0.346	0.457	0.567	0.621

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODEPARATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.60E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.215  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.194	0.196	0.199	0.204	0.215	0.228	0.233	0.238	0.241
1.095	0.155	0.163	0.172	0.184	0.218	0.256	0.272	0.286	0.297
1.825	0.124	0.135	0.149	0.168	0.224	0.291	0.322	0.347	0.369
2.555	0.099	0.112	0.129	0.155	0.233	0.335	0.384	0.424	0.459
3.285	0.077	0.091	0.111	0.143	0.245	0.391	0.463	0.522	0.573
4.015	0.059	0.073	0.095	0.132	0.262	0.462	0.564	0.645	0.720
4.745	0.045	0.059	0.082	0.122	0.282	0.548	0.686	0.797	0.901
5.475	0.034	0.048	0.070	0.115	0.308	0.645	0.827	0.986	1.125
6.205	0.026	0.039	0.061	0.107	0.337	0.764	0.994	1.209	1.369
6.935	0.020	0.031	0.052	0.100	0.369	0.903	1.195	1.470	1.665
7.665	0.015	0.025	0.045	0.093	0.405	1.058	1.401	1.738	1.944
8.395	0.011	0.020	0.038	0.087	0.434	1.211	1.630	2.011	2.234
9.125	0.008	0.016	0.032	0.080	0.460	1.367	1.860	2.261	2.555
9.855	0.006	0.012	0.027	0.074	0.482	1.493	2.029	2.495	2.698
10.585	0.004	0.009	0.022	0.065	0.483	1.576	2.145	2.623	2.807
11.315	0.003	0.007	0.017	0.055	0.466	1.592	2.147	2.635	2.791
12.045	0.002	0.005	0.012	0.043	0.423	1.509	2.024	2.436	2.654
12.775	0.001	0.003	0.008	0.031	0.350	1.277	1.676	2.012	2.177
13.505	0.001	0.002	0.005	0.019	0.238	0.881	1.139	1.365	1.477
14.235	0.000	0.001	0.002	0.007	0.092	0.338	0.442	0.520	0.585

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 2.50E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.270  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.244	0.247	0.251	0.257	0.271	0.286	0.293	0.299	0.303
1.095	0.196	0.205	0.216	0.232	0.273	0.320	0.342	0.358	0.373
1.825	0.155	0.169	0.186	0.210	0.278	0.362	0.401	0.433	0.460
2.555	0.123	0.140	0.161	0.192	0.289	0.417	0.479	0.530	0.574
3.285	0.098	0.115	0.141	0.177	0.305	0.488	0.578	0.653	0.719
4.015	0.074	0.094	0.121	0.165	0.324	0.566	0.690	0.795	0.884
4.745	0.055	0.079	0.105	0.155	0.346	0.664	0.815	0.955	1.081
5.475	0.045	0.064	0.093	0.146	0.372	0.764	0.964	1.155	1.278
6.205	0.035	0.052	0.081	0.139	0.400	0.889	1.132	1.391	1.526
6.935	0.027	0.043	0.071	0.130	0.434	1.025	1.330	1.611	1.861
7.665	0.023	0.035	0.064	0.120	0.463	1.157	1.521	1.871	2.159
8.395	0.017	0.028	0.053	0.110	0.494	1.311	1.741	2.132	2.513
9.125	0.012	0.022	0.045	0.100	0.524	1.440	1.929	2.360	2.819
9.855	0.009	0.017	0.033	0.090	0.539	1.554	2.074	2.518	2.994
10.585	0.006	0.013	0.030	0.079	0.539	1.590	2.142	2.578	3.076
11.315	0.005	0.010	0.024	0.067	0.513	1.566	2.101	2.536	2.949
12.045	0.002	0.007	0.017	0.055	0.455	1.453	1.923	2.319	2.618
12.775	0.001	0.005	0.012	0.040	0.367	1.221	1.597	1.889	2.137
13.505	0.000	0.003	0.007	0.024	0.252	0.842	1.031	1.267	1.417
14.235	0.000	0.001	0.002	0.009	0.095	0.325	0.414	0.481	0.544

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLÖFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.393  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.360	0.365	0.370	0.377	0.395	0.415	0.424	0.431	0.437
1.095	0.297	0.309	0.324	0.345	0.399	0.459	0.486	0.507	0.526
1.825	0.236	0.256	0.280	0.313	0.401	0.509	0.558	0.597	0.633
2.555	0.180	0.213	0.246	0.292	0.412	0.577	0.654	0.715	0.779
3.285	0.143	0.172	0.211	0.266	0.432	0.655	0.767	0.849	0.922
4.015	0.114	0.142	0.185	0.245	0.447	0.745	0.888	1.007	1.091
4.745	0.090	0.116	0.159	0.228	0.471	0.846	1.037	1.197	1.312
5.475	0.070	0.095	0.138	0.212	0.501	0.959	1.198	1.402	1.575
6.205	0.055	0.078	0.120	0.198	0.529	1.078	1.380	1.614	1.860
6.935	0.042	0.065	0.105	0.186	0.562	1.226	1.573	1.866	2.170
7.665	0.032	0.054	0.092	0.175	0.594	1.350	1.770	2.115	2.487
8.395	0.025	0.044	0.079	0.164	0.623	1.488	1.943	2.340	2.719
9.125	0.017	0.036	0.069	0.154	0.642	1.604	2.083	2.514	2.861
9.855	0.012	0.029	0.059	0.139	0.648	1.667	2.183	2.602	2.958
10.585	0.008	0.023	0.049	0.122	0.637	1.686	2.227	2.599	2.915
11.315	0.008	0.017	0.039	0.103	0.596	1.604	2.151	2.486	2.754
12.045	0.006	0.012	0.029	0.082	0.519	1.449	1.918	2.231	2.400
12.775	0.005	0.008	0.020	0.062	0.418	1.187	1.542	1.799	1.939
13.505	0.003	0.004	0.012	0.036	0.277	0.813	1.038	1.199	1.295
14.235	0.001	0.001	0.004	0.012	0.106	0.307	0.396	0.449	0.522

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 5.00E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICHSALE: 20000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.484  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.413	0.419	0.425	0.433	0.454	0.475	0.484	0.491	0.497
1.095	0.335	0.349	0.365	0.388	0.448	0.514	0.544	0.567	0.587
1.825	0.271	0.290	0.315	0.350	0.450	0.568	0.622	0.666	0.703
2.555	0.213	0.236	0.267	0.313	0.458	0.634	0.719	0.792	0.846
3.285	0.163	0.189	0.223	0.277	0.475	0.719	0.841	0.960	1.010
4.015	0.129	0.157	0.194	0.252	0.489	0.810	0.993	1.163	1.152
4.745	0.095	0.134	0.169	0.234	0.505	0.907	1.119	1.301	1.334
5.475	0.080	0.112	0.152	0.223	0.536	1.011	1.269	1.490	1.616
6.205	0.066	0.098	0.136	0.211	0.555	1.142	1.422	1.669	1.859
6.935	0.043	0.083	0.119	0.196	0.592	1.269	1.605	1.867	2.132
7.665	0.028	0.070	0.102	0.184	0.616	1.419	1.768	2.056	2.473
8.395	0.026	0.055	0.088	0.167	0.651	1.521	1.933	2.269	2.656
9.125	0.020	0.045	0.075	0.154	0.668	1.625	2.096	2.446	2.808
9.855	0.013	0.035	0.062	0.140	0.667	1.695	2.185	2.547	2.887
10.585	0.010	0.026	0.051	0.126	0.654	1.714	2.183	2.553	2.826
11.315	0.008	0.019	0.041	0.105	0.642	1.653	2.065	2.426	2.601
12.045	0.006	0.013	0.033	0.082	0.571	1.472	1.829	2.168	2.248
12.775	0.004	0.009	0.021	0.060	0.452	1.169	1.477	1.720	1.829
13.505	0.002	0.005	0.012	0.038	0.299	0.757	0.997	1.144	1.223
14.235	0.001	0.002	0.004	0.014	0.108	0.292	0.380	0.434	0.452

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 6.30E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 48000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.489  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.450	0.455	0.462	0.471	0.494	0.518	0.529	0.537	0.544
1.095	0.369	0.385	0.405	0.432	0.498	0.571	0.603	0.629	0.652
1.825	0.302	0.328	0.364	0.406	0.515	0.643	0.697	0.750	0.800
2.555	0.246	0.276	0.318	0.377	0.539	0.724	0.812	0.885	0.995
3.285	0.209	0.234	0.282	0.346	0.552	0.819	0.943	1.026	1.136
4.015	0.171	0.200	0.249	0.327	0.577	0.919	1.071	1.190	1.316
4.745	0.146	0.173	0.224	0.313	0.600	1.026	1.214	1.371	1.503
5.475	0.133	0.150	0.200	0.299	0.636	1.145	1.387	1.569	1.752
6.205	0.105	0.129	0.179	0.278	0.668	1.274	1.559	1.791	1.976
6.935	0.081	0.107	0.160	0.263	0.706	1.387	1.726	2.005	2.228
7.665	0.062	0.090	0.147	0.245	0.737	1.517	1.894	2.218	2.457
8.395	0.049	0.073	0.126	0.228	0.762	1.618	2.059	2.398	2.675
9.125	0.036	0.058	0.106	0.215	0.773	1.714	2.148	2.550	2.799
9.855	0.026	0.046	0.088	0.195	0.766	1.760	2.210	2.607	2.824
10.585	0.021	0.035	0.072	0.171	0.744	1.745	2.191	2.539	2.782
11.315	0.015	0.027	0.059	0.138	0.690	1.643	2.049	2.356	2.594
12.045	0.011	0.019	0.047	0.109	0.598	1.444	1.802	2.056	2.245
12.775	0.009	0.012	0.033	0.081	0.474	1.148	1.432	1.623	1.747
13.505	0.005	0.007	0.019	0.049	0.312	0.750	0.948	1.063	1.137
14.235	0.001	0.002	0.007	0.017	0.116	0.286	0.357	0.393	0.430

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 9.00E 05 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 20000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.700  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.656	0.662	0.670	0.680	0.709	0.740	0.754	0.765	0.774
1.095	0.571	0.579	0.596	0.625	0.709	0.806	0.849	0.885	0.918
1.825	0.551	0.522	0.531	0.576	0.723	0.893	0.975	1.037	1.137
2.555	0.391	0.415	0.457	0.527	0.750	0.965	1.268	1.200	1.267
3.285	0.309	0.353	0.407	0.495	0.754	1.068	1.200	1.350	1.424
4.015	0.248	0.317	0.372	0.475	0.782	1.157	1.323	1.500	1.626
4.745	0.220	0.278	0.342	0.452	0.823	1.266	1.482	1.663	1.854
5.475	0.211	0.248	0.314	0.436	0.855	1.376	1.633	1.859	2.197
6.205	0.182	0.214	0.286	0.422	0.881	1.496	1.768	2.062	2.195
6.935	0.174	0.180	0.259	0.397	0.925	1.601	1.925	2.211	2.357
7.665	0.127	0.152	0.240	0.373	0.951	1.701	2.039	2.351	2.546
8.395	0.092	0.127	0.216	0.360	0.961	1.767	2.129	2.446	2.663
9.125	0.070	0.104	0.189	0.333	0.945	1.799	2.180	2.490	2.804
9.855	0.046	0.085	0.161	0.299	0.910	1.766	2.154	2.509	2.818
10.585	0.037	0.067	0.133	0.251	0.867	1.718	2.097	2.423	2.808
11.315	0.023	0.053	0.104	0.208	0.802	1.595	1.922	2.220	2.552
12.045	0.012	0.040	0.077	0.163	0.636	1.375	1.659	1.880	2.142
12.775	0.009	0.027	0.053	0.125	0.542	1.232	1.313	1.465	1.715
13.505	0.007	0.015	0.033	0.079	0.345	0.726	0.851	0.929	1.130
14.235	0.003	0.005	0.011	0.027	0.127	0.267	0.311	0.342	0.397

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELADDEPATORS  
 FÜR DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 06 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 42000  
 BERECHNET FUR KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.760  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.698	0.705	0.714	0.725	0.753	0.783	0.796	0.805	0.813
1.095	0.593	0.613	0.638	0.671	0.755	0.846	0.884	0.912	0.935
1.825	0.500	0.532	0.574	0.625	0.767	0.933	1.002	1.038	1.080
2.555	0.432	0.481	0.522	0.590	0.781	1.011	1.110	1.185	1.255
3.285	0.393	0.419	0.469	0.548	0.803	1.115	1.235	1.350	1.452
4.015	0.324	0.362	0.424	0.518	0.822	1.204	1.382	1.496	1.660
4.745	0.245	0.320	0.388	0.491	0.842	1.322	1.506	1.682	1.862
5.475	0.212	0.266	0.341	0.459	0.862	1.419	1.637	1.836	2.061
6.205	0.173	0.224	0.302	0.427	0.883	1.523	1.779	2.014	2.261
6.935	0.150	0.184	0.267	0.402	0.900	1.618	1.912	2.178	2.447
7.665	0.125	0.154	0.240	0.371	0.911	1.706	2.039	2.299	2.636
8.395	0.095	0.129	0.209	0.340	0.913	1.781	2.114	2.404	2.727
9.125	0.073	0.109	0.183	0.305	0.904	1.797	2.164	2.439	2.813
9.855	0.059	0.089	0.156	0.273	0.874	1.776	2.159	2.419	2.805
10.585	0.049	0.070	0.131	0.243	0.821	1.703	2.062	2.339	2.653
11.315	0.035	0.054	0.106	0.205	0.749	1.570	1.983	2.158	2.358
12.045	0.022	0.041	0.082	0.163	0.636	1.356	1.627	1.952	1.965
12.775	0.015	0.029	0.059	0.119	0.486	1.072	1.283	1.429	1.509
13.505	0.011	0.017	0.036	0.073	0.318	0.695	0.847	0.924	0.974
14.235	0.005	0.006	0.012	0.026	0.121	0.263	0.315	0.342	0.374

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.30E 06 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 20000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.966  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.887	0.895	0.905	0.918	0.949	0.980	0.993	1.004	1.012
1.095	0.766	0.788	0.815	0.852	0.945	1.041	1.082	1.114	1.140
1.825	0.630	0.664	0.707	0.769	0.929	1.093	1.169	1.227	1.269
2.555	0.522	0.572	0.622	0.713	0.956	1.184	1.309	1.408	1.423
3.285	0.415	0.497	0.563	0.671	0.971	1.264	1.421	1.541	1.576
4.015	0.323	0.447	0.515	0.660	1.004	1.364	1.544	1.685	1.780
4.745	0.286	0.384	0.473	0.612	1.019	1.477	1.658	1.870	1.913
5.475	0.235	0.341	0.439	0.582	1.053	1.581	1.932	2.024	2.054
6.205	0.212	0.290	0.397	0.567	1.075	1.677	1.952	2.192	2.159
6.935	0.187	0.252	0.357	0.530	1.089	1.751	2.057	2.299	2.321
7.665	0.142	0.225	0.318	0.499	1.104	1.823	2.142	2.363	2.458
8.395	0.102	0.200	0.288	0.460	1.085	1.845	2.179	2.364	2.625
9.125	0.084	0.174	0.255	0.421	1.053	1.830	2.122	2.354	2.656
9.855	0.071	0.150	0.222	0.376	0.987	1.765	2.084	2.293	2.444
10.585	0.064	0.123	0.196	0.327	0.912	1.630	1.959	2.152	2.499
11.315	0.058	0.096	0.164	0.274	0.817	1.544	1.777	1.927	2.243
12.045	0.041	0.070	0.130	0.223	0.688	1.323	1.505	1.626	1.870
12.775	0.020	0.050	0.093	0.171	0.529	1.021	1.149	1.250	1.364
13.505	0.012	0.029	0.056	0.103	0.340	0.644	0.736	0.801	0.856
14.235	0.004	0.010	0.019	0.041	0.127	0.239	0.264	0.289	0.312

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.60E 06 EV  
 BERECHNETE SCHICKESE: 46000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 1.016  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.924	0.932	0.942	0.954	0.984	1.016	1.029	1.039	1.048
1.095	0.798	0.830	0.857	0.889	0.981	1.076	1.125	1.148	1.180
1.825	0.714	0.739	0.780	0.825	0.986	1.145	1.221	1.268	1.302
2.555	0.604	0.659	0.714	0.789	1.002	1.225	1.327	1.414	1.467
3.285	0.499	0.571	0.640	0.733	1.002	1.322	1.466	1.556	1.608
4.015	0.450	0.496	0.593	0.698	1.011	1.409	1.543	1.667	1.750
4.745	0.396	0.440	0.542	0.671	1.037	1.474	1.655	1.782	1.857
5.475	0.352	0.395	0.494	0.637	1.047	1.541	1.769	1.914	2.029
6.205	0.282	0.352	0.453	0.606	1.068	1.620	1.885	2.033	2.241
6.935	0.228	0.306	0.408	0.578	1.088	1.699	1.974	2.161	2.349
7.665	0.194	0.262	0.366	0.542	1.092	1.755	2.057	2.234	2.423
8.395	0.149	0.227	0.320	0.503	1.093	1.780	2.100	2.262	2.451
9.125	0.122	0.195	0.282	0.457	1.067	1.774	2.074	2.250	2.419
9.855	0.109	0.163	0.250	0.407	1.016	1.729	1.992	2.164	2.373
10.585	0.088	0.135	0.212	0.351	0.940	1.628	1.871	2.011	2.247
11.315	0.073	0.107	0.173	0.294	0.839	1.483	1.684	1.804	2.014
12.045	0.061	0.081	0.136	0.230	0.705	1.252	1.419	1.512	1.723
12.775	0.048	0.057	0.093	0.170	0.539	0.966	1.092	1.166	1.347
13.505	0.028	0.034	0.057	0.106	0.350	0.623	0.697	0.744	0.883
14.235	0.008	0.013	0.021	0.038	0.129	0.229	0.259	0.274	0.325

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 2.50E 06 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 38000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 1.238  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	1.146	1.157	1.169	1.186	1.225	1.264	1.279	1.292	1.301
1.095	0.984	1.016	1.055	1.103	1.228	1.335	1.383	1.429	1.434
1.825	0.858	0.938	0.972	1.030	1.195	1.346	1.409	1.452	1.486
2.555	0.803	0.843	0.902	0.997	1.175	1.377	1.470	1.510	1.576
3.285	0.731	0.778	0.844	0.929	1.157	1.423	1.551	1.624	1.682
4.015	0.654	0.713	0.784	0.878	1.147	1.485	1.621	1.697	1.790
4.745	0.579	0.651	0.737	0.838	1.144	1.542	1.671	1.798	1.947
5.475	0.513	0.586	0.691	0.804	1.152	1.581	1.761	1.892	2.037
6.205	0.458	0.522	0.640	0.769	1.149	1.631	1.811	1.962	2.133
6.935	0.375	0.465	0.575	0.725	1.160	1.677	1.850	2.001	2.169
7.665	0.302	0.411	0.519	0.682	1.156	1.696	1.874	1.997	2.075
8.395	0.247	0.357	0.469	0.625	1.133	1.687	1.873	1.967	2.066
9.125	0.210	0.309	0.422	0.572	1.083	1.646	1.829	1.927	1.957
9.855	0.178	0.263	0.369	0.507	1.022	1.575	1.742	1.836	1.812
10.585	0.145	0.221	0.319	0.443	0.938	1.456	1.623	1.683	1.637
11.315	0.129	0.179	0.253	0.375	0.826	1.300	1.457	1.485	1.458
12.045	0.103	0.137	0.207	0.300	0.685	1.090	1.229	1.236	1.217
12.775	0.067	0.096	0.150	0.225	0.529	0.833	0.937	0.946	0.850
13.505	0.042	0.056	0.093	0.143	0.336	0.528	0.594	0.592	0.444
14.235	0.016	0.019	0.032	0.051	0.121	0.192	0.217	0.215	0.231

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ POHLHOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 06 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALF: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 1.245  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	1.152	1.159	1.167	1.178	1.201	1.223	1.232	1.238	1.244
1.095	1.042	1.063	1.090	1.123	1.194	1.260	1.285	1.308	1.327
1.825	0.978	1.017	1.040	1.083	1.178	1.281	1.325	1.350	1.380
2.555	0.944	0.980	1.000	1.053	1.186	1.325	1.403	1.453	1.526
3.285	0.930	0.931	0.962	1.036	1.171	1.355	1.453	1.529	1.553
4.015	0.846	0.855	0.906	0.976	1.172	1.407	1.527	1.605	1.627
4.745	0.727	0.783	0.844	0.939	1.166	1.462	1.603	1.670	1.688
5.475	0.609	0.717	0.784	0.891	1.156	1.488	1.635	1.698	1.748
6.205	0.521	0.652	0.728	0.841	1.146	1.494	1.634	1.711	1.753
6.935	0.463	0.583	0.677	0.788	1.126	1.493	1.522	1.700	1.833
7.665	0.408	0.525	0.613	0.725	1.093	1.465	1.591	1.685	1.843
8.395	0.357	0.475	0.558	0.686	1.049	1.420	1.566	1.662	1.753
9.125	0.321	0.417	0.499	0.630	1.003	1.355	1.506	1.595	1.669
9.855	0.275	0.364	0.438	0.561	0.917	1.266	1.402	1.488	1.568
10.585	0.227	0.310	0.374	0.488	0.830	1.140	1.279	1.329	1.500
11.315	0.167	0.256	0.308	0.408	0.726	0.994	1.117	1.150	1.326
12.045	0.128	0.194	0.245	0.325	0.607	0.819	0.929	0.950	1.104
12.775	0.101	0.133	0.178	0.235	0.455	0.623	0.699	0.711	0.818
13.505	0.066	0.077	0.108	0.145	0.285	0.395	0.446	0.444	0.520
14.235	0.027	0.025	0.039	0.052	0.103	0.144	0.160	0.161	0.189

**KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.**  
**ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ**  
**DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF**

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 6.30E 06 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 1.172  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	1.146	1.153	1.161	1.170	1.192	1.214	1.224	1.233	1.240
1.095	1.047	1.066	1.095	1.131	1.183	1.244	1.283	1.326	1.345
1.825	1.014	1.020	1.052	1.094	1.188	1.263	1.302	1.358	1.351
2.555	0.942	0.957	0.995	1.048	1.176	1.305	1.354	1.358	1.383
3.285	0.848	0.900	0.947	1.019	1.167	1.328	1.376	1.389	1.445
4.015	0.776	0.854	0.902	0.983	1.159	1.316	1.387	1.421	1.442
4.745	0.714	0.817	0.862	0.948	1.146	1.345	1.401	1.475	1.454
5.475	0.713	0.753	0.811	0.910	1.123	1.340	1.401	1.486	1.477
6.205	0.664	0.704	0.775	0.865	1.101	1.334	1.402	1.480	1.470
6.935	0.579	0.648	0.725	0.816	1.072	1.313	1.370	1.443	1.450
7.665	0.534	0.587	0.677	0.775	1.035	1.284	1.339	1.388	1.441
8.395	0.476	0.533	0.616	0.721	0.973	1.225	1.302	1.324	1.399
9.125	0.395	0.480	0.548	0.660	0.913	1.168	1.245	1.255	1.332
9.855	0.341	0.420	0.482	0.585	0.834	1.081	1.157	1.167	1.220
10.585	0.282	0.353	0.417	0.509	0.745	0.973	1.042	1.052	1.087
11.315	0.228	0.291	0.346	0.425	0.656	0.842	0.902	0.903	0.970
12.045	0.179	0.230	0.271	0.340	0.532	0.700	0.725	0.750	0.769
12.775	0.133	0.166	0.194	0.250	0.388	0.527	0.532	0.566	0.556
13.505	0.085	0.101	0.119	0.152	0.244	0.328	0.335	0.350	0.356
14.235	0.028	0.036	0.043	0.055	0.088	0.119	0.120	0.128	0.126

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 07 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 1.087  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	1.070	1.074	1.079	1.086	1.100	1.109	1.112	1.115	1.117
1.095	1.017	1.010	1.026	1.047	1.098	1.119	1.123	1.135	1.162
1.825	0.937	0.956	0.976	1.017	1.105	1.116	1.132	1.134	1.121
2.555	0.877	0.918	0.943	0.981	1.054	1.116	1.129	1.154	1.143
3.285	0.877	0.903	0.925	0.967	1.039	1.110	1.136	1.173	1.184
4.015	0.855	0.883	0.895	0.947	1.031	1.105	1.140	1.159	1.194
4.745	0.832	0.845	0.868	0.919	1.020	1.108	1.144	1.140	1.205
5.475	0.806	0.789	0.817	0.872	0.994	1.087	1.117	1.124	1.178
6.205	0.740	0.740	0.758	0.834	0.956	1.061	1.102	1.110	1.139
6.935	0.680	0.688	0.722	0.784	0.922	1.038	1.071	1.081	1.064
7.665	0.593	0.642	0.672	0.736	0.982	0.992	1.031	1.030	1.021
8.395	0.542	0.578	0.617	0.684	0.835	0.936	0.972	0.976	0.932
9.125	0.509	0.519	0.557	0.626	0.773	0.875	0.895	0.907	0.867
9.855	0.459	0.455	0.495	0.565	0.711	0.793	0.801	0.833	0.805
10.585	0.408	0.388	0.433	0.496	0.623	0.708	0.709	0.732	0.745
11.315	0.338	0.329	0.368	0.419	0.538	0.607	0.610	0.628	0.656
12.045	0.270	0.257	0.298	0.340	0.440	0.502	0.495	0.513	0.514
12.775	0.193	0.189	0.222	0.255	0.328	0.374	0.375	0.383	0.375
13.505	0.124	0.118	0.138	0.162	0.203	0.231	0.239	0.235	0.245
14.235	0.046	0.042	0.049	0.059	0.073	0.081	0.086	0.085	0.081

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.60E 07 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.829  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.809	0.808	0.808	0.807	0.806	0.804	0.803	0.802	0.800
1.095	0.821	0.812	0.801	0.797	0.796	0.800	0.792	0.788	0.773
1.825	0.804	0.786	0.784	0.782	0.788	0.793	0.789	0.791	0.766
2.555	0.763	0.762	0.764	0.755	0.763	0.791	0.788	0.800	0.766
3.285	0.722	0.729	0.738	0.729	0.757	0.788	0.792	0.796	0.745
4.015	0.749	0.704	0.707	0.712	0.743	0.780	0.785	0.788	0.763
4.745	0.715	0.687	0.685	0.692	0.721	0.756	0.777	0.776	0.799
5.475	0.645	0.672	0.657	0.658	0.700	0.743	0.763	0.760	0.783
6.205	0.622	0.632	0.632	0.632	0.681	0.719	0.733	0.740	0.749
6.935	0.587	0.593	0.603	0.610	0.651	0.692	0.709	0.712	0.702
7.665	0.522	0.555	0.561	0.568	0.616	0.657	0.665	0.675	0.658
8.395	0.509	0.507	0.519	0.529	0.584	0.613	0.632	0.636	0.598
9.125	0.474	0.458	0.473	0.482	0.545	0.564	0.591	0.591	0.555
9.855	0.434	0.402	0.415	0.439	0.501	0.515	0.531	0.538	0.516
10.585	0.378	0.350	0.363	0.385	0.447	0.458	0.468	0.466	0.479
11.315	0.314	0.288	0.306	0.331	0.379	0.393	0.393	0.393	0.390
12.045	0.257	0.224	0.246	0.265	0.304	0.320	0.314	0.313	0.301
12.775	0.183	0.164	0.181	0.196	0.227	0.235	0.230	0.228	0.221
13.505	0.112	0.103	0.113	0.121	0.142	0.144	0.144	0.139	0.142
14.235	0.035	0.037	0.040	0.044	0.051	0.052	0.053	0.049	0.054

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 2.50E 07 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.486  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.470	0.470	0.470	0.470	0.469	0.467	0.466	0.465	0.465
1.095	0.467	0.466	0.467	0.469	0.467	0.457	0.452	0.454	0.474
1.825	0.493	0.477	0.463	0.462	0.454	0.452	0.439	0.437	0.415
2.555	0.478	0.473	0.460	0.456	0.455	0.439	0.430	0.428	0.409
3.285	0.441	0.450	0.447	0.452	0.458	0.430	0.427	0.419	0.423
4.015	0.419	0.421	0.440	0.459	0.460	0.428	0.438	0.427	0.427
4.745	0.395	0.419	0.433	0.450	0.443	0.428	0.415	0.424	0.406
5.475	0.364	0.419	0.424	0.429	0.433	0.418	0.398	0.397	0.380
6.205	0.390	0.393	0.409	0.413	0.422	0.400	0.386	0.380	0.387
6.935	0.387	0.378	0.384	0.381	0.397	0.391	0.375	0.371	0.388
7.665	0.352	0.353	0.356	0.354	0.371	0.369	0.361	0.353	0.368
8.395	0.304	0.339	0.337	0.334	0.350	0.345	0.343	0.332	0.326
9.125	0.310	0.301	0.311	0.302	0.319	0.315	0.319	0.312	0.274
9.855	0.301	0.262	0.285	0.272	0.286	0.286	0.292	0.284	0.244
10.585	0.259	0.231	0.247	0.244	0.248	0.254	0.257	0.251	0.217
11.315	0.216	0.202	0.205	0.209	0.206	0.216	0.218	0.213	0.184
12.045	0.169	0.164	0.163	0.166	0.166	0.176	0.175	0.172	0.154
12.775	0.123	0.120	0.118	0.124	0.123	0.133	0.133	0.123	0.119
13.505	0.081	0.072	0.073	0.077	0.076	0.084	0.083	0.074	0.079
14.235	0.027	0.026	0.026	0.029	0.026	0.030	0.029	0.027	0.025

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 4.00E 07 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.281  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.268	0.269	0.270	0.271	0.274	0.276	0.277	0.277	0.278
1.095	0.255	0.258	0.260	0.262	0.270	0.280	0.282	0.282	0.281
1.825	0.229	0.238	0.243	0.244	0.255	0.280	0.286	0.271	0.271
2.555	0.237	0.225	0.230	0.232	0.234	0.250	0.263	0.253	0.235
3.285	0.225	0.220	0.222	0.222	0.227	0.231	0.236	0.233	0.228
4.015	0.214	0.220	0.222	0.220	0.225	0.221	0.217	0.229	0.215
4.745	0.221	0.211	0.219	0.225	0.220	0.214	0.212	0.221	0.231
5.475	0.206	0.207	0.217	0.219	0.215	0.209	0.206	0.216	0.208
6.205	0.209	0.200	0.216	0.207	0.206	0.201	0.200	0.203	0.202
6.935	0.191	0.195	0.203	0.199	0.196	0.194	0.190	0.196	0.196
7.665	0.178	0.186	0.192	0.195	0.186	0.186	0.179	0.188	0.172
8.395	0.165	0.176	0.183	0.184	0.174	0.182	0.173	0.177	0.159
9.125	0.155	0.162	0.173	0.171	0.163	0.171	0.163	0.162	0.157
9.855	0.133	0.149	0.157	0.153	0.146	0.154	0.152	0.142	0.145
10.585	0.128	0.131	0.140	0.140	0.130	0.133	0.132	0.121	0.125
11.315	0.100	0.116	0.120	0.120	0.110	0.112	0.112	0.101	0.101
12.045	0.077	0.095	0.094	0.096	0.088	0.088	0.081	0.079	0.086
12.775	0.062	0.068	0.068	0.070	0.065	0.065	0.058	0.058	0.064
13.505	0.040	0.042	0.042	0.043	0.041	0.039	0.041	0.036	0.034
14.235	0.017	0.016	0.016	0.016	0.014	0.014	0.015	0.013	0.012

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 6.30E 07 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.114  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.118	0.118	0.118	0.117	0.117	0.116	0.116	0.116	0.116
1.095	0.122	0.121	0.120	0.119	0.117	0.115	0.115	0.115	0.115
1.825	0.128	0.124	0.123	0.121	0.117	0.114	0.115	0.116	0.115
2.555	0.145	0.126	0.125	0.124	0.117	0.110	0.113	0.120	0.106
3.285	0.141	0.124	0.121	0.123	0.114	0.110	0.115	0.120	0.116
4.015	0.123	0.117	0.115	0.118	0.115	0.111	0.114	0.116	0.123
4.745	0.115	0.116	0.112	0.116	0.112	0.110	0.113	0.116	0.124
5.475	0.121	0.111	0.114	0.118	0.106	0.106	0.113	0.114	0.113
6.205	0.111	0.107	0.109	0.113	0.103	0.102	0.107	0.102	0.112
6.935	0.093	0.097	0.101	0.104	0.097	0.095	0.103	0.093	0.104
7.665	0.085	0.091	0.095	0.099	0.093	0.090	0.093	0.087	0.088
8.395	0.089	0.082	0.090	0.092	0.087	0.087	0.089	0.078	0.083
9.125	0.075	0.076	0.082	0.085	0.081	0.082	0.081	0.075	0.062
9.855	0.063	0.072	0.075	0.076	0.074	0.076	0.074	0.070	0.052
10.585	0.050	0.065	0.067	0.064	0.063	0.067	0.068	0.061	0.053
11.315	0.042	0.054	0.060	0.054	0.055	0.056	0.058	0.050	0.046
12.045	0.033	0.044	0.047	0.043	0.046	0.045	0.047	0.040	0.039
12.775	0.025	0.033	0.033	0.033	0.035	0.033	0.036	0.030	0.030
13.505	0.013	0.020	0.021	0.020	0.021	0.020	0.022	0.019	0.022
14.235	0.006	0.006	0.008	0.007	0.008	0.007	0.008	0.007	0.008

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.00E 08 EV  
 BERECHNETE SCHICCKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.070  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.073	0.073	0.073	0.073	0.072	0.072	0.071	0.071	0.071
1.095	0.075	0.075	0.074	0.073	0.072	0.071	0.070	0.070	0.070
1.825	0.076	0.075	0.074	0.073	0.070	0.068	0.067	0.067	0.066
2.555	0.075	0.075	0.073	0.071	0.067	0.065	0.064	0.062	0.061
3.285	0.074	0.081	0.076	0.075	0.067	0.066	0.065	0.061	0.059
4.015	0.071	0.080	0.078	0.076	0.067	0.068	0.066	0.063	0.059
4.745	0.084	0.076	0.078	0.072	0.065	0.065	0.063	0.063	0.050
5.475	0.082	0.073	0.074	0.069	0.061	0.063	0.061	0.061	0.055
6.205	0.072	0.070	0.068	0.062	0.058	0.061	0.056	0.059	0.058
6.935	0.062	0.066	0.063	0.060	0.053	0.062	0.057	0.055	0.067
7.665	0.062	0.060	0.058	0.057	0.051	0.057	0.054	0.049	0.066
8.395	0.054	0.055	0.054	0.051	0.048	0.052	0.046	0.046	0.058
9.125	0.049	0.048	0.047	0.044	0.044	0.047	0.042	0.042	0.050
9.855	0.044	0.042	0.039	0.039	0.040	0.040	0.037	0.037	0.042
10.585	0.034	0.037	0.030	0.034	0.037	0.034	0.031	0.032	0.035
11.315	0.026	0.033	0.025	0.027	0.030	0.030	0.024	0.027	0.032
12.045	0.028	0.025	0.020	0.021	0.025	0.025	0.020	0.022	0.028
12.775	0.026	0.018	0.016	0.015	0.018	0.018	0.015	0.016	0.023
13.505	0.016	0.012	0.010	0.009	0.011	0.012	0.009	0.010	0.012
14.235	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004

KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH G.M.B.H.  
 ZENTRALABTEILUNG STRAHLENSCHUTZ  
 DIPL.-PHYS. FRITZ ROHLOFF

BERECHNUNG DER EMPFINDLICHKEIT EINES KUGELMODERATORS  
 FUER DIE NEUTRONENENERGIE 1.60E 08 EV  
 BERECHNETE SCHICKSALE: 50000  
 BERECHNET FUER KUGELRADIUS 14.60 CM  
 BERECHNETE EMPFINDLICHKEIT IM MITTELPUNKT: 0.029  
 THERMISCHE NEUTRONEN PRO EINFALLENDEN NEUTRON

RADIUS:	WINKELBEREICH:								
	-1.000	-0.866	-0.707	-0.500	0.0	0.500	0.707	0.866	1.000
0.365	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.030	0.030
1.095	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
1.325	0.032	0.032	0.032	0.032	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
2.555	0.035	0.034	0.033	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032	0.033
3.285	0.036	0.034	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032	0.032	0.033
4.015	0.038	0.034	0.033	0.032	0.033	0.031	0.031	0.031	0.033
4.745	0.043	0.033	0.032	0.030	0.033	0.030	0.029	0.030	0.035
5.475	0.044	0.034	0.030	0.027	0.032	0.029	0.030	0.030	0.034
6.205	0.047	0.036	0.031	0.026	0.029	0.028	0.034	0.031	0.039
6.935	0.047	0.038	0.030	0.026	0.029	0.028	0.033	0.031	0.036
7.665	0.031	0.038	0.029	0.026	0.026	0.028	0.030	0.033	0.032
8.395	0.027	0.033	0.027	0.024	0.025	0.029	0.028	0.034	0.028
9.125	0.013	0.032	0.025	0.023	0.023	0.024	0.023	0.034	0.020
9.855	0.015	0.026	0.022	0.021	0.023	0.021	0.021	0.029	0.016
10.585	0.021	0.020	0.019	0.019	0.022	0.018	0.019	0.023	0.020
11.315	0.020	0.016	0.018	0.017	0.019	0.014	0.016	0.019	0.016
12.045	0.013	0.012	0.017	0.014	0.015	0.011	0.013	0.015	0.017
12.775	0.010	0.009	0.013	0.011	0.011	0.008	0.009	0.012	0.011
13.505	0.007	0.006	0.008	0.007	0.007	0.005	0.006	0.007	0.008
14.235	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002

	GEWICHT IM MITTELPUNKT:	1.2745E-01	1.3035E-01	1.3265E-01	1.3445E-01	1.3565E-01	1.3645E-01	1.3685E-01				
	GEWICHT AUSSERHALB:	2.0035E-01	1.8755E-01	1.8145E-02	4.8955E-02	1.7125E-02	9.8975E-03	3.6245E-02				
	AN DER STELLE:	9.1255E-00	9.8555E-00	1.0585E-01	1.1315E-01	1.2045E-01	1.2775E-01	1.3505E-01				
	STANDARD DEVIATION:	2.6165E-00	2.6235E-00	2.6295E-00	2.6335E-00	2.6355E-00	2.6355E-00	2.6345E-00				
2.500E-02	EV	0.370	SOLL	0.457	0.448	0.433	0.413	0.383	0.339	0.269		
1.000E-00	EV	0.430	SOLL	0.718	0.703	0.681	0.648	0.602	0.534	0.438		
1.000E-01	EV	0.470	SOLL	1.189	1.162	1.122	1.066	0.990	0.897	0.803		
4.000E-01	EV	0.490	SOLL	1.373	1.339	1.291	1.225	1.142	1.048	0.964		
1.000E-02	EV	0.500	SOLL	1.486	1.446	1.392	1.321	1.234	1.141	1.054		
4.000E-02	EV	0.470	SOLL	1.646	1.600	1.538	1.459	1.369	1.280	1.212		
1.000E-03	EV	0.460	SOLL	1.741	1.691	1.625	1.543	1.453	1.367	1.304		
1.600E-03	EV	0.450	SOLL	1.793	1.740	1.672	1.589	1.499	1.414	1.354		
2.500E-03	EV	0.440	SOLL	1.835	1.779	1.708	1.624	1.534	1.452	1.394		
4.000E-03	EV	0.430	SOLL	1.908	1.848	1.774	1.688	1.598	1.517	1.462		
6.300E-03	EV	0.430	SOLL	1.939	1.878	1.802	1.715	1.625	1.545	1.492		
1.000E-04	EV	0.560	SOLL	2.005	1.942	1.865	1.777	1.687	1.610	1.559		
1.600E-04	EV	0.760	SOLL	2.077	2.012	1.933	1.844	1.756	1.680	1.631		
2.500E-04	EV	1.070	SOLL	2.188	2.118	2.034	1.944	1.855	1.781	1.733		
4.000E-04	EV	1.520	SOLL	2.366	2.290	2.201	2.107	2.017	1.944	1.898		
6.300E-04	EV	2.400	SOLL	2.580	2.499	2.407	2.311	2.222	2.150	2.107		
1.000E-05	EV	3.240	SOLL	2.937	2.848	2.751	2.652	2.563	2.493	2.452		
1.600E-05	EV	4.240	SOLL	3.421	3.320	3.215	3.112	3.022	2.954	2.915		
2.500E-05	EV	5.710	SOLL	4.159	4.054	3.948	3.848	3.763	3.701	3.667		
4.000E-05	EV	7.800	SOLL	5.796	5.691	5.589	5.498	5.422	5.369	5.340		
5.000E-05	EV	8.340	SOLL	6.826	6.742	6.656	6.577	6.513	6.467	6.443		
6.300E-05	EV	10.600	SOLL	7.077	6.970	6.871	6.786	6.719	6.675	6.653		
9.000E-05	EV	13.500	SOLL	9.813	9.729	9.657	9.597	9.554	9.527	9.516		
1.000E-06	EV	13.900	SOLL	10.500	10.435	10.380	10.334	10.301	10.281	10.273		
1.300E-06	EV	14.200	SOLL	13.082	13.046	13.022	13.005	12.997	12.994	12.996		
1.600E-06	EV	13.900	SOLL	13.669	13.650	13.637	13.631	13.631	13.635	13.640		
2.000E-06	EV	13.200	SOLL	15.816	15.824	15.857	15.882	15.906	15.926	15.940		
2.500E-06	EV	12.500	SOLL	16.456	16.500	16.543	16.584	16.620	16.648	16.666		
3.000E-06	EV	12.600	SOLL	16.195	16.238	16.283	16.326	16.365	16.396	16.415		
4.000E-06	EV	13.200	SOLL	16.356	16.422	16.487	16.548	16.601	16.640	16.664		
6.300E-06	EV	14.400	SOLL	15.528	15.601	15.673	15.739	15.796	15.839	15.864		
1.000E-07	EV	14.700	SOLL	14.268	14.359	14.444	14.519	14.582	14.627	14.653		
1.600E-07	EV	21.000	SOLL	10.786	10.863	10.934	10.996	11.047	11.084	11.105		
2.500E-07	EV	31.000	SOLL	6.307	6.352	6.393	6.429	6.459	6.480	6.492		
4.000E-07	EV	38.700	SOLL	3.640	3.671	3.698	3.721	3.740	3.753	3.760		
6.300E-07	EV	42.000	SOLL	1.510	1.519	1.528	1.536	1.542	1.547	1.550		
1.000E-08	EV	47.200	SOLL	0.926	0.933	0.939	0.945	0.949	0.952	0.954		
1.600E-08	EV	52.900	SOLL	0.388	0.389	0.390	0.392	0.393	0.394	0.395		

APPROXIMATIONS-RECHNUNG FUER P-5 WERT BIS ZUR ENERGIE 2.500E 07 EV. RADIUS= 14.60000

GEWICHT IM MITTELPUNKT: -4.994E-01 -2.559E-01 -5.15E-02 1.243E-01 2.766E-01 4.122E-01 5.419E-01

GEWICHT AUSSERHALB: 3.851E-01 3.394E-01 3.056E-01 2.860E-01 2.790E-01 2.911E-01 3.401E-01

AN DER STELLE: 9.125E 00 9.855E 00 1.058E 01 1.131E 01 1.204E 01 1.277E 01 1.350E 01

STANDARD DEVIATION: 3.268E-01 2.943E-01 2.607E-01 2.274E-01 1.974E-01 1.775E-01 1.851E-01

2.500E-02 FV	1.000	SOLL	0.222	0.252	0.293	0.351	0.428	0.584	0.872
1.000E 00 FV	1.000	SOLL	0.347	0.395	0.459	0.548	0.679	0.887	1.223
1.000E 01 EV	1.000	SOLL	0.572	0.646	0.737	0.851	0.992	1.158	1.308
4.000E 01 EV	1.000	SOLL	0.650	0.725	0.816	0.922	1.039	1.153	1.220
1.000E 02 FV	1.000	SOLL	0.696	0.770	0.854	0.947	1.044	1.127	1.157
4.000E 02 EV	1.000	SOLL	0.753	0.822	0.897	0.971	1.036	1.076	1.059
1.000E 03 FV	1.000	SOLL	0.781	0.845	0.910	0.970	1.016	1.035	1.002
1.600E 03 EV	1.000	SOLL	0.794	0.856	0.917	0.973	1.012	1.022	0.978
2.500E 03 EV	1.000	SOLL	0.808	0.865	0.919	0.965	0.995	0.997	0.949
4.000E 03 FV	1.000	SOLL	0.829	0.881	0.928	0.964	0.983	0.974	0.919
6.300E 03 FV	1.000	SOLL	0.838	0.889	0.935	0.968	0.982	0.965	0.901
1.000E 04 FV	1.000	SOLL	0.849	0.895	0.934	0.958	0.963	0.940	0.876
1.600E 04 EV	1.000	SOLL	0.860	0.902	0.935	0.953	0.952	0.924	0.856
2.500E 04 FV	1.000	SOLL	0.890	0.926	0.951	0.961	0.950	0.914	0.841
4.000E 04 EV	1.000	SOLL	0.933	0.963	0.979	0.978	0.957	0.911	0.831
6.300E 04 EV	1.000	SOLL	0.967	0.989	0.998	0.989	0.959	0.905	0.822
1.000E 05 FV	1.000	SOLL	1.025	1.038	1.033	1.010	0.969	0.910	0.826
1.600E 05 EV	1.000	SOLL	1.112	1.108	1.087	1.053	1.001	0.929	0.835
2.500E 05 EV	1.000	SOLL	1.162	1.144	1.111	1.063	1.003	0.929	0.840
4.000E 05 EV	1.000	SOLL	1.254	1.220	1.174	1.117	1.051	0.979	0.899
5.000E 05 EV	1.000	SOLL	1.225	1.205	1.169	1.120	1.063	0.998	0.926
6.300E 05 FV	1.000	SOLL	1.326	1.276	1.215	1.146	1.073	0.998	0.921
9.000E 05 FV	1.000	SOLL	1.363	1.307	1.250	1.189	1.127	1.069	1.014
1.000E 06 FV	1.000	SOLL	1.304	1.260	1.215	1.168	1.120	1.073	1.031
1.300E 06 FV	1.000	SOLL	1.300	1.259	1.224	1.193	1.163	1.137	1.115
1.600E 06 EV	1.000	SOLL	1.255	1.227	1.199	1.173	1.150	1.133	1.122
2.000E 06 FV	1.000	SOLL	1.188	1.176	1.168	1.167	1.169	1.175	1.187
2.500E 06 EV	1.000	SOLL	1.098	1.107	1.115	1.127	1.142	1.161	1.186
3.000E 06 EV	1.000	SOLL	1.062	1.064	1.071	1.080	1.094	1.114	1.142
4.000E 06 FV	1.000	SOLL	0.928	0.942	0.961	0.985	1.015	1.051	1.096
6.300E 06 EV	1.000	SOLL	0.809	0.827	0.850	0.879	0.913	0.952	1.001
1.000E 07 FV	1.000	SOLL	0.613	0.647	0.685	0.728	0.775	0.826	0.883
1.600E 07 EV	1.000	SOLL	0.417	0.450	0.485	0.522	0.561	0.603	0.651
2.500E 07 EV	1.000	SOLL	0.246	0.264	0.284	0.305	0.328	0.353	0.380
4.000E 07 FV	1.000	SOLL	0.119	0.136	0.152	0.167	0.182	0.197	0.215
6.300E 07 EV	1.000	SOLL	0.068	0.071	0.074	0.078	0.083	0.087	0.093
			0.035	0.037	0.040	0.043	0.047	0.051	0.055
								0.055	0.066

2.500E-07 EV.      RADIUS= 14.5000  
 GEWICHT IM MITTELPUNKT: 1.468E-01 1.472E-01 1.476E-01 1.479E-01 1.480E-01 1.479E-01 1.476E-01  
 GEWICHT AUSSERHALB: -3.919E-02 -5.144E-02 -6.359E-02 -7.628E-02 -9.063E-02 -1.087E-01 -1.366E-01  
 AN DER STELLE: 9.125E-00 9.855E-00 1.058E-01 1.131E-01 1.204E-01 1.277E-01 1.350E-01  
 STANDARD DEVIATION: 4.965E-00 4.964E-00 4.963E-00 4.962E-00 4.960E-00 4.959E-00 4.958E-00

2.500E-02 EV	0.370	SOLL	0.362	0.348	0.327	0.296	0.249	0.175	0.044
1.000E-00 EV	0.430	SOLL	0.569	0.547	0.515	0.467	0.395	0.287	0.128
1.000E-01 EV	0.470	SOLL	0.945	0.909	0.858	0.789	0.698	0.592	0.501
4.000E-01 EV	0.490	SOLL	1.098	1.059	1.004	0.933	0.847	0.759	0.702
1.000E-02 EV	0.500	SOLL	1.192	1.151	1.097	1.027	0.947	0.870	0.829
4.000E-02 EV	0.470	SOLL	1.333	1.291	1.236	1.170	1.099	1.039	1.019
1.000E-03 EV	0.460	SOLL	1.422	1.379	1.325	1.263	1.198	1.148	1.135
1.600E-03 EV	0.450	SOLL	1.471	1.428	1.374	1.313	1.251	1.204	1.196
2.500E-03 EV	0.440	SOLL	1.509	1.466	1.414	1.355	1.296	1.253	1.248
4.000E-03 EV	0.430	SOLL	1.576	1.533	1.482	1.425	1.371	1.333	1.331
6.300E-03 EV	0.430	SOLL	1.604	1.561	1.510	1.453	1.401	1.366	1.368
1.000E-04 EV	0.560	SOLL	1.672	1.629	1.579	1.526	1.477	1.446	1.449
1.600E-04 EV	0.760	SOLL	1.746	1.704	1.655	1.603	1.557	1.528	1.533
2.500E-04 EV	1.070	SOLL	1.849	1.807	1.759	1.709	1.666	1.641	1.649
4.000E-04 EV	1.520	SOLL	2.020	1.977	1.929	1.882	1.842	1.821	1.831
6.300E-04 EV	2.400	SOLL	2.237	2.195	2.148	2.102	2.065	2.048	2.061
1.000E-05 EV	3.240	SOLL	2.599	2.557	2.512	2.469	2.437	2.422	2.436
1.600E-05 EV	4.240	SOLL	3.084	3.042	2.999	2.958	2.929	2.920	2.938
2.500E-05 EV	5.710	SOLL	3.879	3.840	3.801	3.767	3.743	3.737	3.756
4.000E-05 EV	7.800	SOLL	5.657	5.623	5.591	5.564	5.547	5.546	5.563
5.000E-05 EV	8.340	SOLL	6.837	6.807	6.778	6.755	6.741	6.741	6.758
6.300E-05 EV	10.600	SOLL	7.049	7.019	6.993	6.974	6.964	6.968	6.987
9.000E-05 EV	13.500	SOLL	10.102	10.084	10.069	10.060	10.059	10.065	10.081
1.000E-06 EV	13.900	SOLL	10.916	10.902	10.890	10.894	10.893	10.899	10.901
1.300E-06 EV	14.200	SOLL	13.824	13.821	13.821	13.823	13.828	13.836	13.844
1.600E-06 EV	13.900	SOLL	14.514	14.515	14.518	14.523	14.531	14.538	14.544
2.000E-06 EV	13.200	SOLL	16.977	16.989	17.000	17.013	17.024	17.032	17.032
2.500E-06 EV	12.500	SOLL	17.753	17.774	17.790	17.806	17.819	17.826	17.824
3.000E-06 EV	12.600	SOLL	17.490	17.507	17.525	17.543	17.558	17.565	17.563
4.000E-06 EV	13.200	SOLL	17.763	17.786	17.810	17.831	17.848	17.855	17.847
6.300E-06 EV	14.400	SOLL	16.913	16.938	16.962	16.986	17.004	17.011	17.003
1.000E-07 EV	14.700	SOLL	15.631	15.658	15.684	15.707	15.723	15.727	15.717
1.600E-07 EV	21.000	SOLL	11.840	11.870	11.901	11.930	11.922	11.925	11.916
2.500E-07 EV	31.000	SOLL	6.927	6.949	6.952	6.963	6.970	6.972	6.967
4.000E-07 EV	38.700	SOLL	4.014	4.021	4.029	4.035	4.039	4.040	4.037
6.300E-07 EV	42.000	SOLL	1.653	1.655	1.659	1.661	1.662	1.663	1.662
1.000E-08 EV	47.200	SOLL	1.019	1.022	1.022	1.024	1.025	1.025	1.024
1.600E-08 EV	52.900	SOLL	0.420	0.421	0.422	0.422	0.423	0.423	0.423

APPROXIMATIONS-BERECHNUNG FUER P-5 WERT BIS ZUR ENERGIE 4.000E 07 EV. RADIUS= 14.60000

GEWICHT IM MITTELPUNKT: -4.569E-01-2.204E-01-2.046E-02 1.512E-01 3.007E-01 4.341E-01 5.619E-01

GEWICHT AUSSERHALB: 3.796E-01 3.352E-01 3.034E-01 2.834E-01 2.768E-01 2.892E-01 3.382E-01

AN DER STELLE: 9.125E 00 9.855E 00 1.058E 01 1.131E 01 1.204E 01 1.277E 01 1.350E 01

STANDARD DEVIATION: 3.553E-01 3.253E-01 2.949E-01 2.654E-01 2.396E-01 2.223E-01 2.265E-01

2.500E-02 EV	1.000	SOLL	0.219	0.250	0.291	0.349	0.436	0.581	0.867
1.000E 00 EV	1.000	SOLL	0.343	0.391	0.455	0.544	0.675	0.882	1.217
1.000E 01 EV	1.000	SOLL	0.566	0.640	0.731	0.846	0.986	1.152	1.302
4.000E 01 EV	1.000	SOLL	0.643	0.719	0.810	0.915	1.033	1.147	1.214
1.000E 02 EV	1.000	SOLL	0.689	0.763	0.847	0.941	1.038	1.121	1.152
4.000E 02 EV	1.000	SOLL	0.746	0.815	0.890	0.965	1.030	1.071	1.055
1.000E 03 EV	1.000	SOLL	0.773	0.838	0.904	0.964	1.011	1.031	0.998
1.600E 03 EV	1.000	SOLL	0.787	0.849	0.911	0.967	1.007	1.017	0.974
2.500E 03 EV	1.000	SOLL	0.800	0.858	0.912	0.959	0.990	0.993	0.946
4.000E 03 EV	1.000	SOLL	0.821	0.874	0.922	0.959	0.978	0.970	0.916
6.300E 03 EV	1.000	SOLL	0.830	0.882	0.928	0.963	0.977	0.961	0.899
1.000E 04 EV	1.000	SOLL	0.841	0.888	0.928	0.953	0.958	0.936	0.874
1.600E 04 EV	1.000	SOLL	0.852	0.895	0.929	0.948	0.948	0.921	0.854
2.500E 04 EV	1.000	SOLL	0.882	0.918	0.945	0.956	0.946	0.911	0.839
4.000E 04 EV	1.000	SOLL	0.925	0.956	0.973	0.973	0.953	0.908	0.830
6.300E 04 EV	1.000	SOLL	0.959	0.982	0.992	0.985	0.956	0.903	0.821
1.000E 05 EV	1.000	SOLL	1.017	1.031	1.028	1.006	0.966	0.908	0.825
1.600E 05 EV	1.000	SOLL	1.104	1.101	1.082	1.049	0.999	0.928	0.836
2.500E 05 EV	1.000	SOLL	1.155	1.139	1.107	1.061	1.002	0.930	0.842
4.000E 05 EV	1.000	SOLL	1.250	1.217	1.174	1.118	1.054	0.983	0.903
5.000E 05 EV	1.000	SOLL	1.224	1.205	1.171	1.123	1.067	1.003	0.931
6.300E 05 EV	1.000	SOLL	1.324	1.277	1.217	1.149	1.077	1.003	0.928
9.000E 05 EV	1.000	SOLL	1.368	1.314	1.258	1.198	1.137	1.079	1.024
1.000E 06 EV	1.000	SOLL	1.311	1.269	1.225	1.179	1.131	1.085	1.043
1.300E 06 EV	1.000	SOLL	1.315	1.275	1.240	1.209	1.179	1.153	1.131
1.600E 06 EV	1.000	SOLL	1.273	1.244	1.216	1.190	1.167	1.150	1.139
2.000E 06 EV	1.000	SOLL	1.212	1.199	1.191	1.189	1.190	1.196	1.207
2.500E 06 EV	1.000	SOLL	1.125	1.133	1.140	1.151	1.165	1.183	1.207
3.000E 06 EV	1.000	SOLL	1.089	1.090	1.096	1.104	1.117	1.136	1.164
4.000E 06 EV	1.000	SOLL	0.957	0.970	0.987	1.011	1.040	1.074	1.118
6.300E 06 EV	1.000	SOLL	0.838	0.854	0.876	0.904	0.936	0.974	1.022
1.000E 07 EV	1.000	SOLL	0.642	0.674	0.710	0.752	0.797	0.846	0.903
1.600E 07 EV	1.000	SOLL	0.439	0.471	0.504	0.540	0.578	0.619	0.666
2.500E 07 EV	1.000	SOLL	0.259	0.276	0.295	0.316	0.338	0.362	0.389
4.000E 07 EV	1.000	SOLL	0.127	0.144	0.159	0.173	0.188	0.203	0.220
6.300E 07 EV	1.000	SOLL	0.071	0.074	0.077	0.081	0.085	0.090	0.095
1.000E 08 EV	1.000	SOLL	0.037	0.039	0.041	0.045	0.048	0.052	0.056
1.600E 08 EV	1.000	SOLL	0.024	0.024	0.024	0.024	0.025	0.025	0.026

GEWICHT IM MITTELPUNKT: 1.635E 01 1.615E 01 1.601E 01 1.590E 01 1.582E 01 1.573E 01 1.564E 01										
GEWICHT AUSSERHALB: -2.578E-01-2.188E-01-1.960E-01-1.848E-01-1.837E-01-1.938E-01-2.230E-01										
AN DER STELLE: 9.125E 00 9.855E 00 1.058E 01 1.131E 01 1.204E 01 1.277E 01 1.350E 01										
STANDARD DEVIATION: 7.680E 00 7.681E 00 7.680E 00 7.680E 00 7.679E 00 7.678E 00 7.679E 00										
2.500E-02 EV	0.370	SOLL	0.273	0.258	0.233	0.194	0.132	0.232	-0.151	
1.000E 00 EV	0.430	SOLL	0.430	0.406	0.367	0.307	0.214	0.372	-0.140	
1.000E 01 EV	0.470	SOLL	0.715	0.680	0.624	0.546	0.444	0.327	0.239	
4.000E 01 EV	0.490	SOLL	0.839	0.804	0.750	0.677	0.589	0.507	0.474	
1.000E 02 EV	0.500	SOLL	0.917	0.884	0.834	0.768	0.695	0.632	0.623	
4.000E 02 EV	0.470	SOLL	1.039	1.011	0.967	0.914	0.861	0.827	0.848	
1.000E 03 EV	0.460	SOLL	1.121	1.096	1.058	1.014	0.973	0.954	0.986	
1.600E 03 EV	0.450	SOLL	1.167	1.144	1.108	1.067	1.031	1.018	1.056	
2.500E 03 EV	0.440	SOLL	1.201	1.181	1.151	1.115	1.085	1.077	1.118	
4.000E 03 EV	0.430	SOLL	1.263	1.246	1.220	1.191	1.169	1.169	1.213	
6.300E 03 EV	0.430	SOLL	1.289	1.273	1.248	1.221	1.202	1.207	1.257	
1.000E 04 EV	0.560	SOLL	1.357	1.344	1.324	1.302	1.290	1.299	1.349	
1.600E 04 EV	0.760	SOLL	1.431	1.422	1.405	1.388	1.379	1.391	1.444	
2.500E 04 EV	1.070	SOLL	1.528	1.523	1.512	1.500	1.497	1.515	1.571	
4.000E 04 EV	1.520	SOLL	1.690	1.690	1.684	1.679	1.684	1.709	1.768	
6.300E 04 EV	2.400	SOLL	1.909	1.914	1.913	1.913	1.923	1.954	2.015	
1.000E 05 EV	3.240	SOLL	2.273	2.285	2.293	2.302	2.319	2.353	2.415	
1.600E 05 EV	4.240	SOLL	2.755	2.780	2.797	2.814	2.838	2.881	2.949	
2.500E 05 EV	5.710	SOLL	3.598	3.631	3.657	3.682	3.713	3.757	3.822	
4.000E 05 EV	7.800	SOLL	5.494	5.536	5.570	5.601	5.637	5.681	5.739	
5.000E 05 EV	8.340	SOLL	6.802	6.832	6.859	6.886	6.917	6.956	7.008	
6.300E 05 EV	10.600	SOLL	6.978	7.029	7.072	7.112	7.154	7.200	7.254	
9.000E 05 EV	13.500	SOLL	10.301	10.350	10.390	10.426	10.462	10.499	10.538	
1.000E 06 EV	13.900	SOLL	11.224	11.263	11.294	11.322	11.351	11.380	11.410	
1.300E 06 EV	14.200	SOLL	14.410	14.441	14.464	14.484	14.503	14.520	14.535	
1.600E 06 EV	13.900	SOLL	15.191	15.211	15.230	15.247	15.262	15.274	15.281	
2.000E 06 EV	13.200	SOLL	17.924	17.928	17.932	17.935	17.936	17.934	17.924	
2.500E 06 EV	12.500	SOLL	18.830	18.817	18.810	18.805	18.799	18.789	18.770	
3.000E 06 EV	12.600	SOLL	18.556	18.547	18.541	18.538	18.533	18.522	18.500	
4.000E 06 EV	13.200	SOLL	18.931	18.909	18.895	18.882	18.868	18.848	18.815	
6.300E 06 EV	14.400	SOLL	18.066	18.041	18.024	18.009	17.993	17.971	17.934	
1.000E 07 EV	14.700	SOLL	16.772	16.734	16.707	16.683	16.659	16.629	16.587	
1.600E 07 EV	21.000	SOLL	12.740	12.706	12.681	12.660	12.640	12.615	12.580	
2.500E 07 EV	31.000	SOLL	7.447	7.428	7.413	7.401	7.389	7.375	7.355	
4.000E 07 EV	38.700	SOLL	4.328	4.312	4.301	4.293	4.285	4.276	4.263	
6.300E 07 EV	42.000	SOLL	1.772	1.768	1.766	1.763	1.761	1.758	1.754	
1.000E 08 EV	47.200	SOLL	1.095	1.093	1.091	1.089	1.087	1.085	1.082	
1.600E 08 EV	52.900	SOLL	0.447	0.447	0.447	0.447	0.447	0.446	0.446	

APPROXIMATIONS-RECHNUNG FÜR DEN WERT BIS ZUR ENERGIE 6,300E 07 EV. RADIUS= 14,60000

GEWICHT IM MITTELPUNKT: -4,489E-01 -2,062E-01 -7,714E-03 1,628E-01 3,114E-01 4,440E-01 5,712E-01

GEWICHT AUSSEHPUNKT: 3,777E-01 3,337E-01 3,321E-01 2,824E-01 2,759E-01 2,884E-01 3,373E-01

AN DER STELLE: 2,125E 00 2,855E 00 1,058E 01 1,131E 01 1,204E 01 1,277E 01 1,350E 01

STANDARD DEVIATION: 3,838E-01 3,569E-01 3,228E-01 3,242E-01 2,822E-01 2,677E-01 2,766E-01

2,500E-02 EV	1,000	SOLL	0,219	0,249	0,290	0,348	0,435	0,580	0,865
1,000E 00 EV	1,000	SOLL	0,342	0,390	0,454	0,542	0,673	0,880	1,214
1,000E 01 EV	1,000	SOLL	0,564	0,638	0,729	0,843	0,984	1,149	1,300
4,000E 01 EV	1,000	SOLL	0,641	0,717	0,807	0,913	1,030	1,145	1,212
1,000E 02 EV	1,000	SOLL	0,687	0,761	0,845	0,939	1,035	1,119	1,150
4,000E 02 EV	1,000	SOLL	0,744	0,813	0,888	0,963	1,028	1,069	1,053
1,000E 03 EV	1,000	SOLL	0,771	0,836	0,901	0,962	1,009	1,029	0,997
1,600E 03 EV	1,000	SOLL	0,784	0,846	0,909	0,964	1,005	1,016	0,973
2,500E 03 EV	1,000	SOLL	0,798	0,855	0,910	0,957	0,988	0,992	0,945
4,000E 03 EV	1,000	SOLL	0,818	0,872	0,920	0,957	0,976	0,969	0,915
6,300E 03 EV	1,000	SOLL	0,828	0,880	0,926	0,961	0,976	0,960	0,898
1,000E 04 EV	1,000	SOLL	0,838	0,886	0,925	0,951	0,957	0,935	0,873
1,600E 04 EV	1,000	SOLL	0,849	0,893	0,927	0,946	0,946	0,920	0,853
2,500E 04 EV	1,000	SOLL	0,879	0,916	0,943	0,954	0,944	0,910	0,838
4,000E 04 EV	1,000	SOLL	0,922	0,953	0,971	0,971	0,952	0,907	0,830
6,300E 04 EV	1,000	SOLL	0,956	0,980	0,990	0,983	0,955	0,903	0,821
1,000E 05 EV	1,000	SOLL	1,015	1,029	1,026	1,005	0,965	0,907	0,825
1,600E 05 EV	1,000	SOLL	1,101	1,099	1,081	1,048	0,998	0,928	0,836
2,500E 05 EV	1,000	SOLL	1,153	1,137	1,106	1,061	1,002	0,930	0,842
4,000E 05 EV	1,000	SOLL	1,249	1,217	1,174	1,119	1,055	0,984	0,905
5,000E 05 EV	1,000	SOLL	1,225	1,206	1,172	1,125	1,069	1,006	0,934
6,300E 05 EV	1,000	SOLL	1,325	1,277	1,218	1,151	1,079	1,006	0,931
9,000E 05 EV	1,000	SOLL	1,371	1,317	1,262	1,202	1,141	1,084	1,029
1,000E 06 EV	1,000	SOLL	1,315	1,274	1,230	1,183	1,136	1,090	1,048
1,300E 06 EV	1,000	SOLL	1,322	1,282	1,247	1,216	1,187	1,160	1,138
1,600E 06 EV	1,000	SOLL	1,280	1,252	1,224	1,198	1,175	1,158	1,147
2,000E 06 EV	1,000	SOLL	1,222	1,209	1,201	1,199	1,200	1,205	1,217
2,500E 06 EV	1,000	SOLL	1,137	1,144	1,151	1,162	1,176	1,193	1,217
3,000E 06 EV	1,000	SOLL	1,100	1,101	1,107	1,114	1,127	1,146	1,174
4,000E 06 EV	1,000	SOLL	0,970	0,982	0,999	1,022	1,050	1,085	1,128
6,300E 06 EV	1,000	SOLL	0,850	0,866	0,887	0,915	0,947	0,984	1,032
1,000E 07 EV	1,000	SOLL	0,654	0,685	0,721	0,762	0,807	0,856	0,912
1,600E 07 EV	1,000	SOLL	0,449	0,479	0,512	0,548	0,585	0,626	0,673
2,500E 07 EV	1,000	SOLL	0,265	0,281	0,300	0,321	0,343	0,366	0,393
4,000E 07 EV	1,000	SOLL	0,130	0,147	0,161	0,176	0,190	0,205	0,222
6,300E 07 EV	1,000	SOLL	0,072	0,075	0,078	0,082	0,086	0,091	0,096
1,000E 08 EV	1,000	SOLL	0,038	0,039	0,042	0,045	0,049	0,053	0,057
1,600E 08 EV	1,000	SOLL	0,025	0,024	0,024	0,024	0,025	0,026	0,027

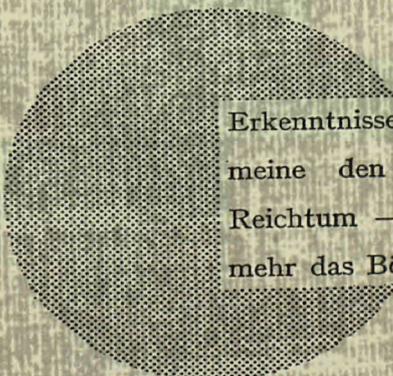
**AN UNSERE LESER**

Alle Euratom-Berichte werden nach Erscheinen in der von der Zentralstelle für Information und Dokumentation (CID) herausgegebenen Monatszeitschrift „euro abstracts“ angezeigt. Abonnements (1 Jahr : DM 60) und Probehefte sind erhältlich bei :

**Handelsblatt GmbH  
„euro abstracts“  
Postfach 1102  
D-4 Düsseldorf 1 (Deutschland)**

oder

**Office de vente des publications officielles  
des Communautés européennes  
37, rue Glesener  
Luxembourg**



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

## VERTRIEBSSTELLEN

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Berichte sind bei folgenden Stellen zu den auf der ersten Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich. Bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf der ersten Umschlagseite jedes Berichts stehen, deutlich angeben.

### VERTRIEBSSTELLE DER AMTLICHEN VERÖFFENTLICHUNGEN DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

37, rue Glesener, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

#### BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE  
40-42, rue de Louvain - 1000 Bruxelles  
BELGISCH STAATSBLAD  
Leuvenseweg 40-42 - 1000 Brussel

#### LUXEMBOURG

OFFICE DE VENTE DES  
PUBLICATIONS OFFICIELLES DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
37, rue Glesener - Luxembourg

#### DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER  
Postfach - 5000 Köln 1

#### NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ  
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

#### FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
26, rue Desaix - 75 Paris 15<sup>e</sup>

#### ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO  
Piazza G. Verdi, 10 - 00198 Roma

#### UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 569 - London S.E.1

Kommission der  
Europäischen Gemeinschaften  
G.D. XIII - C.I.D.  
29, rue Aldringer  
Luxembourg

CDNA04540DEC