

Bibliothek

DEUTSCHES ELEKTRONEN - SYNCHROTRON

DESY

DESY-Bibliothek

17. MAI 1967

2. Ex.

DESY 67/12
April 1967

Strahlprofilmessung mit Silberphosphatgläsern

von

V. Eckardt

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Hamburg

2 HAMBURG 52 · NOTKESTIEG 1

Strahlprofilmessung mit Silberphosphatgläsern

von

V. Eckardt

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
Hamburg

Zusammenfassung

Nach der Bestrahlung mit X-, γ - oder Teilchenstrahlen zeigen Silberphosphatgläser bei der Einstrahlung von UV-Licht Photolumineszenz. Die Intensität des emittierten, roten Lichtes ist über mehrere Dekaden linear zur Bestrahlungsintensität. Zur Messung von Strahlprofilen benutzen wir 8 x 3 cm große Platten mit einer Dicke von 0,2 cm. In zukünftigen Messungen sollen größere Platten verwendet werden. Eine halbautomatische Apparatur zur Auswertung der Intensitätsverteilung wird beschrieben. Über einen Bereich von 4 Dekaden können Strahlprofile auf einige Prozent genau gemessen werden. Beispiele von Profilen und Kurven gleicher Intensität werden angegeben. Die gleiche Methode wird zur Messung von Schauerentwicklungen in Blei bei 2,84 GeV angewendet. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit der theoretischen Vorhersage.

Abstract

After irradiation with X-ray, γ -ray or particle beams silver phosphate glasses show photoluminescence when subsequently exposed to ultraviolet light. The intensity of the emitted red light is linearly proportional to the beam intensity over several decades. For measuring beam profiles we used 8 x 3 cm plates of 0.2 cm thickness. Larger plates will be used in future measurements. A semi-automatic apparatus for evaluating the intensity distribution in the glass plates is described. Beam profiles were measured over 4 decades of intensity with only a few percent of error. Examples of profiles and iso-intensity curves are presented. The same method has been applied to the determination of shower development in lead at 2.84 GeV. The data show good agreement with theoretical predictions.

1. Wirkungsweise

In den letzten Jahren haben sich Metaphosphatgläser zur Personen- und Ortsdosimetrie wegen ihres großen Meßbereichs (Abb.1) immer mehr durchgesetzt^{1,2)}. Diese Gläser zeigen nach Bestrahlung mit Gamma- oder Teilchenstrahlen unter dem Einfluß von UV-Licht Radiophotolumineszenz. In Metaphosphatgläser werden Silberionen als Fehlstellen eingebaut. Bei Strahlungsabsorption gelangen Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband. Von dort können sie entweder direkt zu den Fehlstellen, wobei sie die Silberionen zu atomarem Silber reduzieren, oder über Haftstellen zu einem späteren Zeitpunkt verzögert zu den Fehlstellen wandern. Die Verzögerung äußert sich in der Änderung der Lumineszenzintensität nach Beendigung der Strahlungsabsorption (Abb.2). Dieser Prozeß kann durch kurzzeitiges Erwärmen, maximal 1 Stunde bei 100°C, beschleunigt werden.

Die Anzahl der gebildeten Silberatome ist direkt proportional der absorbierten Strahlungsdosis. Die Silberatome sind metastabil und bilden die Fluoreszenzzentren, die sich mit UV-Licht (364 nm-Linie des Hg-Spektrums) anregen lassen. Die Wellenlänge der Fluoreszenzstrahlung beträgt 620±20 nm. Mit einem Photomultiplier wird deren Intensität gemessen. Somit ist der SEV-Strom direkt proportional der absorbierten Strahlungsdosis.

Gegenüber anderen Dosimetern, wie z.B. chemischen Dosimetern, haben Metaphosphatgläser die folgenden Vorteile:

1. Bei der Auswertung der Gläser tritt keine Löschung der Fluoreszenzzentren auf, so daß die Messung beliebig oft wiederholt werden kann. Nach zehnmaliger Bestrahlung mit UV-Licht ist ein Fading noch nicht feststellbar.
2. Durch Verwendung von genügend großen Glasplatten kann die Intensitätsverteilung über den Strahlquerschnitt kontinuierlich gemessen werden. Für die ersten Messungen wurden Platten der Größe 80x30x2 mm benutzt.
3. Durch Wärmebehandlung bei 400°C und 1-2 Stunden Dauer können die Fluoreszenzzentren wieder gelöscht werden, ohne die Vordosis wesentlich zu erhöhen, wobei die geringe Eigenfluoreszenz als Vordosis bezeichnet wird.

Eine Energieabhängigkeit im GeV-Bereich ist nicht zu erwarten. Messungen bei diesen Energien liegen bisher leider nicht vor. Die Energieunabhän-

gigkeit soll bei Gelegenheit kurz überprüft werden.

Die hier verwandten Glasplatten wurden von der Firma Schott hergestellt und sind vom Typ II. Die Zusammensetzung wird vom Hersteller wie folgt angegeben:

Li	3,47	B	0,87	Al	4,75
P	32,86	O	53,50	Ag	4,40

Alle Angaben sind Gewichtsanteile in %.

Eine Eichung für die Messung von Absolutwerten der Dosis wurde bisher nicht durchgeführt, da dies für Strahlprofilmessungen nur von sekundärer Bedeutung ist.

2. Messmethode

Die Dicke der Glasplatten beträgt 2 mm, entsprechend etwa 0,06 Strahlungslängen. Die Verschmierung des Strahlprofils durch Schauerbildung ist somit vernachlässigbar. Zur Ausschaltung anderer störender Effekte werden die Gläser mit möglichst wenig Materie in der Umgebung der Strahlung ausgesetzt.

Um den Meßbereich von 4 Dekaden ganz ausnutzen zu können, muß die Bestrahlungszeit richtig gewählt werden. Einerseits wird bei zu großer Strahlungsabsorption kolloidales Silber ausgeschieden, welches zu einer Bräunung der Gläser führt und eine Absorption des Fluoreszenzlichtes bewirkt, andererseits sollte die absorbierte Dosis nicht zu klein sein, damit sich das Profil genügend weit aus dem Untergrund heraushebt. Als vorläufige Anhaltspunkte gelten die folgenden Werte:

1. Elektronen- bzw. Positronenstrahl
 $5 \cdot 10^9$ Teilchen pro 1 mm^2 im Strahlkern
2. Gammastrahl
 $3 \cdot 10^{11}$ eff. Quanten pro 1 mm^2 im Strahlkern

Nach der Bestrahlung werden die Gläser gut gesäubert und können sofort ausgewertet werden. Dabei wird der erwähnte Verzögerungseffekt nicht berücksichtigt, da er bei einer Relativmessung keinen großen Fehler verursacht, solange die Meßdauer kurz genug ist.

Abb. 3 zeigt eine schematische Darstellung der Meßapparatur. Eine spannungsstabilisierte Quecksilber-Höchstdrucklampe liefert das zur Anregung

der Fluoreszenz nötige UV-Licht. Das Lampengehäuse ist weitgehend lichtdicht, um das Austreten von UV-Licht und die Beimischung von Tages- oder Kunstlicht in den Strahlengang zu verhindern.

Das optische System besteht aus drei Quarzlinen und zwei Filtern vor dem SEV. Das Linsensystem erzeugt am Probenort einen Brennpunkt von weniger als 1 mm Durchmesser. Dieser wird noch durch eine Blende mit 1/2 mm Durchmesser begrenzt. Das ist wegen der kleinen Elektronenstrahl-Halbwertsbreiten notwendig, die von der Größe 1-3 mm sind.

Die Filterung des UV-Strahls muß aus zwei Gründen besonders exakt durchgeführt werden:

1. Kurzwelliges UV bewirkt eine teilweise Löschung der Fluoreszenzzentren.
2. Die Wellenlänge der Farbtemperatur der Lampenelektroden liegt im Bereich der zu messenden Fluoreszenzstrahlung, wodurch das Signal-Rausch-Verhältnis wesentlich verkleinert wird.

Durch Verwendung einer Kombination eines Interferenzfilters mit einer maximalen Transmission von 37 % und einer Halbwertsbreite von 7 nm mit einem Kantenfilter kann die 364nm-Linie des Hg-Spektrums genügend sauber gefiltert werden. Da eine absolute Unterdrückung des Rotlichtes der Elektroden nicht möglich ist, wird die Fluoreszenzintensität senkrecht zur optischen Achse gemessen. Die beiden Filter vor dem SEV begrenzen den Durchlaßbereich für die zu messende Fluoreszenzstrahlung.

Die Glasplatte befindet sich in einem Rahmen, der in zwei Koordinatenrichtungen verschiebbar ist. Der erfaßte Bereich ist 27x65 mm.

Abb.4 zeigt ein Blockschaltbild der gesamten Apparatur. Der SEV ist vom Typ Valvo XP 1002, der eine relativ große Rotempfindlichkeit (ca. 50 % bei 600 nm) und bei 900 Volt Betriebsspannung einen Dunkelstrom $\leq 10^{-11}$ A hat. Die Strommessung erfolgt über einen logarithmischen Gleichstromverstärker⁺. Der Meßbereich beträgt 7 Dekaden; 10^{-12} - 10^{-5} A. Abweichungen vom logarithmischen Verlauf treten erst unterhalb von $5 \cdot 10^{-11}$ A auf. Am Ausgang des logarithmischen Verstärkers steht eine positive Spannung zwischen 0 und 10 V zur Verfügung, die zum Ablesen auf ein Digitalvoltmeter gegeben bzw. von einem Drucker ausgeschrieben wird. An einem Parallelausgang kann ein Schreiber angeschlossen werden, der zur schnellen Information das Strahlprofil direkt aufzeichnet. Wird eine größere Genauigkeit an der unteren Meßgrenze gefordert, so kann die Vordosis des unbestrahlten Glases bei der Auswertung subtrahiert werden.

⁺AEG, Typ HR 20

3. Messungen

Es wurden bisher etwa 50 Aufnahmen von Strahlprofilen gemacht. Die Abbildungen 5-8 zeigen davon eine Auswahl. Die Bestrahlungen am Strahl 20 wurden mit 2,2 GeV-Elektronen (Abb.5a,b und 6b) bzw. mit 6,0 GeV-Positronen (Abb.7) durchgeführt. Für den Strahl 20 ergeben sich daraus die folgenden Werte für die Strahlabmessungen, wobei das Maximum auf 1 normiert wird:

relative Intensität	horizontale Breite (mm)	vertikale Breite (mm)
1	0	0
$5 \cdot 10^{-1}$	12,0	2,5
10^{-1}	14,6	4,8
10^{-2}	17,8	8,9
10^{-3}	23,1	20,0

Die Genauigkeit dieser Werte beträgt etwa 1-2 % bis zur 10^{-2} -Wertbreite. Im 10^{-3} -Bereich wird die Genauigkeit geringer, da bei der Subtraktion der Vordosis die Differenz klein wird.

Der Bestrahlungsort lag sowohl bei Strahl 8 wie auch bei Strahl 20 in unmittelbarer Nähe des Targets. Das Gammastrahlprofil von Strahl 24 (Abb.8) wurde dagegen hinter dem zweiten Kollimator in der Halle aufgenommen.

In manchen Fällen ist es wichtig, in kürzester Zeit eine Information über die Intensitätsverteilung zu erhalten. Für diesen Fall steht ein Schreiber zur Verfügung, der das Strahlprofil aufzeichnet. Die zu erreichende Genauigkeit beträgt dabei ca. 5 %. Mit Hilfe einer Schablone können die Breiten als Funktion der Intensität sofort abgelesen werden.

Zur weiteren Anwendung der beschriebenen Meßtechnik wurde eine Messung eines durch Elektronen erzeugten Schauers in Blei durchgeführt. Dazu wurden die Glasplatten in der Mitte eines Bleiklotzes mit 20 cm Kantenlänge so untergebracht, daß sie von allen Seiten mit Blei umgeben werden. Der Abstand in Strahlrichtung zwischen den Platten betrug jeweils 5,5 Strahlungslängen. Der Bleiklotz wurde dann mit etwa $5 \cdot 10^8$ Elektronen mit der Energie von 2,84 GeV bestrahlt. Die gemessenen radialen Verteilungen in verschiedenen Tiefen und das Profil des einfallenden Elektronenstrahls mit 1,4 mm Halbwertsbreite zeigt die Abb. 9.

Zur Bildung eines Fluoreszenzzentrum ist ein bestimmter Energiebetrag nötig. Somit kann die Messung mit den theoretischen Ergebnissen der Energiedeposition in einer Kaskade verglichen werden. Die Abb. 10 zeigt diesen

Vergleich für die radiale Verteilung. Die Treppenkurven wurden von Burfeindt³⁾ für 3 GeV mit dem Programm von Völkel⁴⁾ berechnet. Die eingezeichneten Punkte sind die Ergebnisse dieser Messung. Die Messung stimmt mit der theoretischen Vorhersage außerhalb des Zentrums gut überein (s.a. Nelson et al.⁵⁾). Die Abweichungen im Maximum werden durch die endliche Strahlausdehnung und Überstrahlung der Glasplatten verursacht. Deshalb wird die Normierung im radialen Abstand von $1,5 x_0$ ($x_0 = 5,15$ mm) durchgeführt.

Schlußbemerkung

Bis jetzt müssen die notierten bzw. ausgedruckten Werte des Digitalvoltmeters in Lochkarten gestanzt werden. Ein Rechenprogramm führt die Interpolation in der Eichkurve des logarithmischen Verstärkers aus. Deshalb ist mit der zur Zeit vorhandenen Anordnung eine punktweise Auswertung der Glasplatten noch zeitraubend. Aus diesem Grund ist eine weitere Automatisierung in Vorbereitung. Wie in Abb.4 angedeutet ist, wird die x-y-Verschiebung der in Zukunft größeren Platten (100x100x2 mm) mit Hilfe einer automatischen Steuerung durchgeführt. Dabei werden neben dem Meßwert des DVM's jeweils die zu dem Meßpunkt gehörenden Koordinaten in einen Lochstreifen gestanzt, von welchem sie sich leicht in Lochkarten übertragen lassen. Die genaue Analyse der Daten, wie z.B. das Aufsuchen der Strahlabmessungen bei bestimmten Intensitäten und Kurven gleicher Intensität, kann dann mit dem Digitalrechner durchgeführt werden.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Gebauer, allen anderen Mitarbeitern der Gruppe A2 und Frau U. Völkel für Diskussionen bei der Auswertung der Schaueremessung. Ebenso sei den Mitarbeitern der Gruppe S1 für die Hilfe bei den Bestrahlungen gedankt.

Literaturverzeichnis

- 1) H. Kiefer, R. Maushart und E. Piesch, Atompraxis 11 (1965)
- 2) R. Maushart und E. Piesch, Atompraxis 12 (1966) 568
- 3) Burfeindt, private Mitteilung, DESY-Bericht in Vorbereitung
- 4) U. Völkel, DESY 65/6 (1965)
- 5) W.R. Nelson, T.M. Jenkins, R.C. McCall und J.K. Cobb
SLAC-PUB 163 (1966)

- Abb. 1 Meßbereich des Dosimeterglases
- Abb. 2 Zeitliches Verhalten der Fluoreszenzintensität nach der Strahlungsabsorption nach¹⁾
- Abb. 3 Schnitt durch den optischen Teil der Meßanordnung
- Abb. 4 Blockschaltbild der Meßanordnung
- Abb. 5 Horizontales und vertikales Profil des externen Elektronenstrahls, Strahl 20 bei 2,2 GeV
- Abb. 6 Kurven gleicher Intensität der externen Elektronenstrahlen 8 und 20 am Target.
- Abb. 7 Positronenstrahl, Horizontalschnitt durch das Maximum und zum Vergleich eine Polaroidaufnahme
- Abb. 8 Horizontalschnitt und Kurven gleicher Intensität eines γ -Strahls, Strahl 24, nicht justiert.
- Abb. 9 Radialer Verlauf eines durch Elektronen erzeugten Schauers bei verschiedenen Tiefen in Blei
- Abb. 10 Vergleich der gemessenen Energiedepositionen als Funktion des Radius mit Monte-Carlo-Rechnungen.

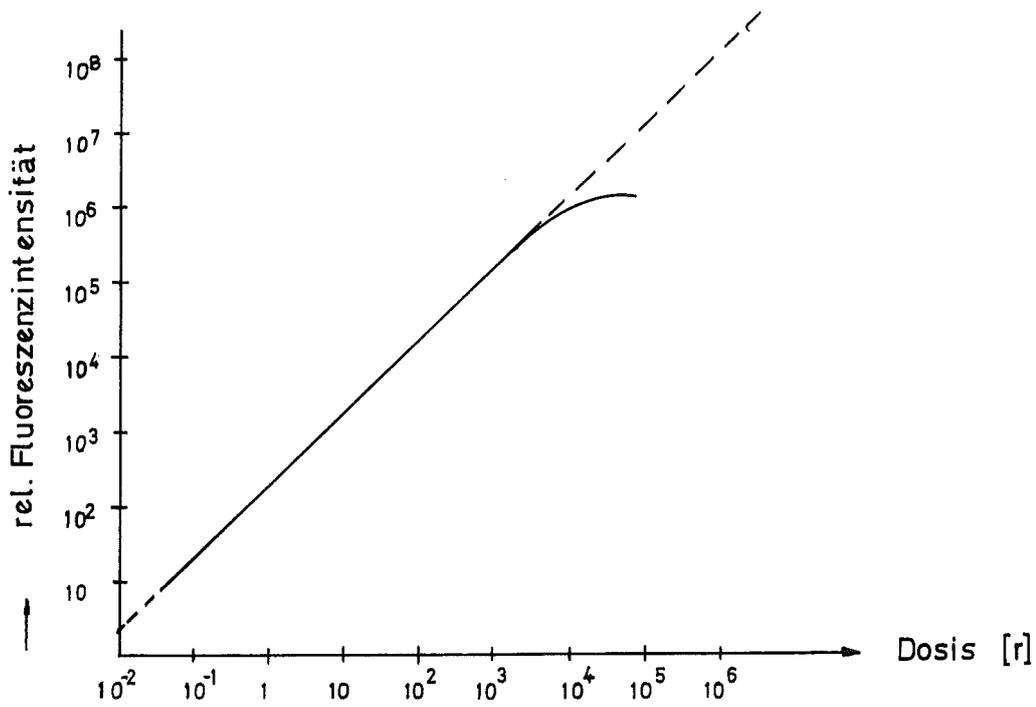


Abb.1 Meßbereich des Dosimeterglases nach 1,2)

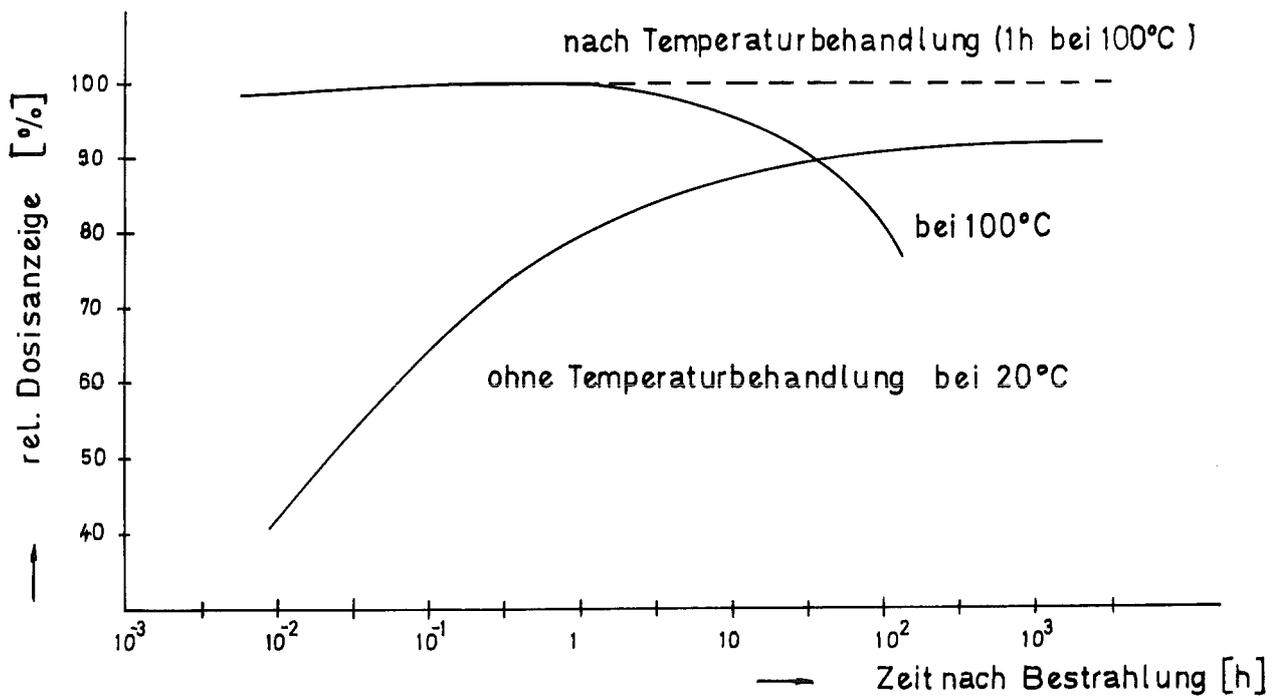


Abb.2 Zeitliches Verhalten der Fluoreszenzintensität nach der Strahlungsabsorption¹⁾

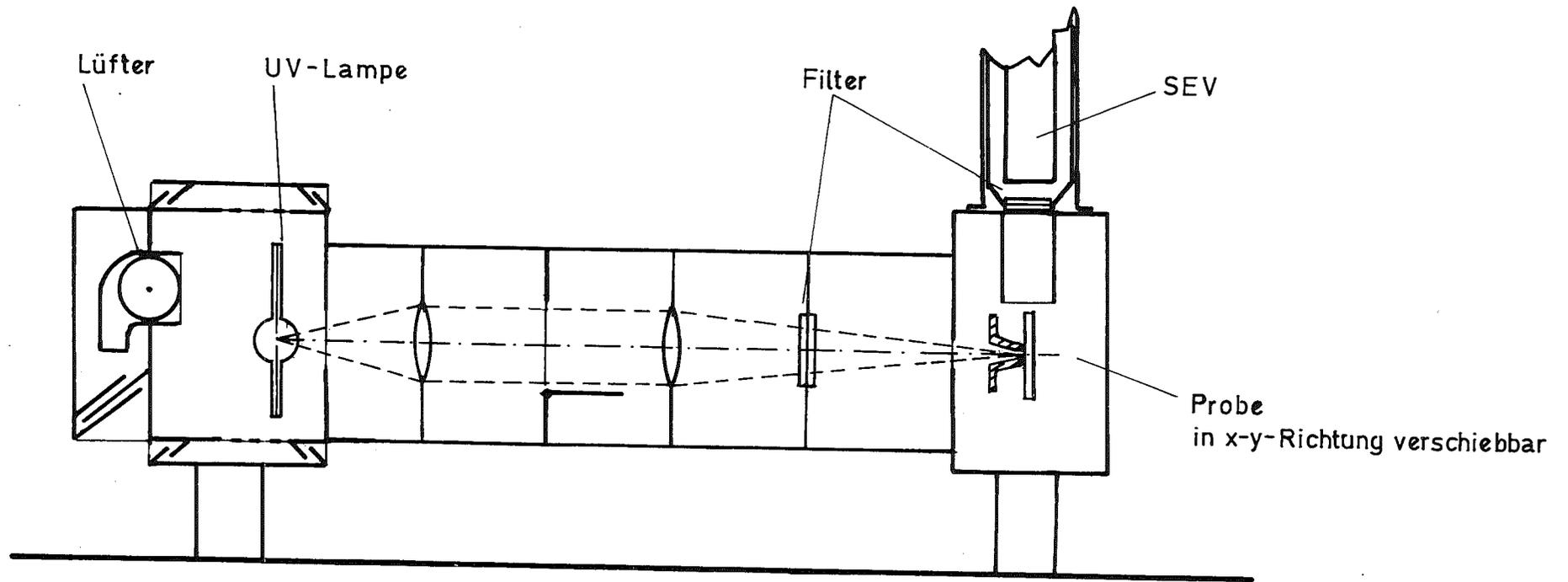


Abb. 3 Optischer Teil der Meßanordnung (schematisch)

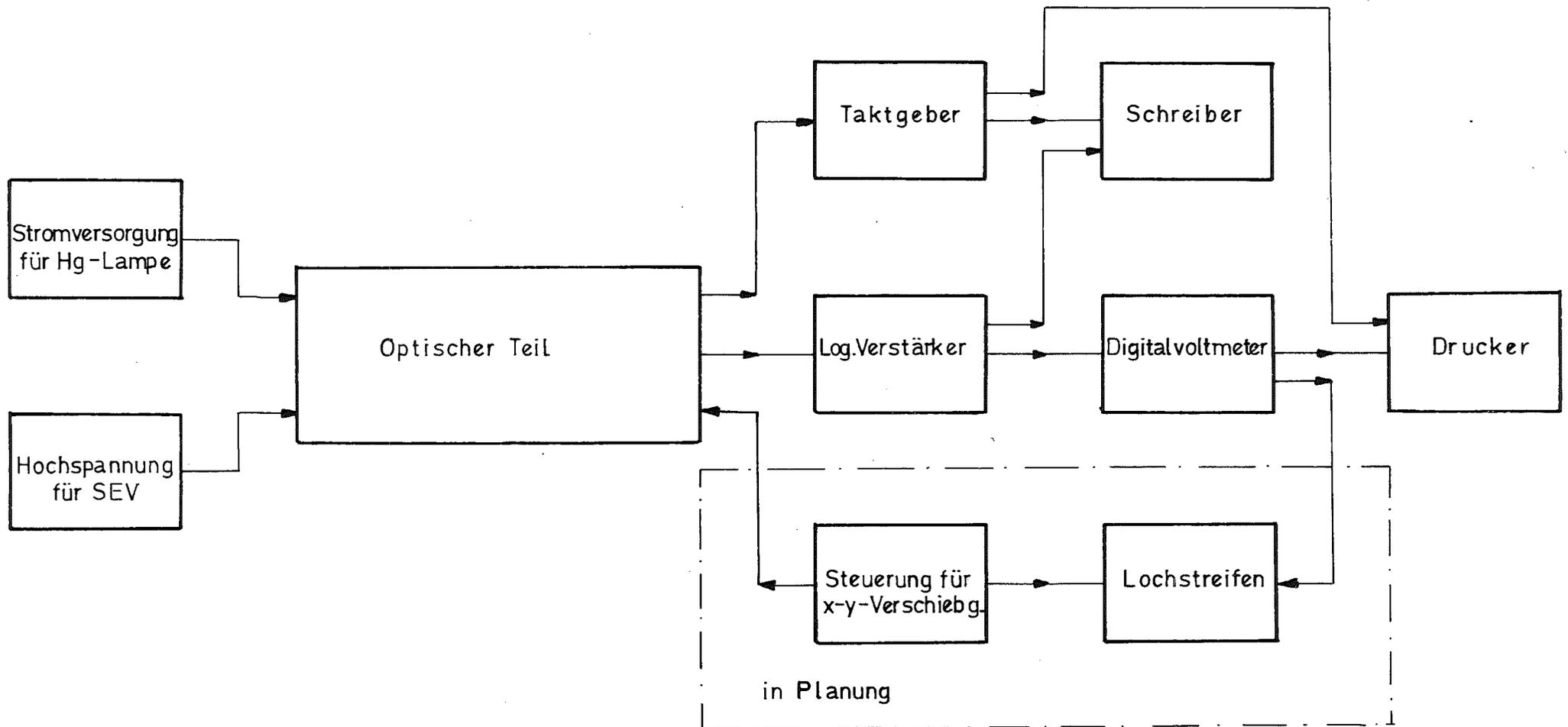


Abb. 4 Blockschaltbild der Meßanordnung

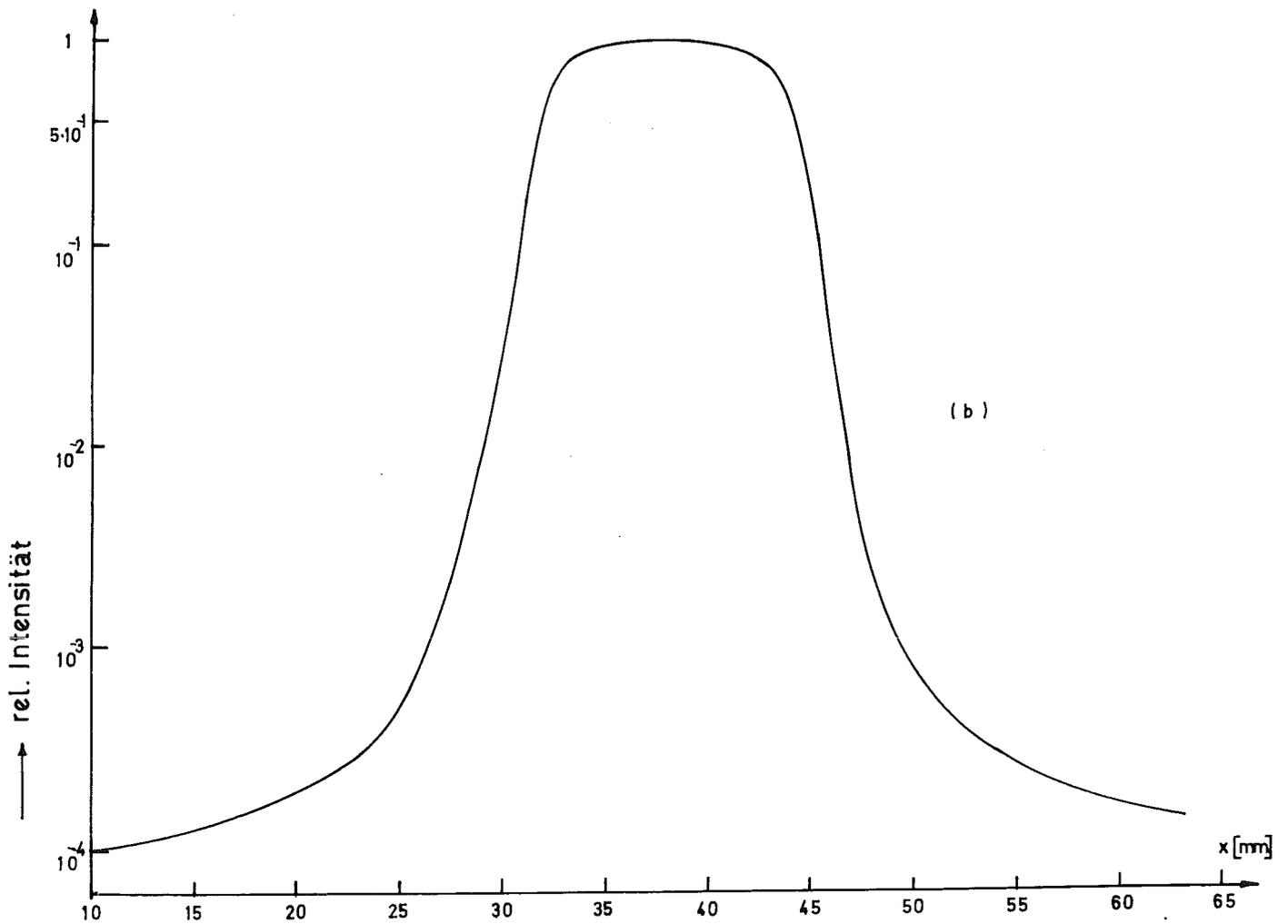
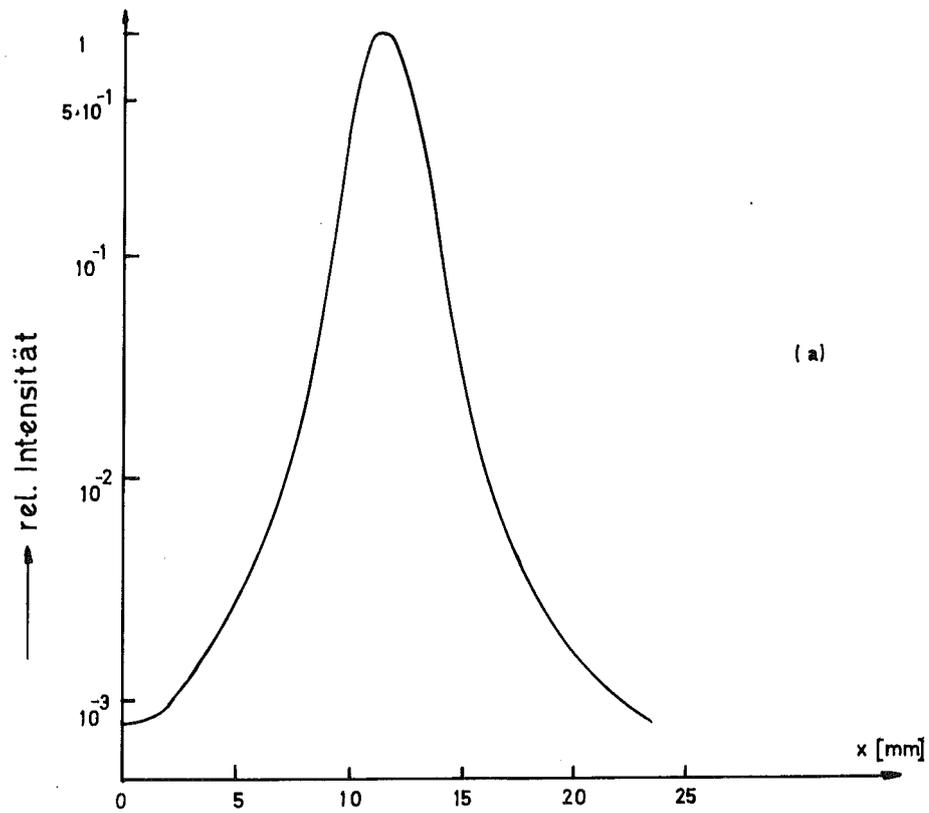


Abb. 5 Profil des externen Elektronenstrahls 20
 (a) vertikaler und (b) horizontaler Schnitt durch das Maximum

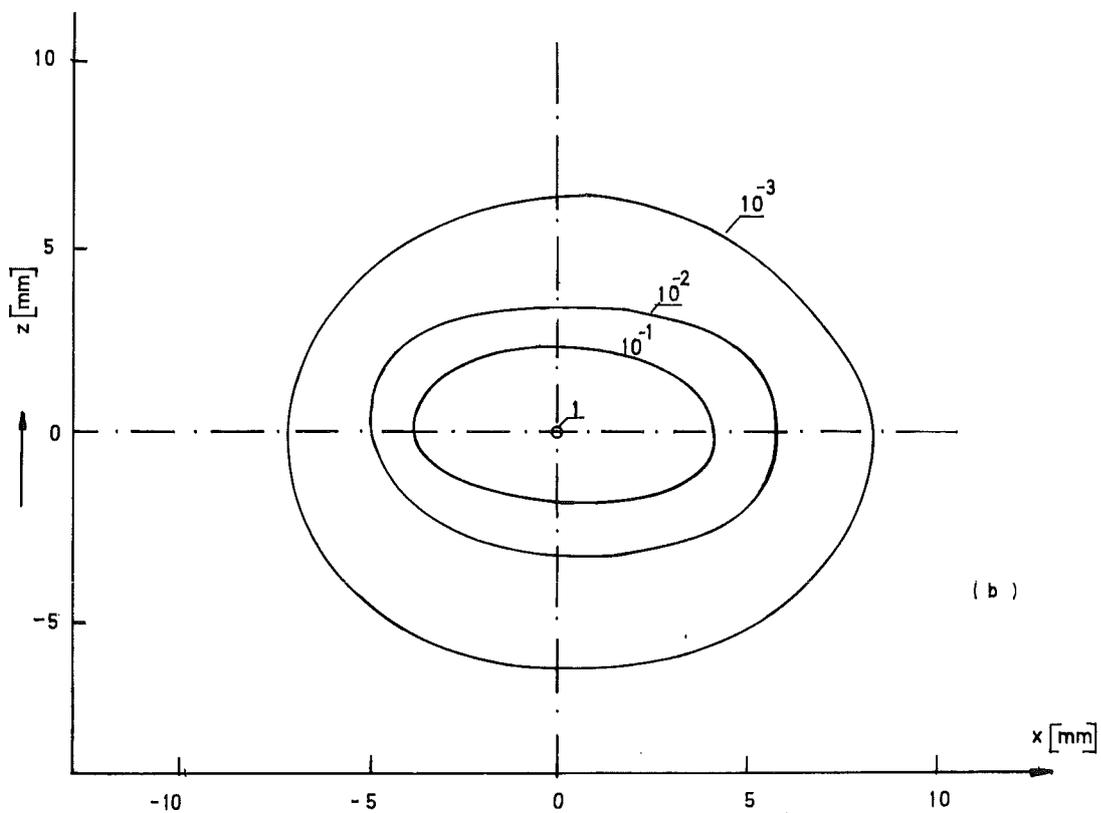
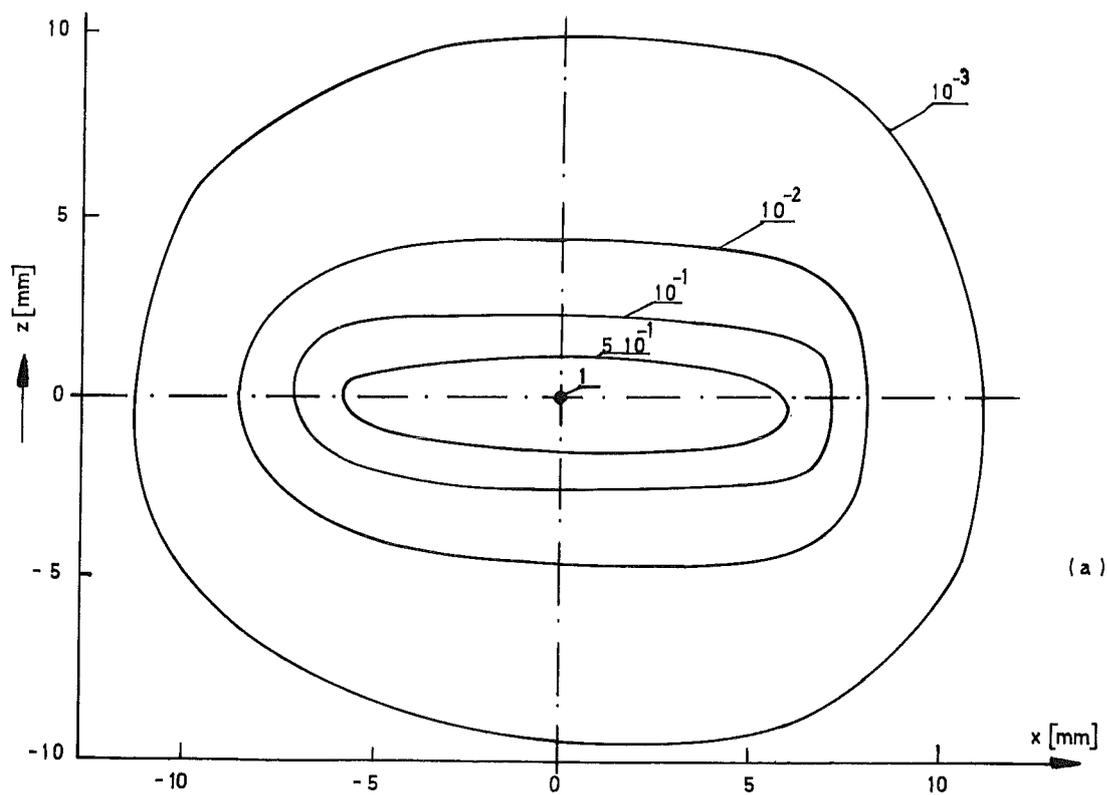
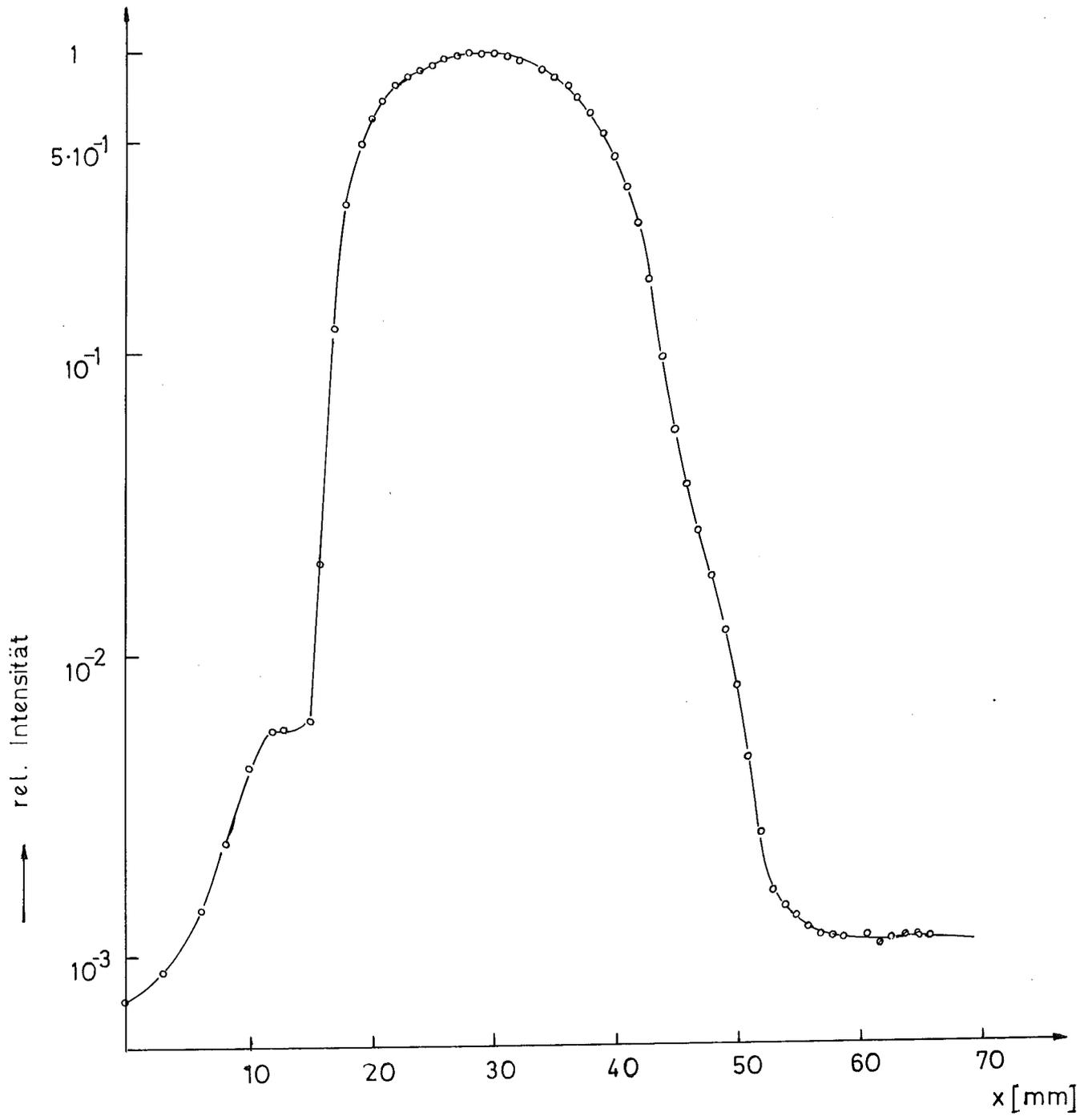
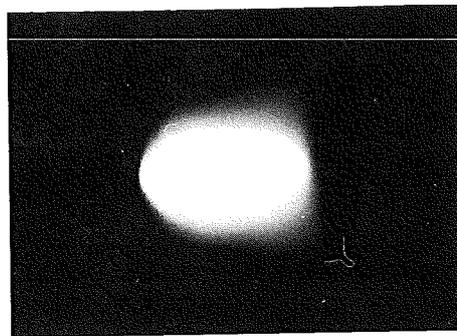


Abb. 6 Kurven gleicher Intensität
 (a) externer Elektronenstrahl 20 am Target
 (b) externer Elektronenstrahl 8 am Target



(a)



(b)

Abb. 7 Positronenstrahl
(a) Horizontalschnitt, (b) Polaroidaufnahme

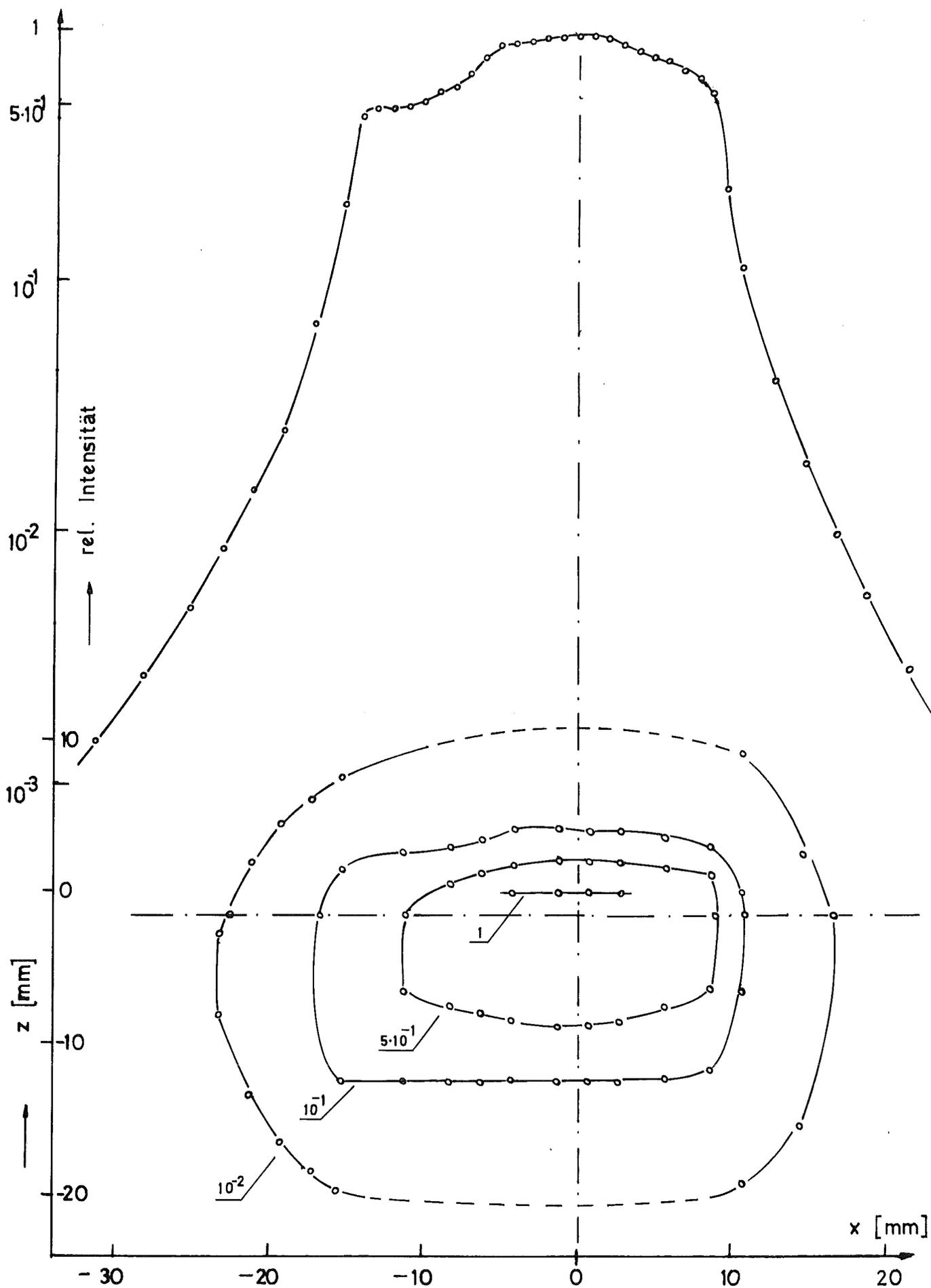


Abb. 8 γ -Strahl
 Horizontalschnitt und Kurven gleicher Intensität

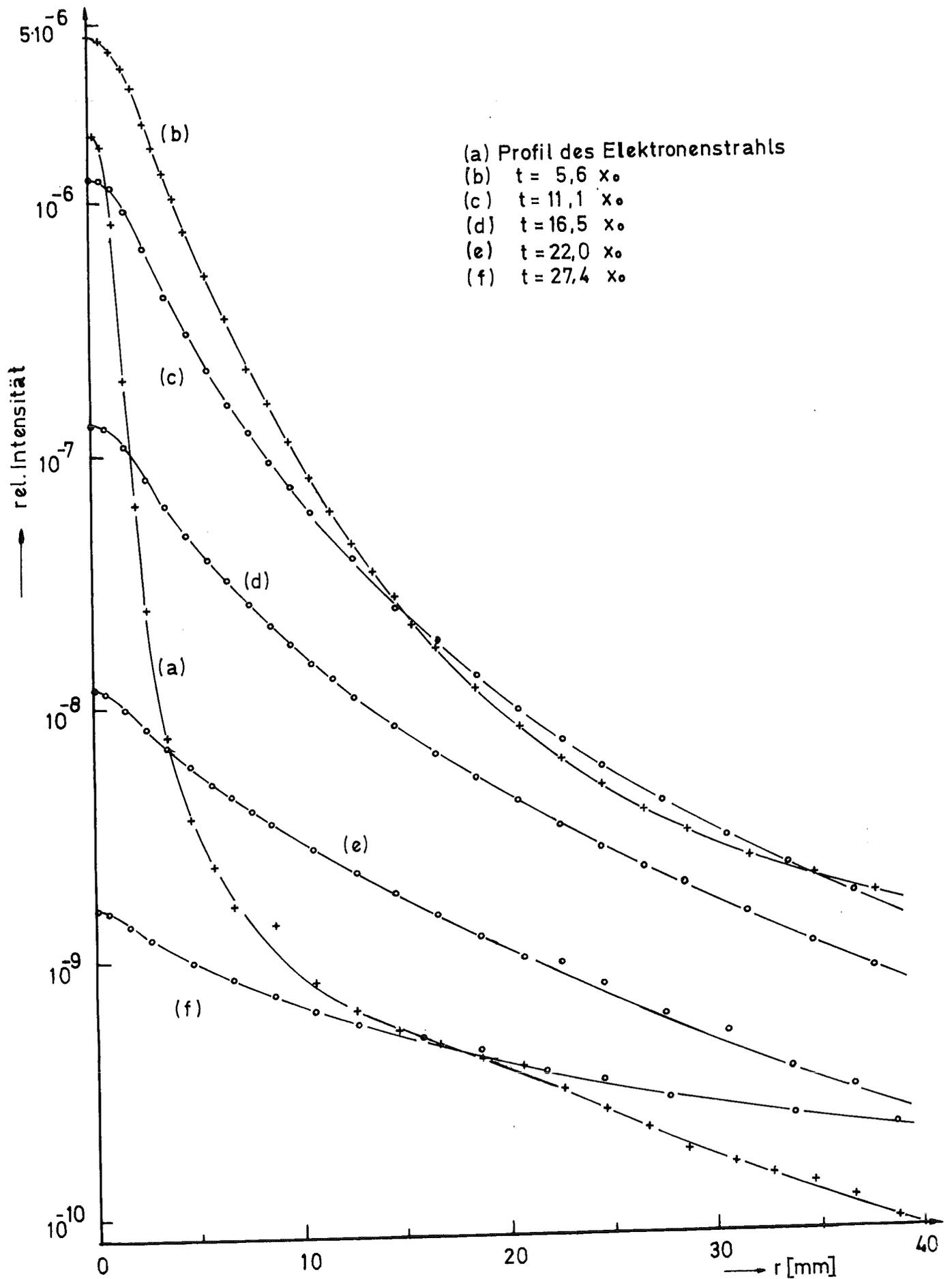


Abb. 9 Radialer Verlauf eines durch Elektronen erzeugten Schauers bei verschiedenen Tiefen in Blei

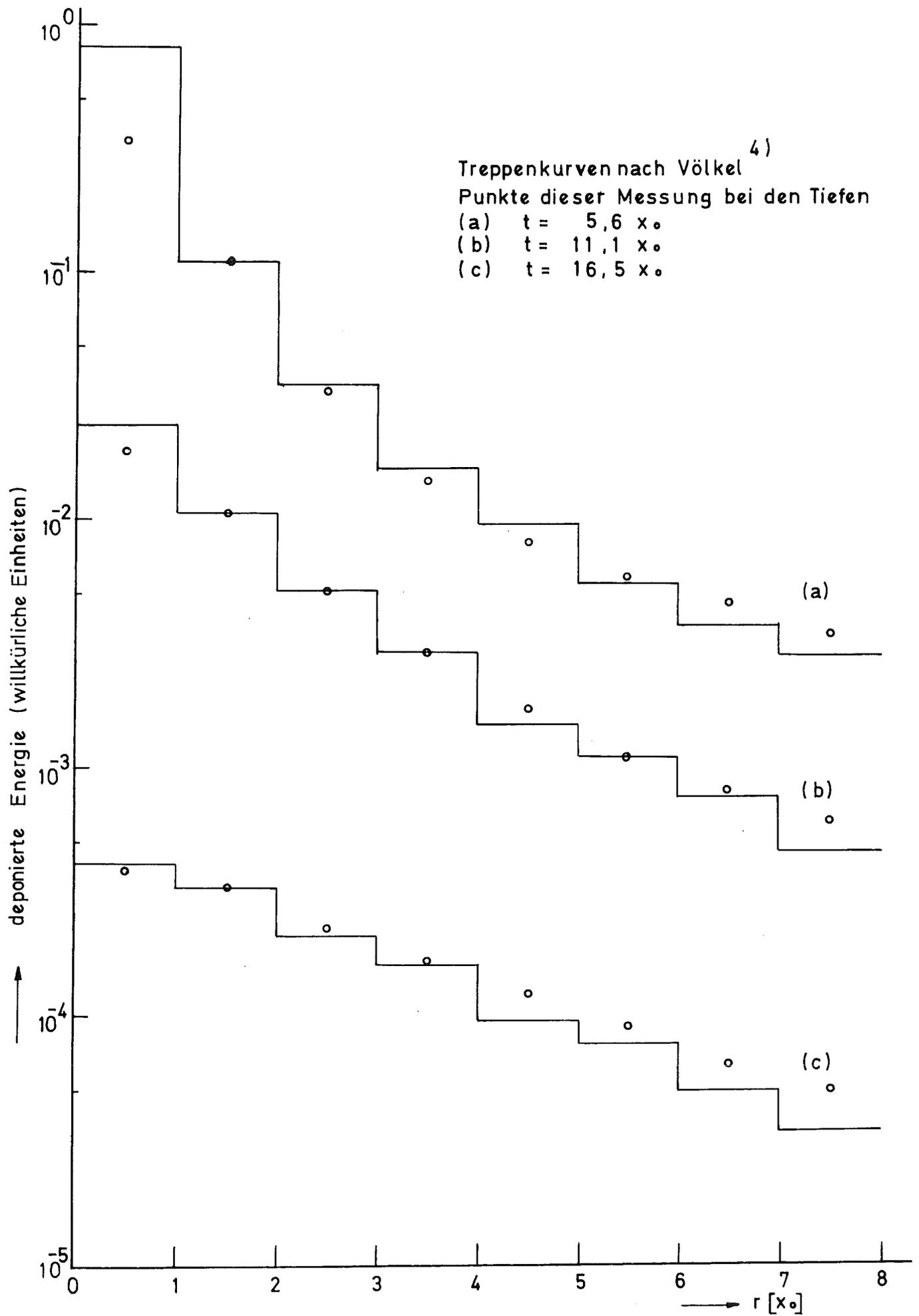


Abb. 10 Radiale Energiedeposition in Blei

