

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

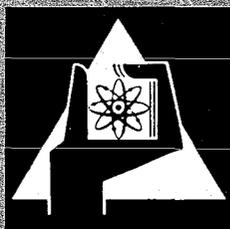
September 1971

KFK 1484

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Energieabhängigkeit einiger gebräuchlicher Dosisleistungs-  
und Dosismesser für den Strahlenschutz**

B. Burgkhardt, E. Piesch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

**Als Manuskript vervielfältigt**

**Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor**

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe

September 1971

KFK 1484

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Energieabhängigkeit einiger gebräuchlicher  
Dosisleistungs- und Dosismesser für den  
Strahlenschutz

B. Burgkhardt und E. Piesch

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe



## Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird die Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige von 60 gebräuchlichen Dosisleistungs- und Dosismessern wiedergegeben, die in den letzten Jahren im Kernforschungszentrum Karlsruhe geprüft wurden. Die Ermittlung der Energieabhängigkeit erfolgte im Quantenenergiebereich 10 - 300 keV mit hart gefilterter Röntgenbremsstrahlung sowie mit  $\gamma$ -Strahlung der Radionuklide  $^{137}\text{Cs}$  (660 keV) und  $^{60}\text{Co}$  (1,2 MeV). Durch vergleichende Dosismessungen mit geeigneten Detektoren, die vorher bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, entsprechend geeicht wurden, konnte die rel. Anzeige der zu prüfenden Meßgeräte auf die Gleichgewicht-Ionendosis bezogen werden. Die Meßergebnisse werden in graphischen Darstellungen wiedergegeben und die zugrundegelegten Kalibrierbedingungen, u.a. die Vergleichsdetektoren, die Homogenität der benutzten Röntgenbremsstrahlung und die Durchführung der Vergleichsmessungen eingehend beschrieben.

## Abstract

The photon energy response of 60 common dose rate meters and dosimeters are presented, which were tested in the last years at the Karlsruhe Nuclear Research Center. The calibration were performed with heavily filtered x-ray Bremsstrahlung in the range 10 - 300 keV and with the nuclides  $^{137}\text{Cs}$  (660 keV) and  $^{60}\text{Co}$  (1,2 MeV). To determine the energy response, the detector reading was referred to the exposure by means of a standard detector, the reading of which was calibrated by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig. Besides the photon energy response curves a description will be given of the calibration conditions of the standard detector, of the homogeneity of the filtered x-rays and of the comparison measurement used here.

## 1. Einleitung

Der Benutzer von Strahlenschutzmeßgeräten muß des öfteren aus der Vielzahl kommerziell angebotener Gerätetypen das für die jeweilige Meßaufgabe geeignete Gerät auswählen. Ein wichtiges Auswahlkriterium ist die Energieabhängigkeit des Gerätes. Darunter versteht man die Änderung des Sondenfaktors (Verhältnis von Meßwertanzeige zu Meßwertgröße) für verschiedene Quantenenergien der zu messenden Strahlung. Die bisher von Geräteherstellern und von verschiedenen Autoren gemachten Angaben über die Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige von Strahlenschutzmeßgeräten sind für einen Vergleich verschiedener Gerätetypen nur bedingt verwendbar, da diese Kalibrierungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt wurden. Insbesondere ist die zum Teil recht unterschiedliche Homogenität der hierzu verwendeten Röntgenbremsstrahlung dafür verantwortlich, daß die gemachten Angaben über die Energieabhängigkeit des Sondenfaktors vieldeutig sein können.

Im folgenden wird die Energieabhängigkeit der Dosimeteranzeige von 60 Strahlenschutzmeßgeräten wiedergegeben, die in den letzten Jahren im Kernforschungszentrum Karlsruhe geprüft wurden. Diese Zusammenstellung soll allen Interessenten eine kritische Beurteilung des Meßgerätebestandes ermöglichen, einen zweckmäßigen Einsatz der vorhandenen Geräte gewährleisten und die Auswahl von guten Strahlenschutzmeßgeräten bei einer Neuanschaffung erleichtern.

## 2. Gesichtspunkte für eine Energiekalibrierung

Zur Ermittlung der Energieabhängigkeit von Dosimetern ist ein direkter Vergleich der Geräteanzeige mit der Anzeige eines Primärstandards nicht erforderlich. Anstelle einer Absolutkalibrierung kann eine Vergleichsmessung mit einem geeigneten Sekundärstandard mit relativ geringem meßtechnischem Aufwand einfach, schnell und ausreichend reproduzierbar durchgeführt werden. Bei einer derartigen Vergleichsmessung müssen jedoch möglichst alle Fehlerinflüsse berücksichtigt werden, welche sich aus den Eigenschaften des Sekundärstandards, des zu prüfenden Gerätes und den zugrundegelegten Kalibrierbedingungen ergeben.

Dabei sind besonders hervorzuheben:

- a) die Auswahl geeigneter Zusatzfilterung und Röhrenspannung bei der Erzeugung von Röntgenbremsstrahlung einheitlicher Homogenität
- b) die Nutz- und Streustrahlungsverhältnisse und das Sekundärelektronen-Gleichgewicht am Kalibrierort
- c) die Nichtlinearität zwischen Geräteanzeige und Meßwertgröße
- d) die bauartbedingte Abhängigkeit der Geräteanzeige von der Strahleneinfallrichtung

Zu a: Da für die Energiekalibrierung mit monoenergetischer Quantenstrahlung über einen weiten Energiebereich in der Praxis nur wenige geeignete  $\gamma$ -Strahler zur Verfügung stehen, benutzt man zur experimentellen Bestimmung der Energieabhängigkeit gefilterte Röntgenbremsstrahlung. Abb. 1 zeigt am Beispiel einer Hochdruck-Ionisationskammer, in welchem Maße die Energieabhängigkeit der Dosisanzeige allein durch die Wahl der Röhrenzusatzfilterung unterschiedlich bestimmt wird.

Aus der Abbildung geht deutlich hervor, daß möglichst hartgefilterte und homogene Röntgenbremsstrahlung verwendet werden sollte, um auch eine evtl. auf einen kleinen Energiebereich begrenzte größere Energieabhängigkeit eines Strahlenschutzgerätes nachzuweisen. Diese Bereiche extremer Energieabhängigkeit können, wenn sie unbemerkt bleiben, bei der Benutzung eines solchen Gerätes in Mischstrahlenfeldern unbekannter Energieverteilung zu großen Meßfehlern führen.

Zu b: Die durch Zusatzfilterung aufgehärtete Röntgenbremsstrahlung hat eine relativ geringe Dosisleistung, so daß die Nutzstrahlung am Kalibrierort durch Streustrahlungsanteile des Kollimators, der Filterung und des Röhrengehäuses überlagert sein kann. Die Röntgenanlage für Kalibrierzwecke sollte daher ausreichend und streustrahlungsarm und besonders in der Nähe des den Nutzstrahl begrenzenden Kollimators sorgfältig abgeschirmt sein.

Bei genügend großem Abstand des zu prüfenden Gerätes vom Zusatzfilter und der Abschirmung ist deren Streustrahlungseinfluß vernachlässigbar klein und das Strahlungsfeld im Bereich des strahlungsempfindlichen Detektorvolumens annähernd homogen. Außerdem ist bei ausgeblendetem Nutzstrahlenkegel und bei energiereicher Quantenstrahlung dafür Sorge zu tragen, daß am Meßort Sekundärelektronengleichgewicht vorhanden ist.

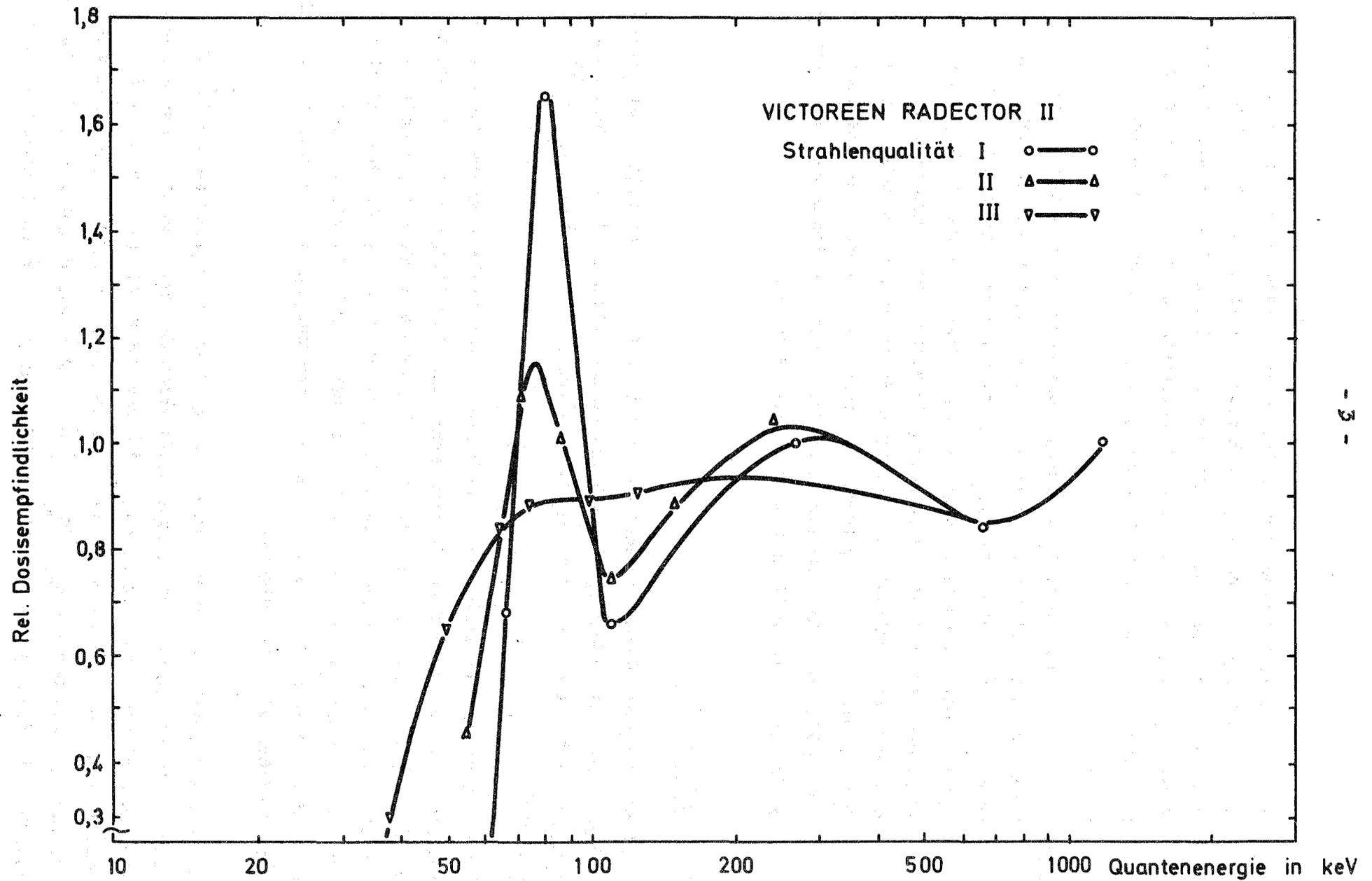


Abb. 1: Energieabhängigkeit eines Dosisleistungsmessers, ermittelt mit Röntgenstrahlung unterschiedlicher Homogenität (Strahlenqualität III entspricht Normalstrahlung)

Zu c: Der nichtlineare Zusammenhang zwischen Geräteanzeige und Meßwertgröße vor allem bei Benutzung mehrerer Meßbereiche kann Fehlanzeigen hervorrufen. Zur Vermeidung solcher Anzeigefehler soll die Dosisleistung am Meßort bei allen verwendeten Strahlungsenergien so variabel sein, daß jeweils derselbe Skalenausschlag im gleichen Meßbereich erzielt wird.

Zu d: Wegen einer bauartbedingten Abhängigkeit der Geräteanzeige von der Strahleneinfallrichtung sollte die Energieabhängigkeit der Geräteanzeige für eine Strahleneinfallrichtung mit maximaler Anzeige sowie für eine mit minimaler Anzeige bestimmt werden. In vielen Fällen begnügt man sich mit der Kalibrierung in einer Vorzugsrichtung, die sich aus dem speziellen oft zweckgebundenen Aufbau des Detektors bzw. Gerätes ergibt. Unter Umständen interessiert eine mittlere Energieabhängigkeit, die für eine aus einer Ebene oder aus dem Gesamtraum gleichmäßig einfallenden Strahlung ermittelt werden kann.

### 3. Strahlenqualität

Die Ermittlung der Energieabhängigkeit der Geräteanzeige erfolgt im allgemeinen im Energiebereich 10 keV bis 300 keV mit Röntgenbremsstrahlung ausreichender Homogenität sowie mit  $\gamma$ -Strahlung der Radionuklide  $^{137}\text{Cs}$  (660 keV) und  $^{60}\text{Co}$  (1,2 MeV).

Für die hier durchgeführten Kalibrierungen von Dosisleistungsmeßgeräten wurde möglichst extrem hartgefilterte Bremsstrahlung (Strahlungsqualität I) benutzt. Nur zur Kalibrierung von unempfindlichen Dosimetern wurde aus Intensitätsgründen eine weniger hartgefilterte Röntgenbremsstrahlung (Strahlenqualität II) verwendet. In den ersten drei Spalten der Tab. 1 sind für beide Strahlenqualitäten jeweils die erforderlichen Röhrensparnungen und Zusatzfilter für die verschiedenen Energien aufgeführt.

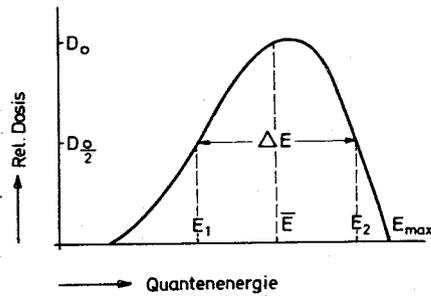
Aus der spektralen Dosisverteilung einer gefilterten Bremsstrahlung lassen sich zur Beschreibung ihrer charakteristischen Merkmale geeignete Kenngrößen, wie die maximale Quantenenergie  $E_{\text{max}}$  der Energieverteilung, die mittlere Energie  $\bar{E}$  und die Linienbreite  $\Delta E$ , ableiten (siehe Abb. 2) und aus dem Verhältnis der max. Energie  $E_{\text{max}}$  ( $E_{\text{max}}$  [keV] dem Betrag nach gleich der Röhrensparnung  $U_0$  [kV]) und der mittleren Quantenenergie  $\bar{E}$  ein Homogenitätsgrad

Tab. 1: Verwendete Strahlenqualitäten

Filterkombination I					
$U_0$ kV	Zusatzfilter mm	$E_{eff}$ keV	p %	$\bar{E}$ keV	Nr. +)
300	2 Al + 5 Cu + 10,5 Pb	270			
200	2 Al + 5 Cu + 4 Sn + 2 Pb	185	92	175	2
130	2 Al + 7,5 Cu + 2 Sn	108	83	109	3
100	2 Al + 2 Cu + 1,5 Pb	80	80	89	4
78	2 Al + 3,5 Cu	65	83	65	5
56	2 Al + 1,2 Cu	50	89	43	6
45	2 Al + 1,35 Cu	40	89	35	7
35	2 Al + 0,5 Cu	30	86	26	8
25	2 Al + 0,15 Cu	20	80	17,5	9
15	0,2 Al + 0,1 Cu	10			

Filterkombination II					
$U_0$ kV	Zusatzfilter mm	$E_{eff}$ keV	p %	$\bar{E}$ keV	Nr. +)
300	2 Al + 5 Cu + 3,5 Pb	240	80	239	1
250	2 Al + 5 Cu + 2 Pb	200			
220	2 Al + 5 Cu + 1,2 Pb	170	77	174	2
200	2 Al + 5 Cu + 0,9 Pb	150			
180	2 Al + 11 Cu	135	75	135	3
150	2 Al + 7 Cu	110	73	110	4
120	2 Al + 3,5 Cu	87	73	87	5
100	2 Al + 2 Cu	71	71	71	6
80	2 Al + 0,7 Cu	55			
70	2 Al + 0,4 Cu	46	66	45	7
60	2 Al + 0,2 Cu	38	63	38	8
35	2 Al + 0,2 Cu	30			
25	2 Al	18	69	16	9
15	0,2 Al	10			

+) Kennzahlen der Spektren in Abb. 6 und 7



$\bar{E}$  = mittlere Quantenenergie =  $\frac{E_2 - E_1}{2}$   
 $E_{max}$  = Maximale Energie der Energieverteilung  
 $\Delta E$  = Linienbreite  
 $E_2, E_1$  = Quantenenergie bei  $\frac{D_0}{2}$   
 $p$  = „prozentuale Homogenität“ =  $\frac{\bar{E}}{E_{max}} \cdot 100$  [%]

Spektrale Dosisverteilung einer Röntgenstrahlung

Abb. 2: Die Kennzeichnung der Strahlenqualität einer Röntgenstrahlung durch die Dosisverteilung und die Definition einer "prozentualen Homogenität".

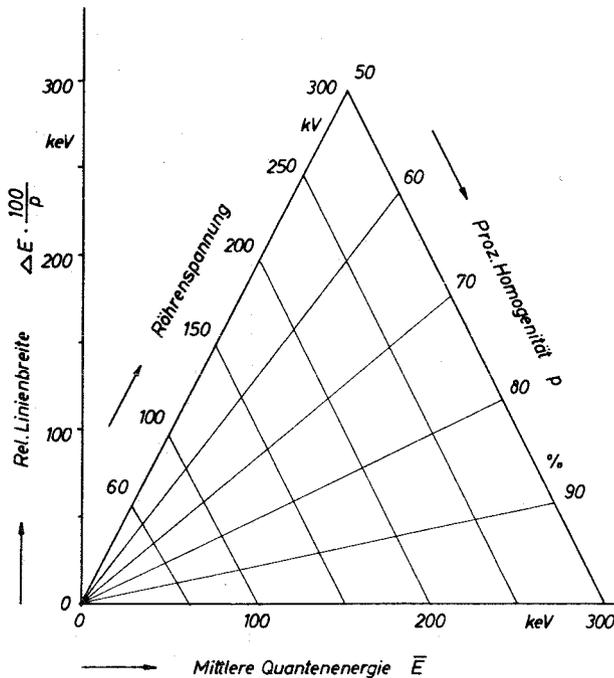


Abb. 3: Der Zusammenhang zwischen der relativen Linienbreite  $\Delta E$ , der mittleren Energie  $\bar{E}$ , der maximalen Energie ( $\hat{=}$  Röhrenspannung  $U_0$ ) und der prozentualen Homogenität  $p$  ( $p > 50$  %) des Spektrums der Dosisverteilung einer Röntgenstrahlung.

BREMSSTRAHLUNGSSPEKTREN  
Filterkombination I

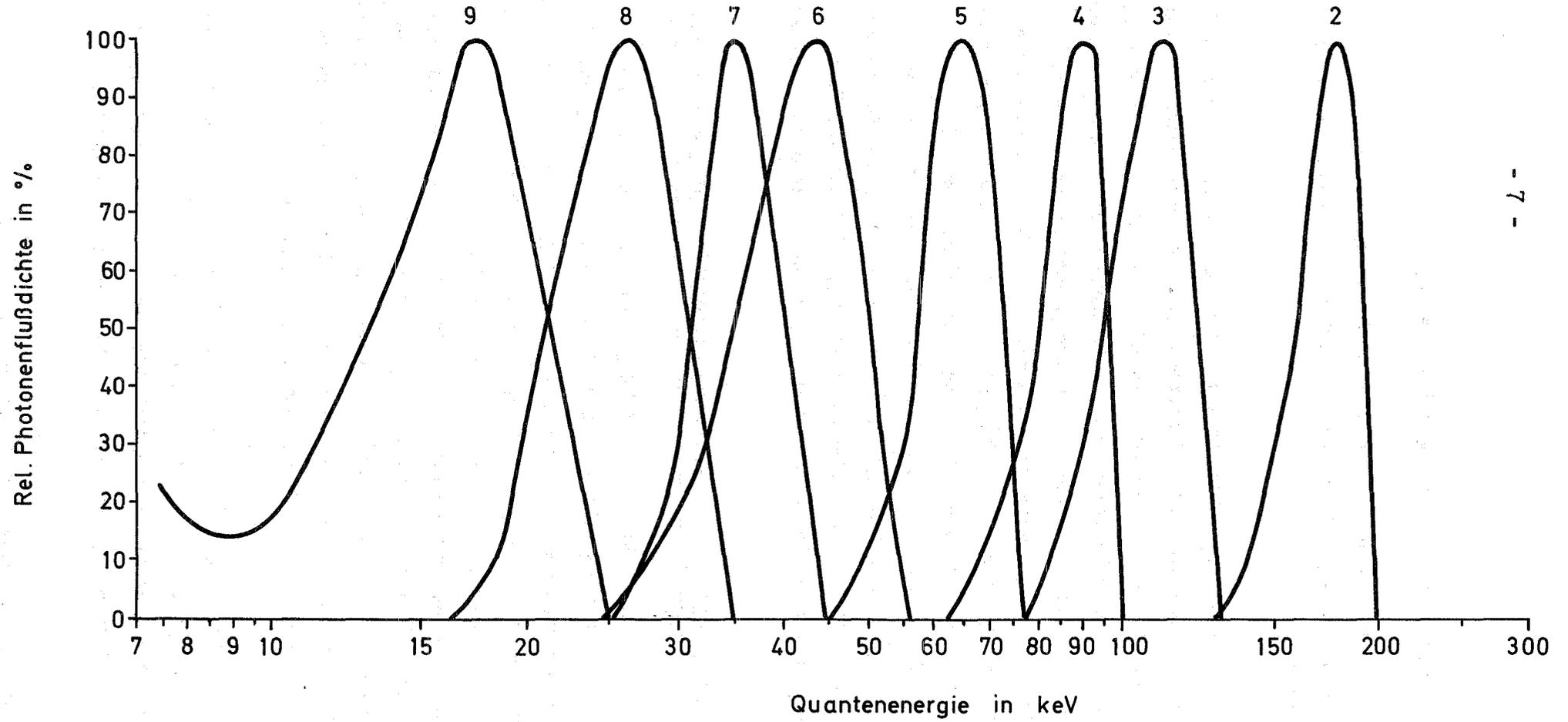


Abb. 4: Gemessene Röntgenbremsstrahlungsspektren mit Filterkombination I nach (4)

(hier prozentualer Homogenitätsgrad  $p$ ) definieren (2).

Abb. 3 zeigt den aus berechneten Spektren ermittelten Zusammenhang zwischen Röhrenspannung, mittlerer Quantenenergie, Linienbreite und prozentualer Homogenität.

Die in Tab. 1 angeführten effektiven Quantenenergien sind die aus dem Bremsstrahlenspektrum unter Zugrundelegung der entsprechenden Massen-Schwächungskoeffizienten (3) für die verwendeten Filterkombinationen errechneten Werte der mittleren Energien. Neuere Messungen von Röntgenspektren mit einem Ge(Li)-Spektrometer (4) ergaben eine recht gute Übereinstimmung mit den berechneten Werten. Diese gemessenen Spektren sind für die Strahlenqualität I und II in den Abb. 4 und 5 wiedergegeben. Die laufende Nummer in der Tab. 1 kennzeichnet die entsprechende Dosisverteilungskurve für die jeweilige Strahlenqualität in den beiden Abbildungen. Außerdem enthält Tab. 1 noch die aus den gemessenen Spektren entnommene mittlere Energie  $\bar{E}$  für einen Vergleich mit der berechneten effektiven Energie  $E_{\text{eff}}$  und das Verhältnis der effektiven Energie zur maximalen Energie (prozentualer Homogenitätsgrad  $p$ ).

#### 4. Vergleichsgeräte und Meßgenauigkeit der Energiekalibrierung

Zur Bestimmung der Energieabhängigkeit von Dosisleistungsmeßgeräten wurde als eine Art Sekundärstandard ein Dosisleistungsmeßgerät Type TOL/D +) (Ionisationskammer mit variabler Gasverstärkung) mit einer relativ energieunabhängigen Anzeige im Energiebereich 10 keV bis 1,2 MeV und einem relativ großen linearen Meßbereichsumfang von 10  $\mu\text{R/h}$  bis 100 mR/h gewählt. Vor jeder Messung wurde mittels je eines Potentiometers zunächst der Nullpunkt und anschließend die Anzeigeempfindlichkeit mit einer Eichhülse ( $\beta$ -Präparat) und durch Feineinstellung der Detektorhochspannung korrigiert. Das Gerät wurde abweichend von dem kommerziellen Modell mit Netzspannung und einer getrennten hochstabilisierten Hochspannung betrieben.

Zur Kalibrierung von Dosimetern wurde ein Philips-Universal-dosimeter mit den Ionisationskammern Type 37 486/10 für  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{60}\text{Co}$ , Type 37 480/10 für den oberen Energiebereich (300 keV - 40 keV) und Type 37 482/10 für den unteren Energiebereich (40 keV - 10 keV) verwendet.

+) Hersteller Labor Prof. Berthold, Wildbad

# BREMSSTRAHLUNGSSPEKTREN

## Filterkombination II

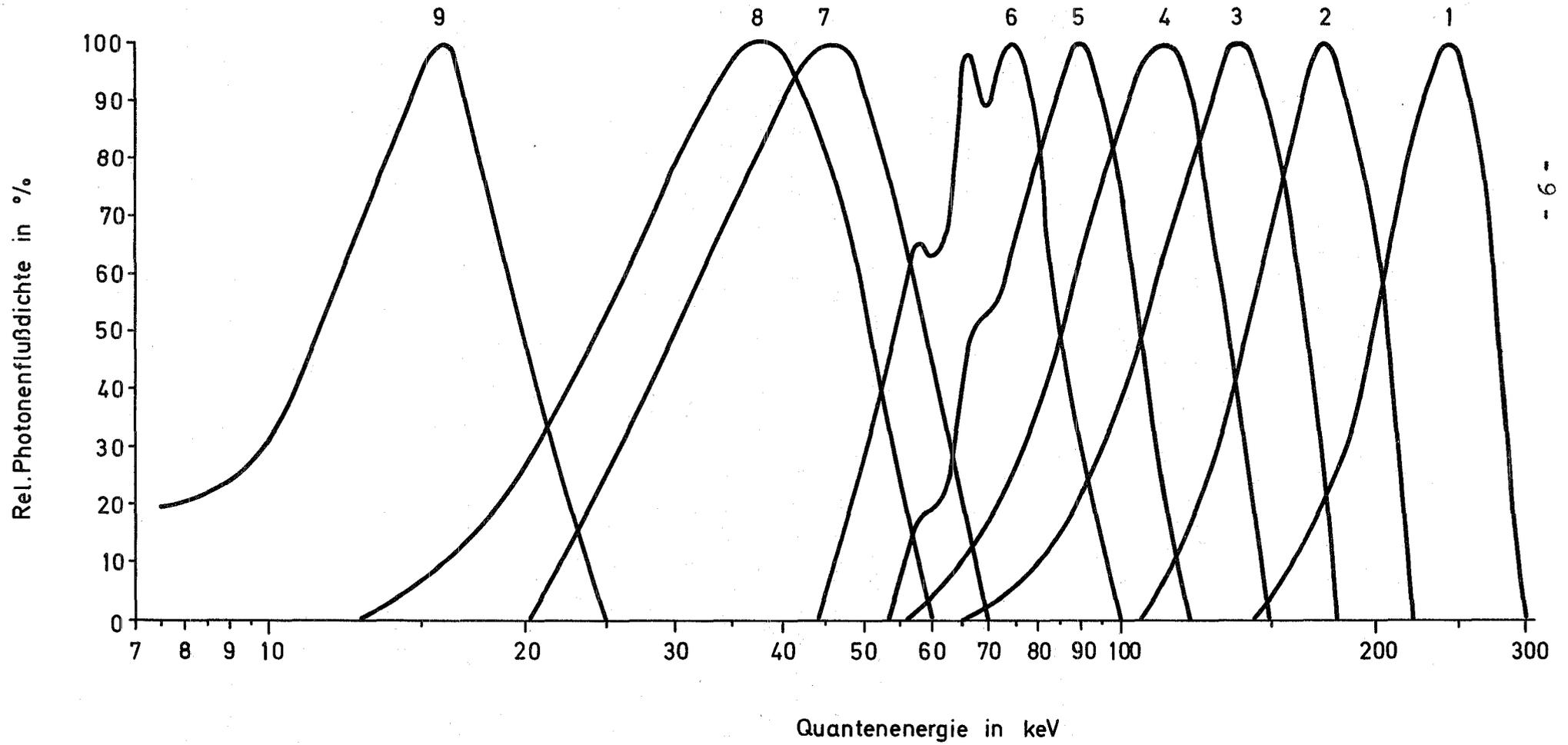


Abb. 5: Gemessene Röntgenbremsstrahlungsspektren mit Filterkombination II nach (4)

Sowohl das Dosisleistungsmeßgerät TOL/D als auch das Philips-Universalgerät wurden von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig geeicht. Die Gleichgewicht-Ionendosisleistung  $\dot{I}_S$  bzw. die Gleichgewicht-Ionendosis  $I_S$  wird durch Multiplikation der Meßwertanzeige  $\alpha$  bei einer bestimmten Energie mit dem Kammerfaktor  $k$  für diese Energie erhalten:

$$I_S = \alpha \times k$$

Die maximale Unsicherheit des Kammerfaktors  $k$  wurde von der PTB für die verschiedenen Strahlenenergien der Röntgenstrahlung und der  $\gamma$ -Strahlung von  $^{60}\text{Co}$  und  $^{137}\text{Cs}$  wie folgt angegeben:

Dosisleistungsmesser TOL/D:	Röntgenstrahlung	$\pm 6 \%$
	$\gamma$ -Strahlung	$\pm 6 \%$
Philips-Universaldosimeter:	Röntgenstrahlung	$\pm 2,5 \%$
	$\gamma$ -Strahlung	$\pm 4 \%$

Das Vergleichsgerät TOL/D konnte bei der PTB nicht mit der gewünschten hartgefilterten Röntgenbremsstrahlung geeicht werden, die zur Vergleichsmessung benutzt wurde. Der Einfluß eines etwas höheren Homogenitätsgrades auf den Betrag des Kammerfaktors wird jedoch gering sein, da das TOL/D, wie aus der PTB Eichung hervorgeht, im interessierenden Energiebereich nur innerhalb  $\pm 5 \%$  energieabhängig ist. Als Meßunsicherheit für den ermittelten Sondenfaktor wird unter Berücksichtigung der PTB Eichung ein Wert von  $\pm 10 \%$  angesehen. Für das Philips-Universaldosimeter wird diese Meßunsicherheit nicht so hoch eingeschätzt.

Die Ungenauigkeit einer Energieangabe resultiert aus dem Meßfehler der Hochspannungsmessung, der nicht genau bekannten spektralen Energieverteilung der Röntgenbremsstrahlung an der benutzten Anlage und der unterschiedlichen Definition einer effektiven Energie und wird 10 keV nicht überschreiten.

## 5. Durchführung der Vergleichsmessungen

Die Vergleichsmessungen wurden an einer speziell für Kalibrierzwecke eingerichteten Röntgenanlage durchgeführt. Da die Dosisleistung der Nutzstrahlung durch die Zusatzfilterung stark herabgesetzt wird, mußten einige Vorkehrungen zur Verminderung der nicht mehr vernachlässigbaren Streustrahlung getroffen werden (5).

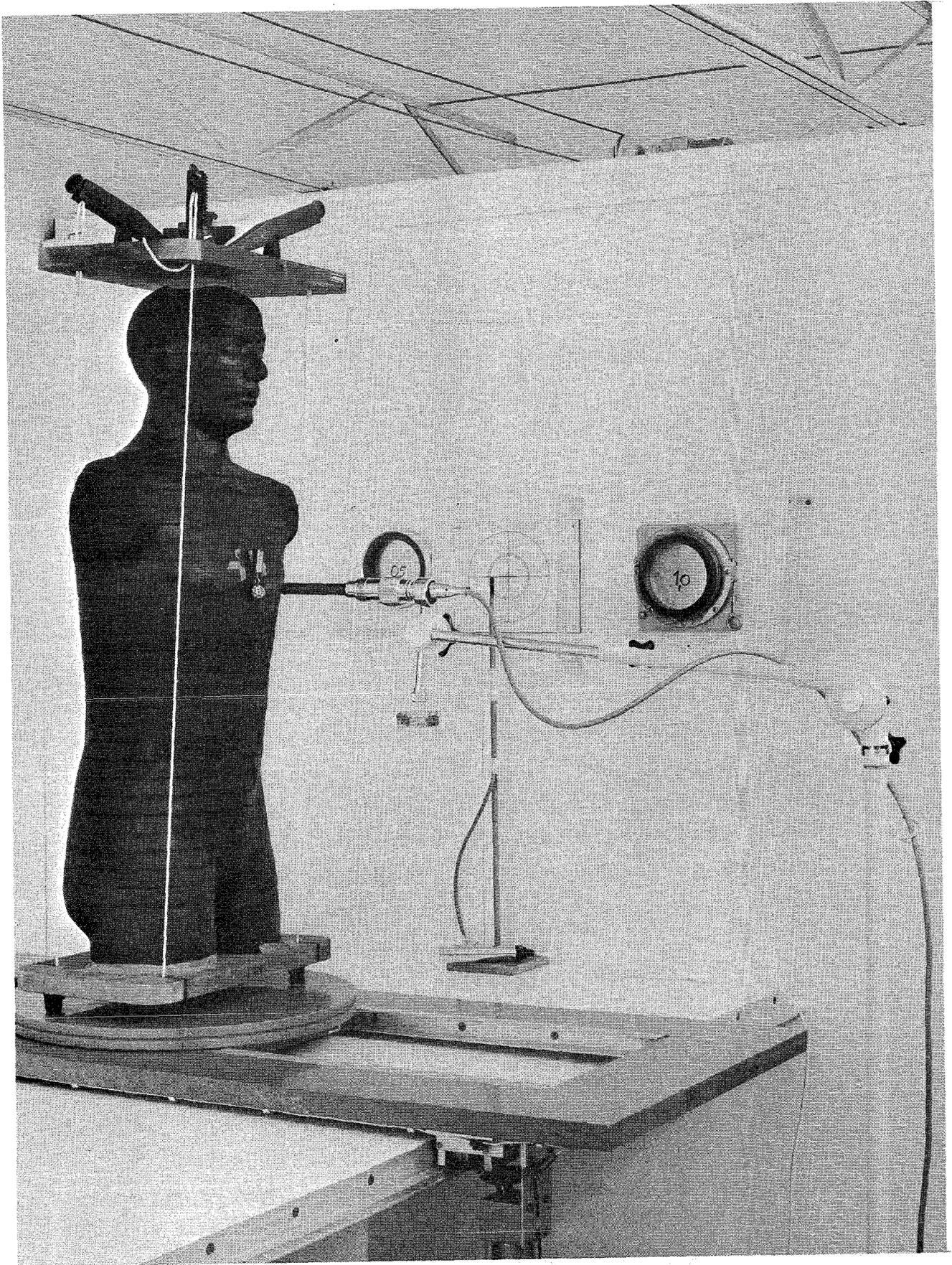


Abb. 6: Röntgenbestrahlungsanlage mit Meßbühne und Alderson-Menschphantom

Zwei Röntgenröhren (Max. Spannung 50 kV bzw. 300 kV) und eine  $^{137}\text{Cs}/^{60}\text{Co}$ -Bestrahlungsanlage (Quellenaktivität: 30 mCi bzw. 10 mCi) wurden nebeneinander in einem Abschirmgehäuse aus PVC-Platten mit Bleiinnenverkleidung vor je einem Strahlenaustrittsfenster in 1,3 m über Boden aufgestellt. Ein kegelförmiger Bleikollimator bzw. kombinierte Blei-Zinn-Blenden in den Austrittsfenstern kollimieren streustrahlungsarm den Nutzstrahl der Quellen und der beiden Röntgenröhren auf etwa den gleichen Durchmesser von 30 cm in 1 m Abstand vom Strahlenkegelnbrennpunkt. Die mittlere Dosisleistung der mit Filterkombination I gefilterten Röntgenstrahlen und die Dosisleistung der  $\gamma$ -Strahlung der beiden Quellen beträgt in diesem Abstand etwa 25 mR/h, die Röntgenstrahlung mit Filterkombination II 6 R/h. Durch eine ausreichende Bleiabschirmung der Quellen erhöht sich der natürliche Nulleffekt bei eingefahrenen Quellen an jeder Stelle des Bestrahlungsraumes nur um weniger als 50 %. Die Halterungen für die auswechselbaren Zusatzfilter befinden sich unmittelbar an der Außenseite der Strahlenaustrittsfenster.

Das Vergleichsgerät und das zu kalibrierende Gerät werden in einem der Nutzstrahlenkegel auf eine 0,6 m hohe fahrbare Meßbühne montiert (s. Abb. 6). Durch Änderung des Abstandes von der Strahlenquelle über eine Fernsteuerung der Meßbühne oder durch Änderung der Strahlenintensität mittels des Röhrenstromes kann die Anzeige der zu prüfenden Meßgeräte für alle Strahlungsenergien auf den gleichen Wert eingestellt werden. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Strahlenkegeldurchmessers, einer genügenden Homogenität des Feldes am Meßort und eines vernachlässigbar kleinen Streustrahleneinflusses vom Filter wurde ein Mindestabstand von 1 m zwischen Gerät und Strahlenquelle nicht unterschritten.

Die Anzeige des zu kalibrierenden Gerätes wurde für jede Energie auf die korrigierte Anzeige des Vergleichsgerätes (Gleichgewicht-Ionendosis) bezogen. Die so erhaltenen Sondenfaktoren wurden einheitlich im doppelt-logarithmischen Maßstab über der Energie aufgetragen und als "relative Dosisempfindlichkeit" des Detektors angegeben, um den Bezug der gewonnenen Meßergebnisse auf die Gleichgewicht-Ionendosis hervorzuheben und die Abhängigkeit einer dosisrichtigen Detektoranzeige von der Gerätekalibrierung zu verdeutlichen (siehe Anhang). Es muß daraufhingewiesen werden, daß die hier wiedergegebene Energieabhängigkeit jeweils mit einem einzigen Gerät ermittelt wurde. Vergleichsmessungen mit Geräten verschiedener Fertigungsserien haben gezeigt, daß die charakteristische Energieabhängigkeit erhalten bleibt, wenn die

neue Serie keine konstruktive Änderung insbesondere am Detektor aufweist.

Auf pauschale Angaben über den Einfluß der Energieabhängigkeit auf die dosisrichtige Anzeige eines Gerätes für einen speziell interessierenden Energiebereich wurde verzichtet, weil sie leicht aus den graphischen Darstellungen entnommen werden können.

Bei Personendosimetern wurden neben Freiluftkalibrierungen in einigen Fällen auch Phantomkalibrierungen durchgeführt. Dazu wurden die auf der Vorderseite in Brusthöhe eines Alderson-Menschphantoms befestigten Dosimeter sowohl bei einer Strahleneinfallrichtung auf die Phantomvorderseite als auch auf die Phantomrückseite immer am gleichen Ort im Zentrum des Nutzstrahlenkegels und mindestens 1,10 m von der Quelle entfernt bestrahlt. Die Dosimeteranzeige wurde hierbei auf die an diesem Ort ohne Phantom gemessene Gleichgewicht-Ionendosis bezogen.

Im Anhang wurden die von uns geprüften Dosisleistungsmesser, Stabdosimeter und Festkörperdosimeter jeweils alphabetisch nach der Herstellerfirma tabellarisch zusammengestellt. Die laufende Nummer in der 1. Spalte kennzeichnet die entsprechende Abbildung der Energieabhängigkeitskurve. Der besseren Übersicht wegen wurden aus der Vielzahl der möglichen Angaben über meßtechnische Eigenschaften der Geräte nur Angaben über den Meßbereich und die Skalenaufteilung der Anzeigeinstrumente ausgewählt. Auch diese beiden Angaben entfallen für Ionisationskammern und Zählrohre, die nicht in Verbindung mit einem kommerziellen Dosisleistungsmeßgerät angeboten werden und daher mit einem geeigneten Labormeßplatz geprüft wurden.

Die Tabelle für Festkörperdosimeter enthält neben der stichwortartigen Beschreibung der Energiekompensationsfilter, die nur zu deren Charakterisierung und nicht als Bauanweisung dienen soll, noch Angaben über die Art der Kalibrierbestrahlung, nämlich Freiluft- oder Phantombestrahlung. Bei den Phantombestrahlungen wurde außerdem je nach Art der Kalibrierung entweder eine Oberflächendosis oder die Anzeige der Energiedosis in den kritischen Organen angegeben. Letztere erhält man unter Verwendung derjenigen Werte, die von A.R. Jones für die Energiedosen in den kritischen Organen in einem Alderson-Phantom gefunden wurden (6). In Abb. 7 und 8 sind diese Umrechnungsfaktoren

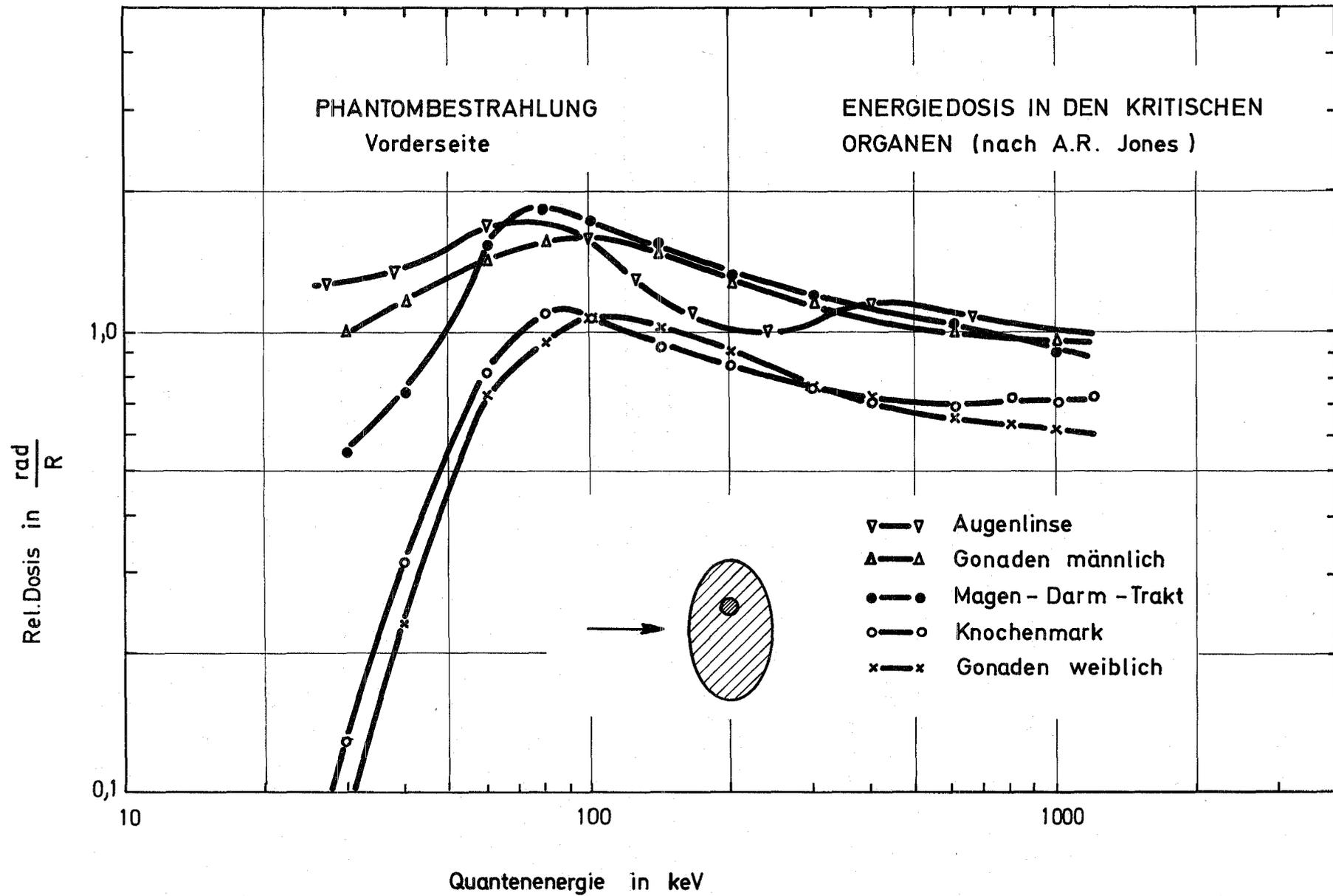


Abb. 7: Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der Energiedosis in den kritischen Organen bei Bestrahlung auf Phantomvorderseite nach A.R. Jones (6)

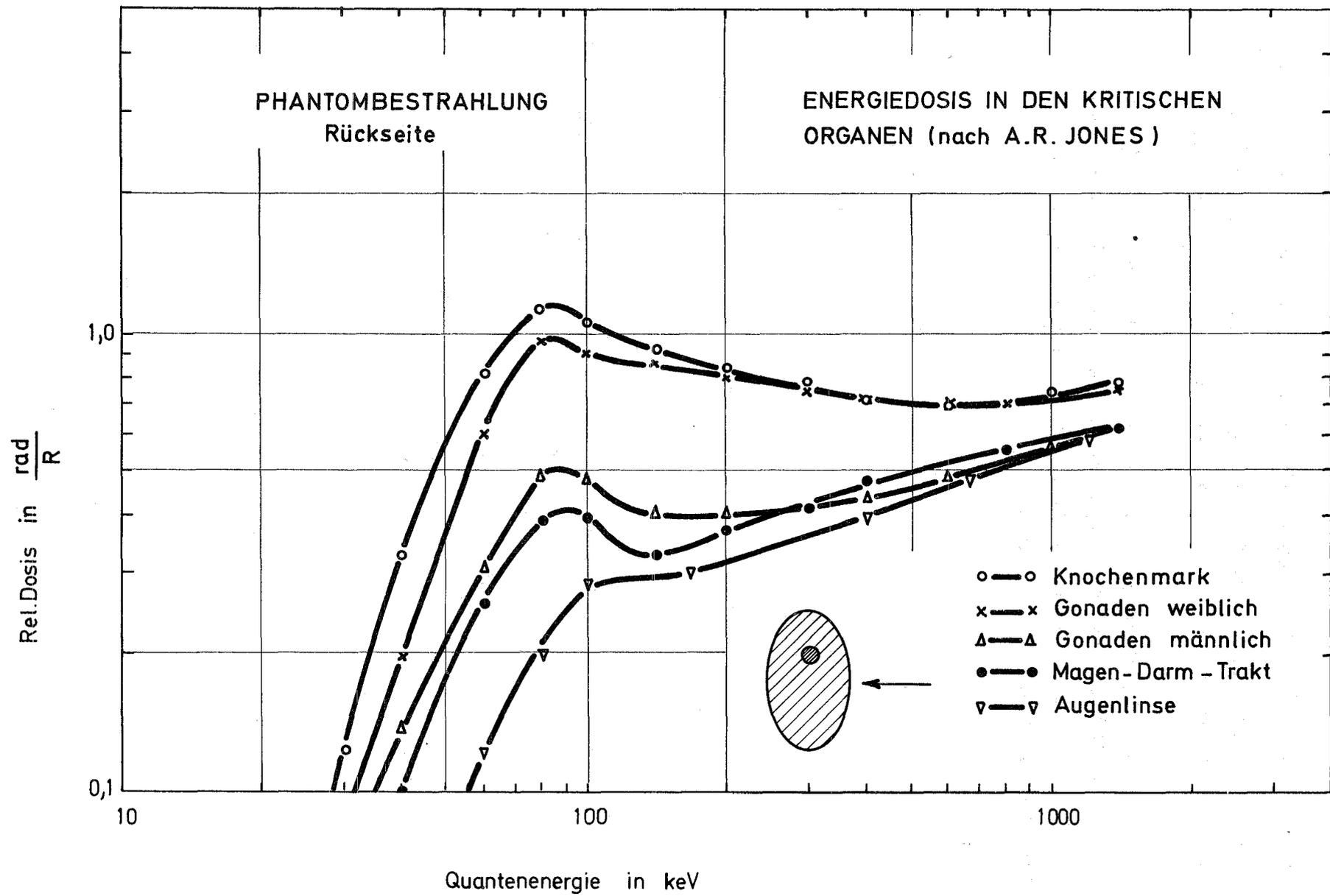


Abb. 8: Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der Energiedosis in den kritischen Organen bei Bestrahlung auf die Phantomrückseite nach A.R. Jones (6)

$\frac{\text{rad}}{\text{R}}$  für die Ermittlung der Energiedosis in den kritischen Organen aus der Gleichgewichtungendosis für die Bestrahlung der Phantomvorderseite bzw. Phantomrückseite in Abhängigkeit von der Quantenenergie wiedergegeben.

Besonderen Dank schulden wir Herrn E. Lachmann für die Erstellung der Abschirmung, der Bestrahlungsanlage und der fernbedienbaren Bestrahlungstische, für seine Mithilfe bei den Messungen und schließlich für die sorgfältige Anfertigung der Zeichnungen.

## Literatur

- (1) Piesch, E.: Einfluß der Strahlenqualität auf die Energiekalibrierung von Dosisleistungsmeßgeräten, Atompraxis, Direct Information 7/66, 1966
- (2) Piesch, E.: Some remarks on the problem of dosimeter calibration in the X-ray energy range: Proc. of Int. Congr. on Dosimetry from external sources, Paris 1964
- (3) NBS Circular 583: X-ray Attenuation Coefficients from 10 keV to 100 MeV (1957)
- (4) Drexler, G., Goß van M.: Spektren gefilterter Röntgenstrahlungen für Kalibrierzwecke: GSF-Bericht S 45, 1968  
Ein Katalog.
- (5) Piesch, E.: Dosisleistungsmessungen im Störstrahlungsfeld einer Röntgenanlage für Kalibrierzwecke : Atompraxis 13, Heft 8, S. 347, 1967
- (6) A.R. Jones: Health Physics 12, 663 (1966)

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Die relative Dosisempfindlichkeit einer Hochdruckkammer (Fabrikat Victoreen Radector II) in Abhängigkeit von der Quantenenergie, bestimmt mit Röntgenstrahlung unterschiedlicher Homogenität (1). Strahlenqualität I und II entsprechen der Filterkombination I und II, Strahlenqualität III einer Normalstrahlung.
- Abb. 2 Die Kennzeichnung der Strahlenqualität einer Röntgenstrahlung durch die Dosisverteilung und die Definition einer "prozentualen Homogenität".
- Abb. 3 Der Zusammenhang zwischen der relativen Linienbreite  $\Delta E$ , der mittleren Energie  $\bar{E}$ , der maximalen Energie ( $\hat{=}$ Röhrenspannung  $U_0$ ) und der prozentualen Homogenität  $p$  ( $p > 50\%$ ) des Spektrums der Dosisverteilung einer Röntgenstrahlung.
- Abb. 4 Gemessene Röntgenbremsstrahlungsspektren mit Filterkombination I nach (4)
- Abb. 5 Gemessene Röntgenbremsstrahlungsspektren mit Filterkombination II nach (4)
- Abb. 6 Röntgenbestrahlungsanlage mit Meßbühne und Alderson-Menschphantom
- Abb. 7 Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der Energiedosis in den kritischen Organen bei Bestrahlung auf Phantomvorderseite nach A.R. Jones (6)
- Abb. 8 Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der Energiedosis in den kritischen Organen bei Bestrahlung auf die Phantomrückseite nach A.R. Jones (6)

Anhang: Liste der geprüften Geräte

Nr.	Hersteller	Gerätetyp		Skala	Meßbereich
1	Bandelin	MM 3	GM	linear	0 - 50 µR/h 0 - 0,5 mR/h 0 - 5 mR/h
2	Berthold	BZ 120 Zählrohr	GM	-	-
3		BZ 120 Zählrohr mit Energiefilter	GM	-	-
4		LB 1060 Gammaguard	GM	-	Schwellen: 0,2 u. 2 mR/h
5		LB 1200	GM	quasi-log	0 - 0,1 mR/h 0 - 1 mR/h 0 - 10 mR/h 0 - 100 mR/h
6		TOL/E mit Aluminium- sonde	IK	linear	0 - 0,3 mR/h 0 - 1 mR/h 0 - 3 mR/h 0 - 30 mR/h 0 - 100 mR/h und R/h +)
7		TOL/E mit Kunststoff- sonde	IK	linear	wie 6
8	Friesseke u. Höpfner	FH 40 H	GM	quasi-log	0 - 25 mR/h 0 - 1000 mR/h
9		FH 40 T	GM	quasi-log	0 - 0,5 mR/h 0 - 25 mR/h 0 - 1000 mR/h
10		FH 40 Tv	GM	quasi-log	0 - 1 mR/h 0 - 25 mR/h 0 - 1000 mR/h
11		FH 190 B2 mit Ionisations- kammer 40 408/26	IK	log	$10^{-4}$ - $10^2$ R/h
12		FH 190 B7 mit Ionisations- kammer 40 408/31	IK	log	$10^{-4}$ - $10^2$ R/h
13		FHZ 78 Zählrohr	GM	-	-
14		FHZ 78 Zählrohr mit Energiefilter	GM	-	-
15		FHZ 71 Zählrohr mit Energiefilter	GM	-	-

+) für alle Meßbereiche

IK = Ionisationskammer

GM = Zählrohr

Nr.	Hersteller	Gerätetyp		Skala	Meßbereich
16	Graetz	X 50	GM	quasi-log	0 - 10 mR/h 0 - 100 mR/h 0 - 1000 mR/h 0 - 50 R/h
17		X 50 mit Sonde	GM	quasi-log	0 - 18 Ips 0 - 160 Ips 0 - 1400 Ips 0 - 12000 Ips
18		X 500	GM	quasi-log	0 - 100 mR/h 0 - 1000 mR/h 0 - 10 R/h 0 - 500 R/h
19		X 1000	GM	log	1 - 10 mR/h 10 - 100 mR/h 0,1 - 1 R/h 1 - 10 R/h * 10 - 1000 R/h *
20	Herfurth	H 1357 mit Sonde II A	GM	log	10 - 100 µR/h 0,1 - 1 mR/h 1 - 10 mR/h 10 - 100 mR/h
21	Nuclear Enterprises	1907 B	GM	quasi-log	0 - 10 mR/h 4 Dekaden 270° Skala
22	Nardeux	Babyline E 253	IK	linear	0 - 10 mR/h 0 - 100 mR/h 0 - 1000 mR/h 0 - 10 R/h
23		Babyline E 433	IK	linear	0 - 1 mR/h 0 - 10 mR/h 0 - 100 mR/h und R/h +)
24	Philips	PW 4014/00 mit und ohne Sonde	GM	linear	0 - 3 mR/h 0 - 30 mR/h
25	Pychlau	Simplex-Dosimeter mit Sprungrelais Kammertyp 2114	IK	linear	9 mR/h bis 3,6 R/h
26		Desy-Kammer	IK		
27	Thomson	TH N 701	IK	linear	0 - 10 mR/h 0 - 100 mR/h 0 - 1 R/h 0 - 10 R/h

+ ) für alle Meßbereiche \* Energieabhängigkeit nicht gültig für diesen Meßbereich

Nr.	Hersteller	Gerätetyp		Skala	Meßbereich
28	Total	Atometer 6122	GM	quasi-log	0 - 150 mR/h 0 - 15 R/h
29		Teletector 6112 B	GM	quasi-log	0 - 2 mR/h 0 - 50 mR/h 0 - 4 R/h * 0 - 1000 R/h *
30		6150	GM	quasi-log	0 - 5 mR/h 0 - 50 mR/h 0 - 500 mR/h 0 - 5 R/h 0 - 50 R/h
31	Victoreen	Cutie Pie 740 A	IK	linear	0 - 50 mR/h 0 - 500 mR/h 0 - 5000 mR/h
32		CDV 715	IK	linear	0 - 500 mR/h 0 - 5 R/h 0 - 50 R/h 0 - 500 R/h
33		Minirad M-50	IK	log	0,005 - 50 R/h
34		Jordankammer AGB-10 KG-SR	IK	log	0,01 - 10 mR/h 0,01 - 10 R/h 0,01 - 10 kR/h
35		Radector II	IK	log	0,1 - 100 mR/h 0,1 - 100 R/h 0,1 - 1 kR/h
36		Radector III	IK	log	0,1 - 100 mR/h 0,1 - 100 R/h 0,1 - 1 kR/h
37		666 background chamber	IK	linear	0 - 3 mR/h 0 - 10 mR/h 0 - 30 mR/h 0 - 100 mR/h 0 - 300 mR/h und R/h +)
38		440	IK	linear	0 - 3 mR/h 0 - 10 mR/h 0 - 30 mR/h 0 - 100 mR/h 0 - 300 mR/h
39		Ionisations- kammer 716 A	IK	--	--

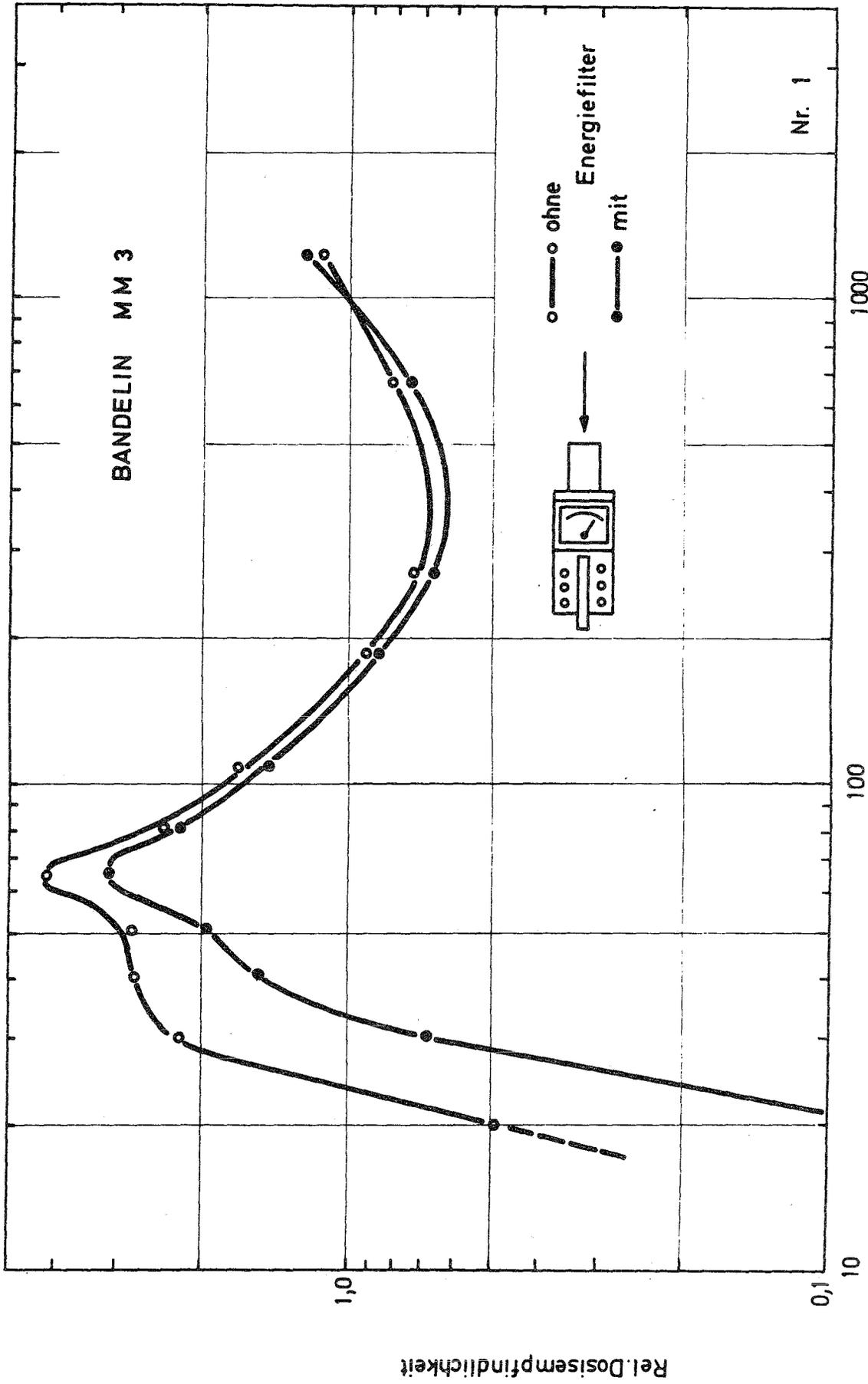
+ ) für alle Meßbereiche

\* Energieabhängigkeit nicht gültig für diesen Meßbereich

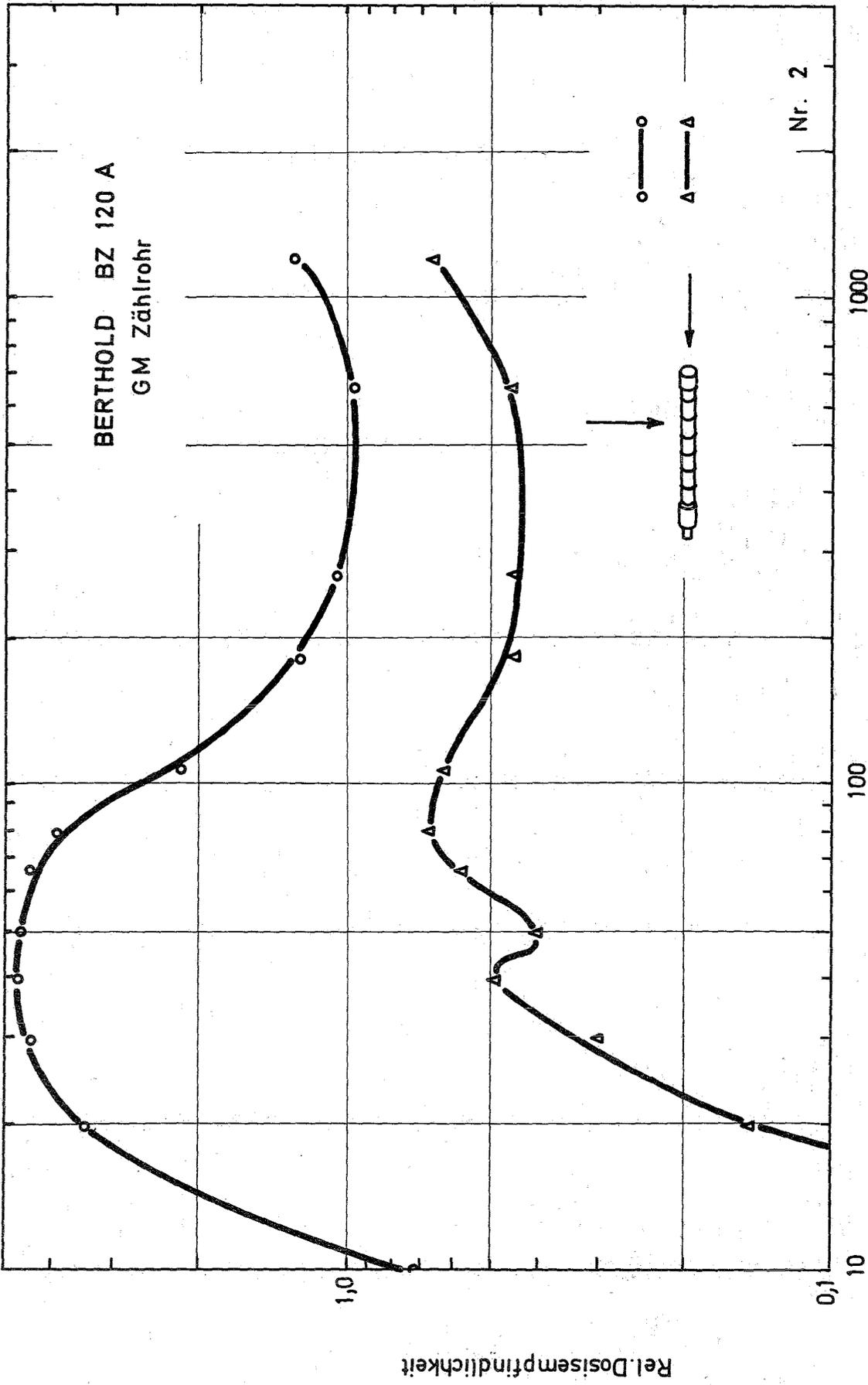
Nr.	Hersteller	Stabdosimetertyp	Skala	Meßbereich
40	Bendix	862	linear	0 - 200 mR
41	Frieseke u. Höpfner	39 R EL 011	linear	0 - 200 mR
42	Frieseke u. Höpfner	39 U	linear	0 - 200 mR
43	Landis + Gyr	EQC 4	linear	0 - 200 mR
44	Landsverk	L 50	linear	0 - 200 mR
45	La Physiotechnie	PHY-SEQ 5	linear	0 - 200 mR
46	La Physiotechnie	PHY-SEQ 6	linear	0 - 200 mR
47	Pychlau	Condiognom 2 Kammern	linear	10 - 100 mR 100 - 1000 mR
48	Stephen	RAS 02	linear	0 - 200 mR

Nr.	Hersteller	Dosimeter	Energiekompensationsfilter	Kalibrierbestrahlung
49	CEC-Glas	Phosphatglas Zylinder 3,7 mm $\phi$ x 6 mm	Zylinderförmige Kapselung CEC 0,3 mm Tantal, gelocht	Freiluft
50		Phosphatglas Zylinder 8 mm $\phi$ x 9 mm	Zylinderförmige Kapselung TOTAL 2 mm Zinn in Aluminium, perforiert	Freiluft
51	Harshaw	LiF-TLD-100 1/8" x 1/8" x 0,035"	keine	Freiluft
52	Philips mble	CaF <sub>2</sub> -PNP 090 Füllhalterdosimeter	PNK 037 Zylinderförmige Kapselung 0,8 mm Zinn, perforiert	Freiluft Dosimeter rotierend
53	Toshiba Schott (Yokota-Typ- Glas)	Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup> (Glaspärchen)	Kastenförmige Kapselung 1 Glas 0,05 mm Kupfer 1 Glas 1 mm Plastik	Freiluft
54		Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Kastenförmige Kapselung 1 mm Kadmium	Freiluft
55		Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Kastenförmige Kapselung 1 mm Kadmium, gelocht	Freiluft
56		Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Kugelförmige Kapselung 2 mm Zinn, perforiert	Freiluft Dosimeter rotierend
57		Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Kugelförmige Kapselung 2 mm Zinn, perforiert	Phantom Vorderseite Energiedosisanzeige

Nr.	Hersteller	Dosimeter	Energiekompensationsfilter	Kalibrierbestrahlung
58	Toshiba Schott (Yokota-Typ- Glas)	Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Halbkugelförmige Kapselung 2 mm Zinn, perforiert und 0,5 mm Kupferscheibe	Phantom Vorderseite, Rückseite Oberflächendosisanzeige
59		Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Halbkugelförmige Kapselung 2 mm Zinn, perforiert und 0,5 mm Kupferscheibe	Phantom Vorderseite Energiedosisanzeige
60		Phosphatglas Quader 8 x 8 x 4,7 mm <sup>3</sup>	Halbkugelförmige Kapselung 2 mm Zinn, perforiert und 0,5 mm Kupferscheibe	Phantom Rückseite Energiedosisanzeige



Quantenenergie in keV

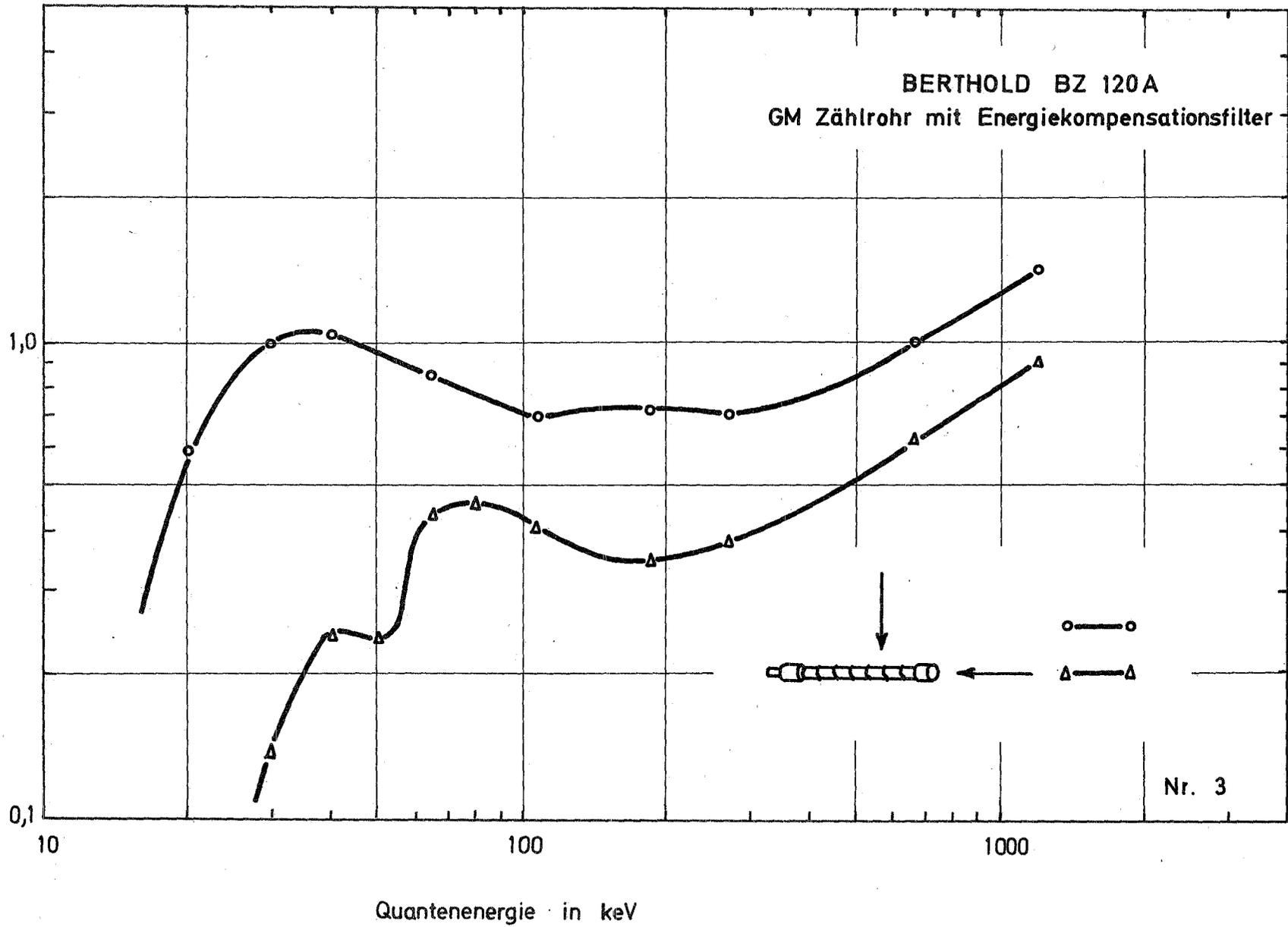


Quantenenergie in keV

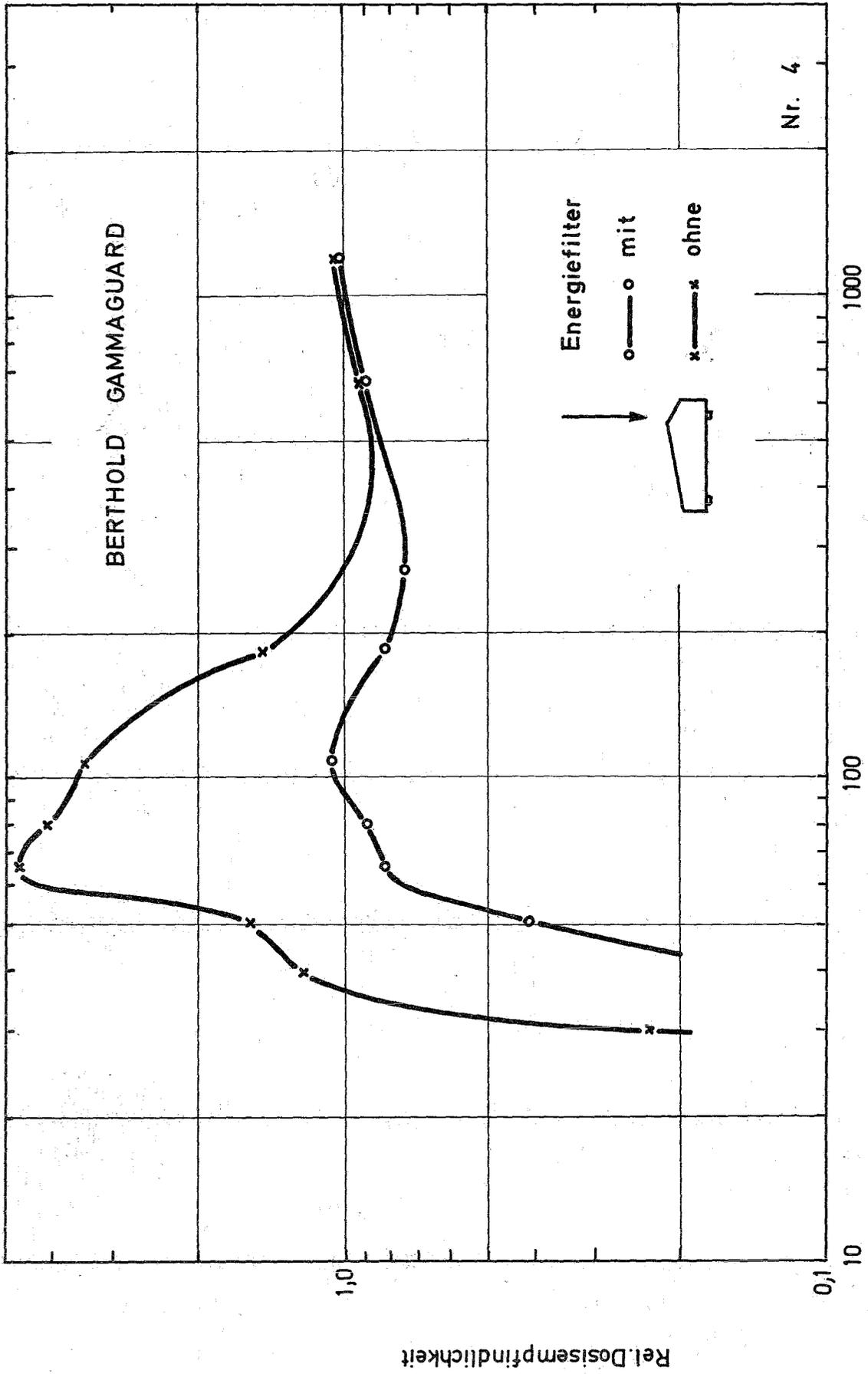
Rel. Dosisempfindlichkeit

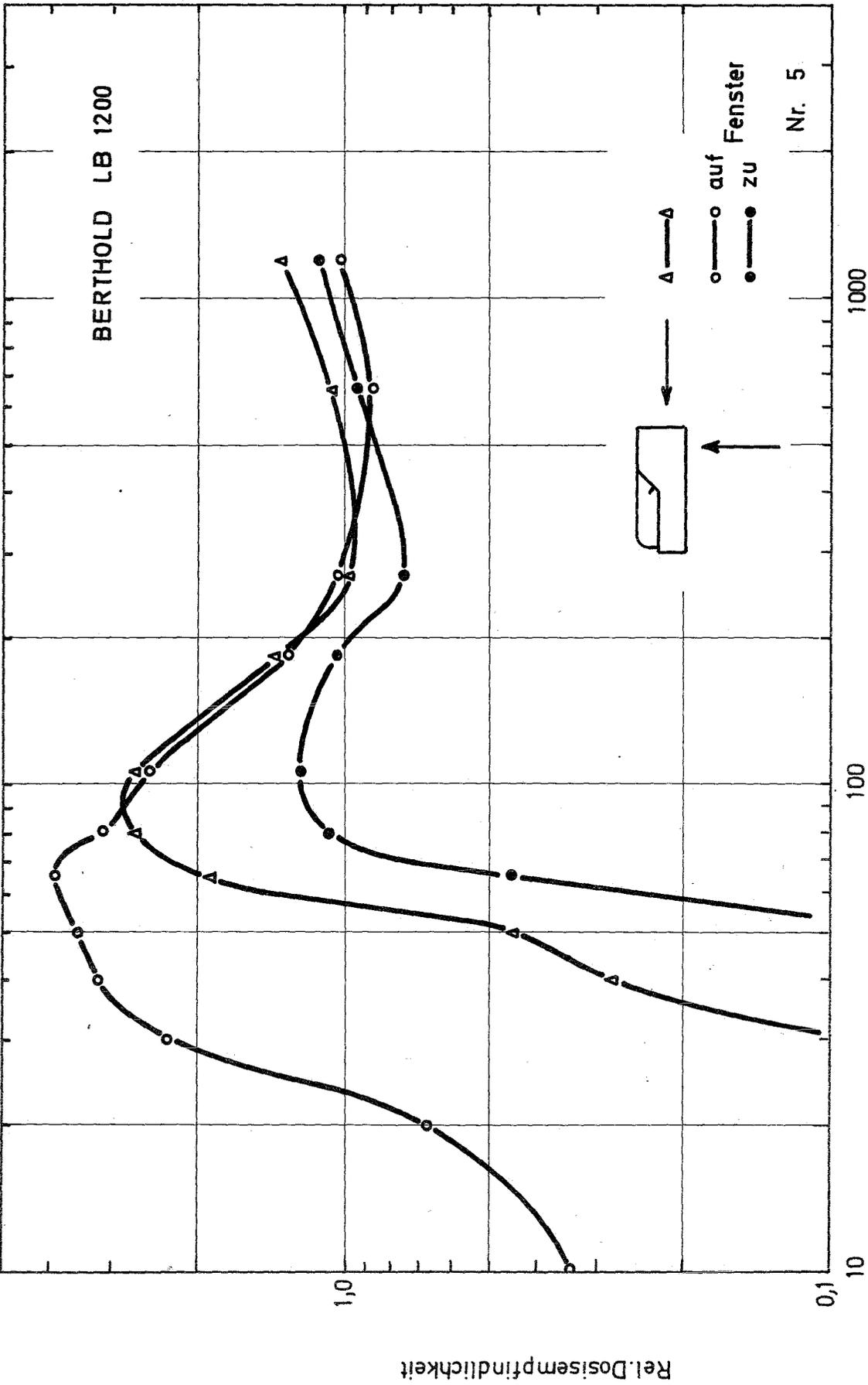
BERTHOLD BZ 120 A  
GM Zählrohr mit Energiekompensationsfilter

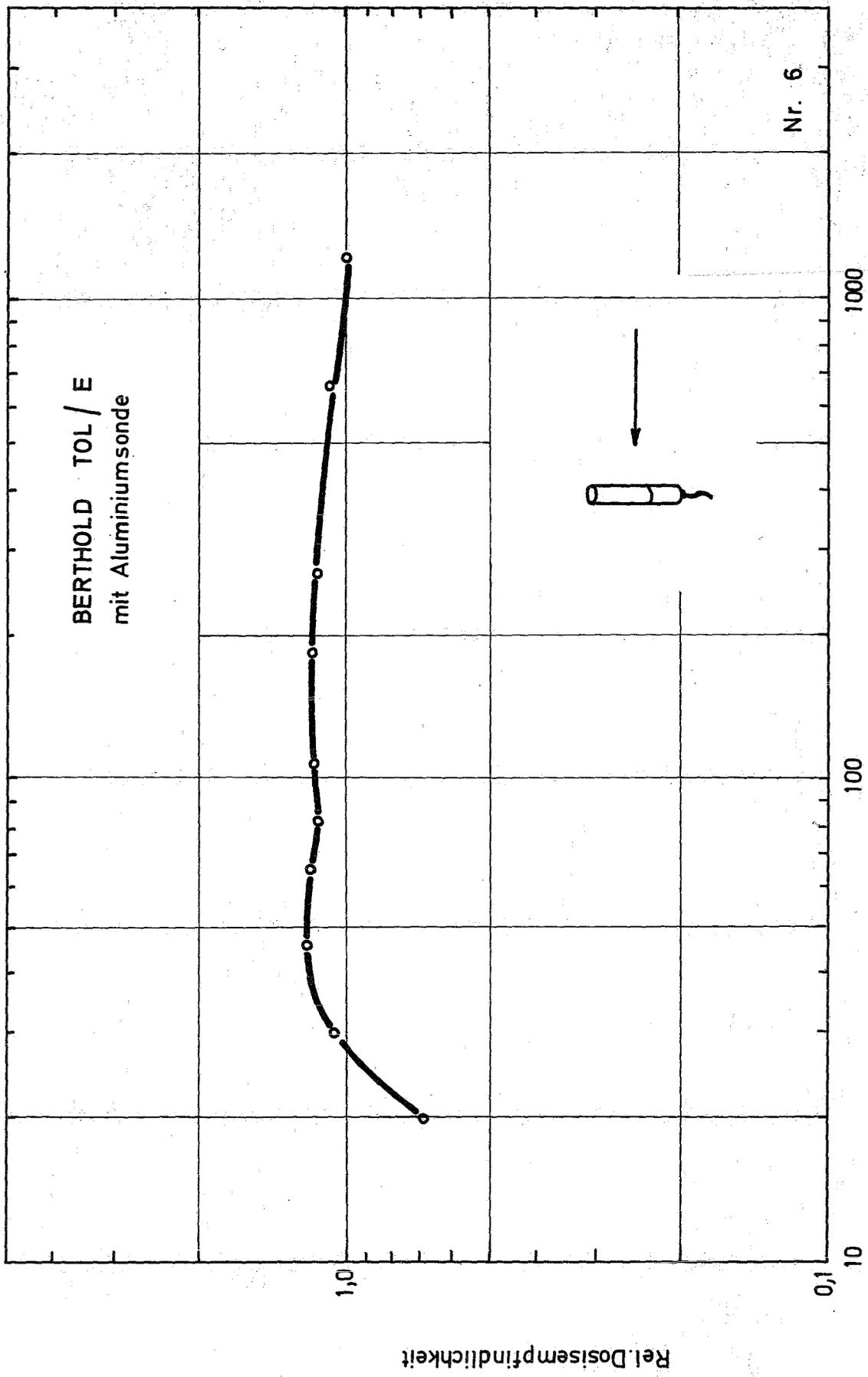
Rel. Dosisempfindlichkeit



Nr. 3

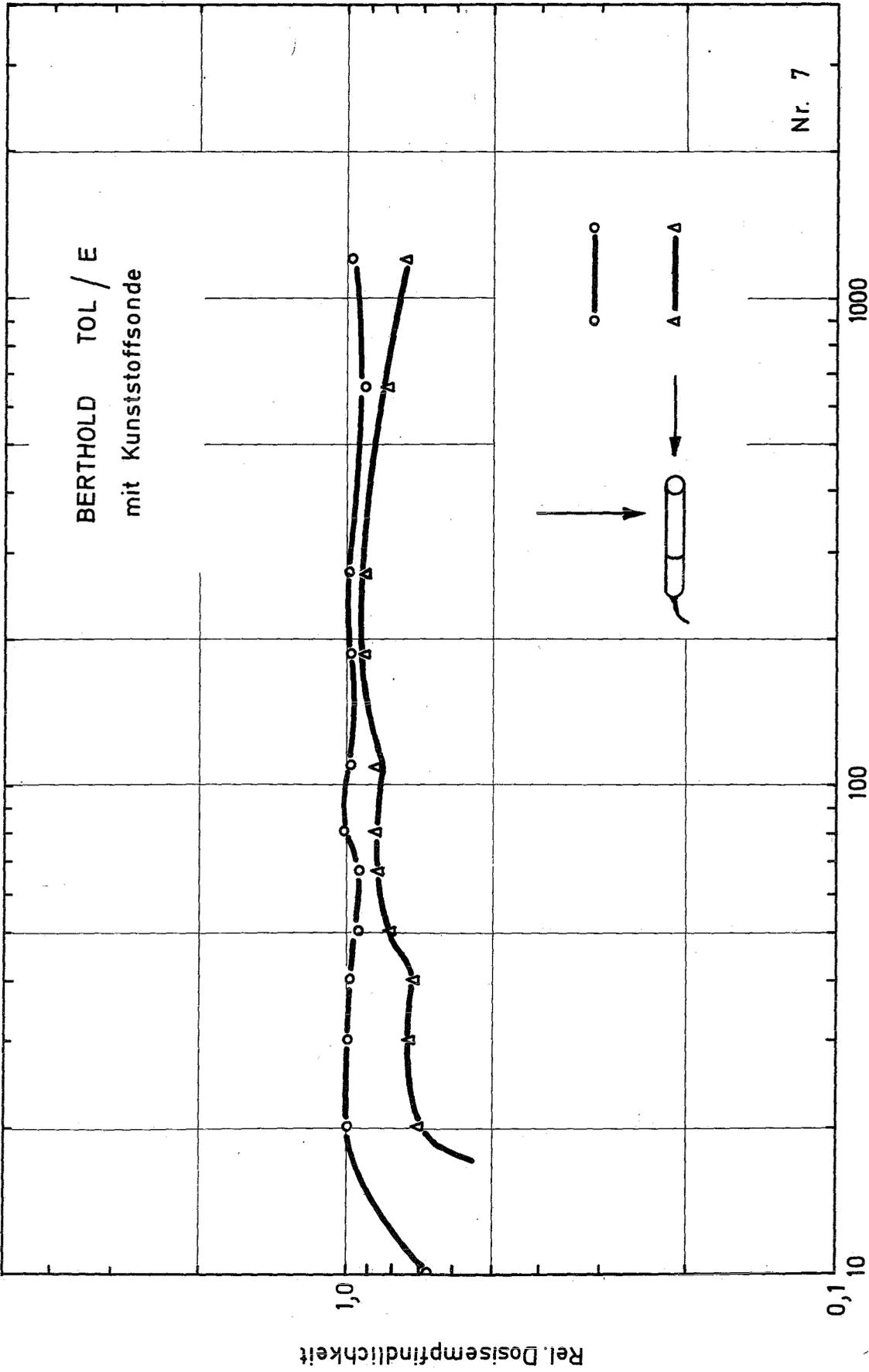






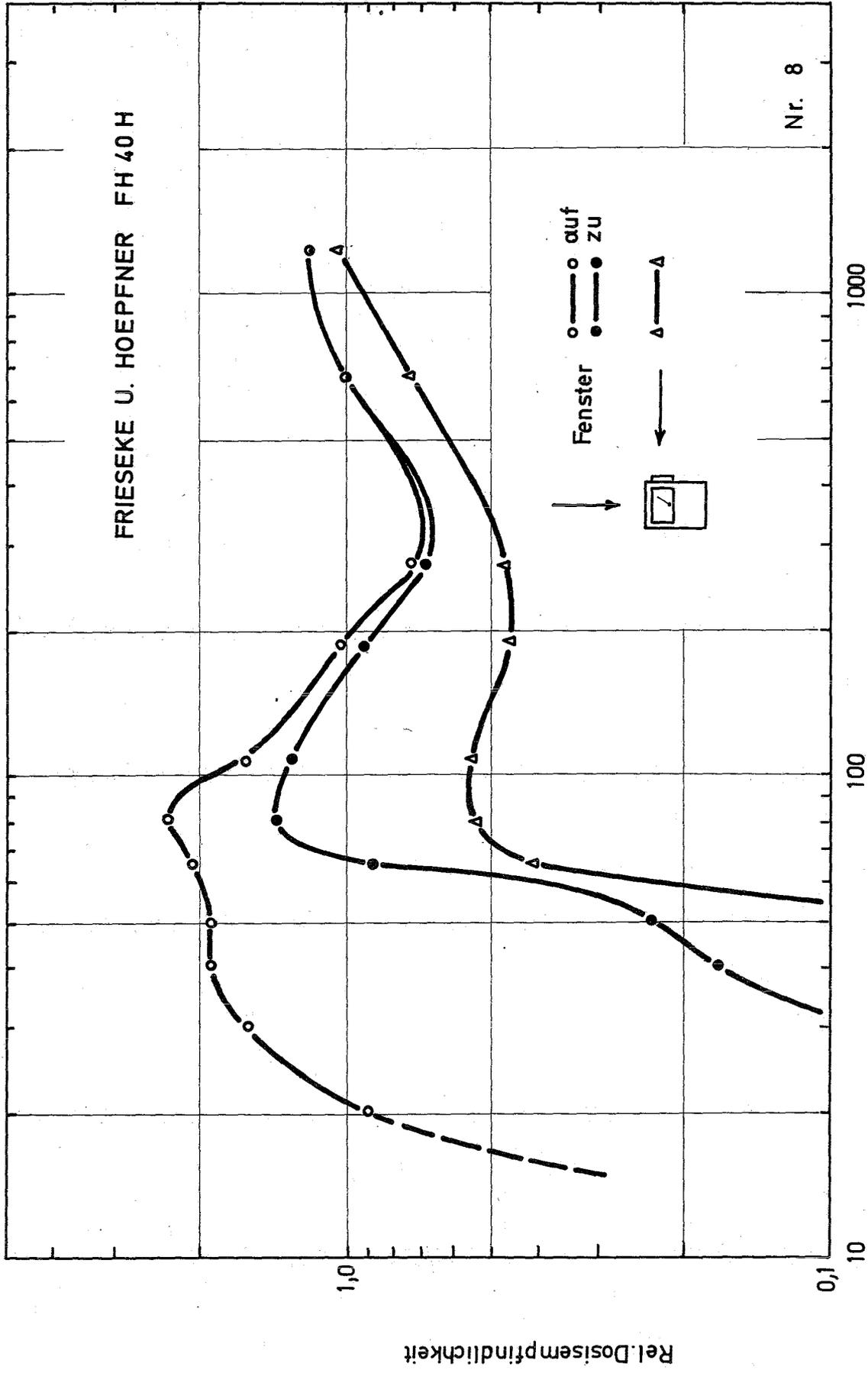
Quantenenergie in keV

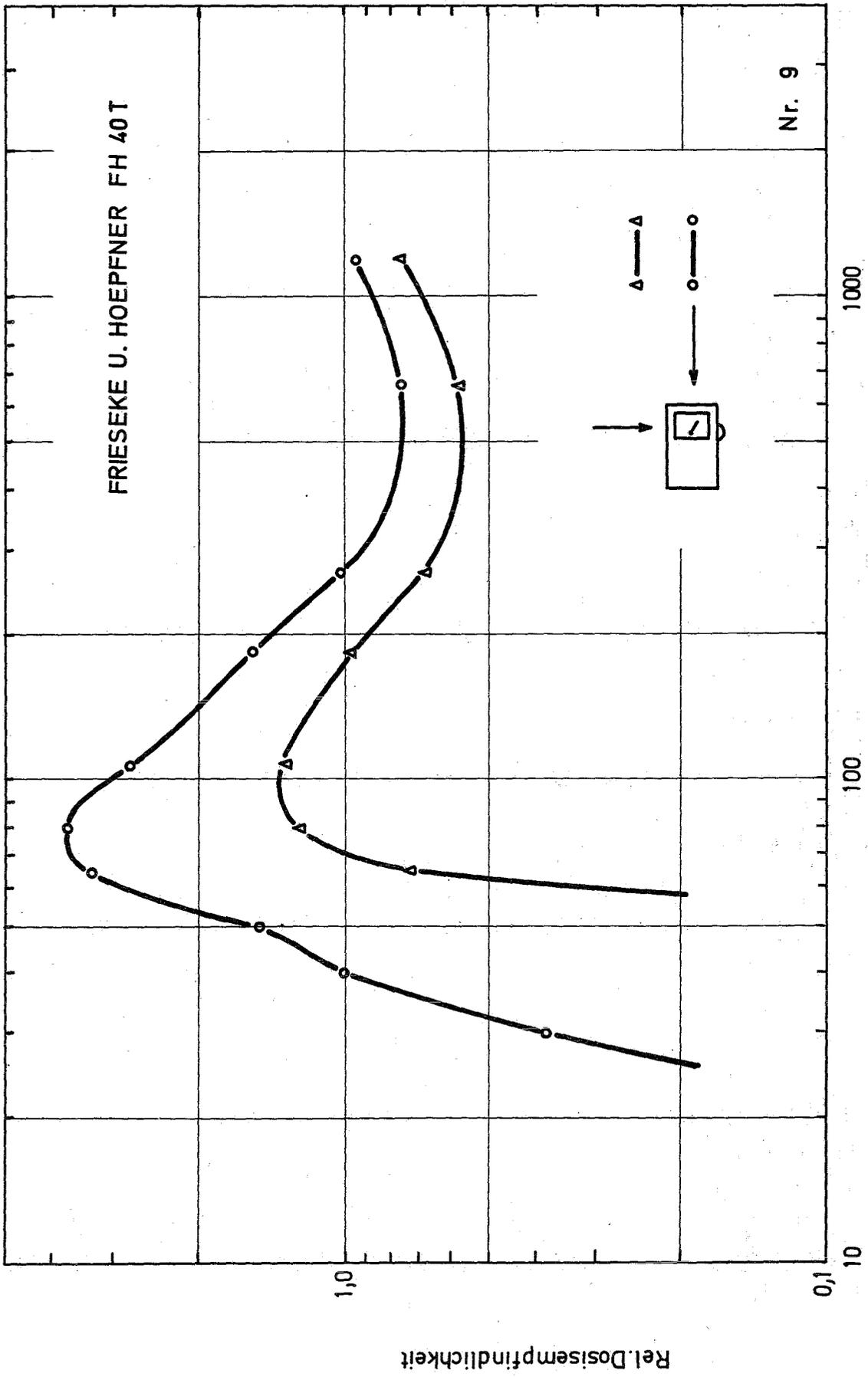
Rel. Dosisempfindlichkeit

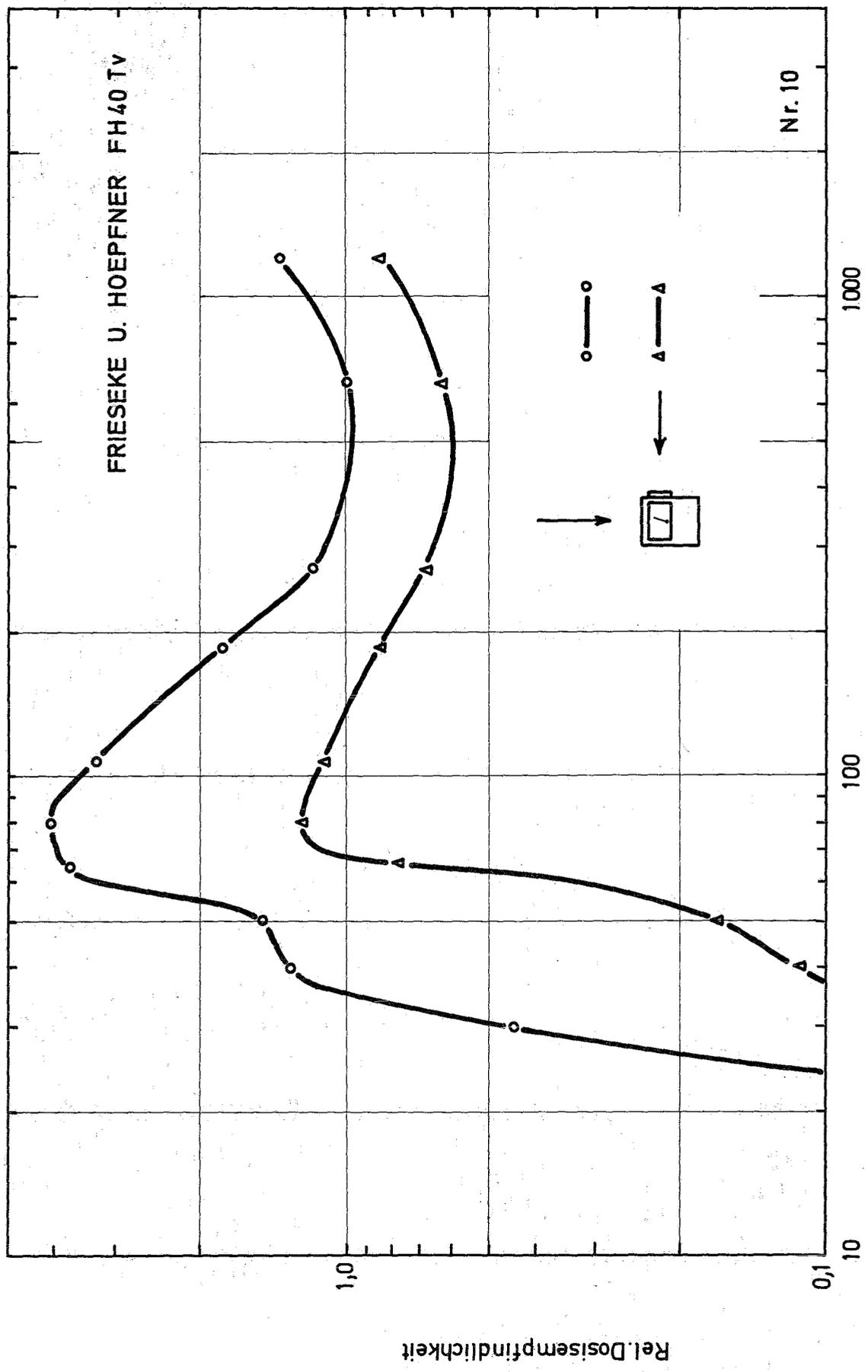


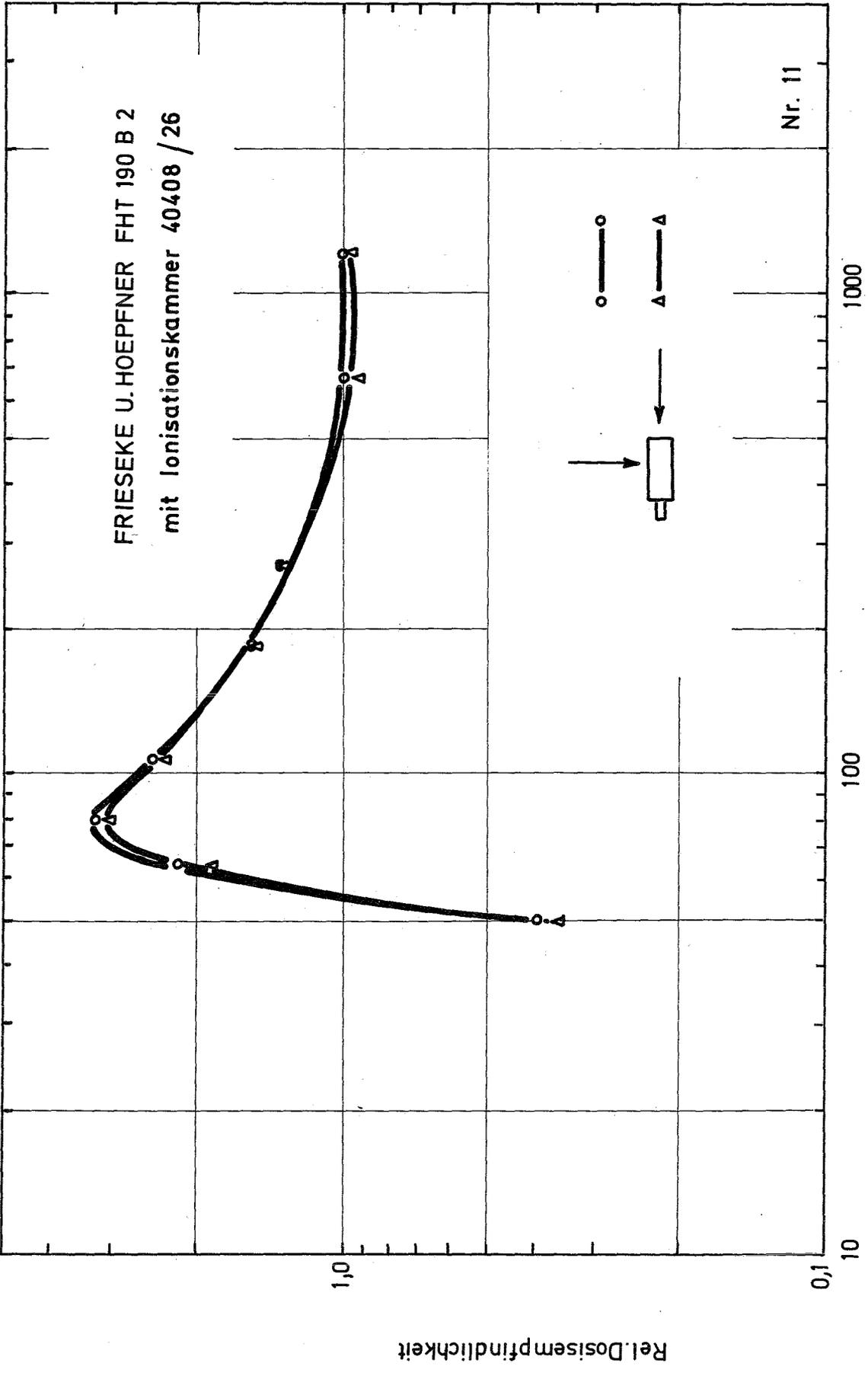
Quantenenergie in keV

FRIESEKE U. HOEPPNER FH 40 H

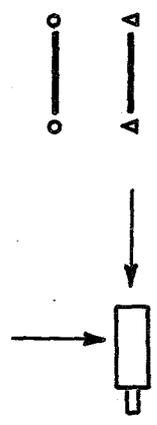






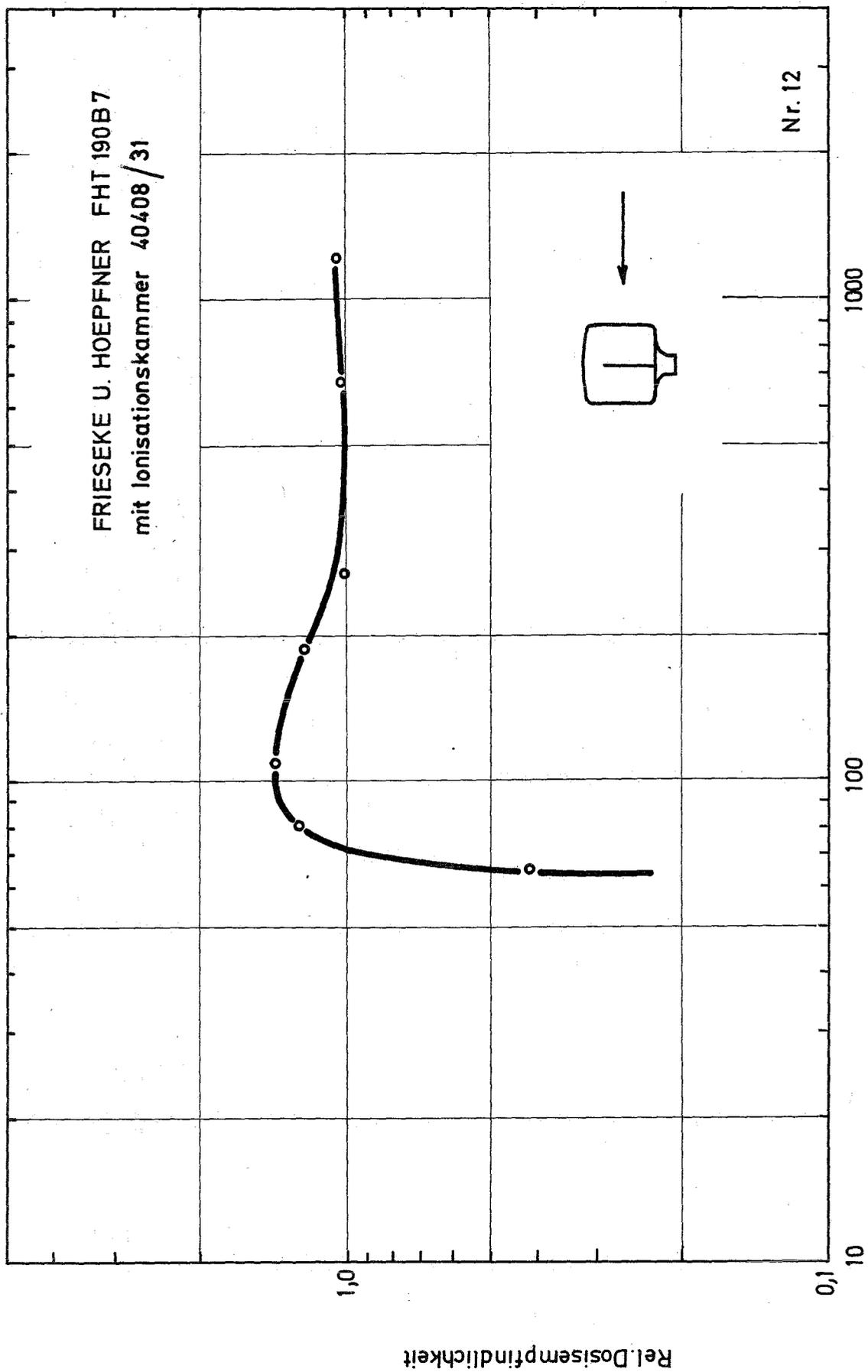


Quantenenergie in keV



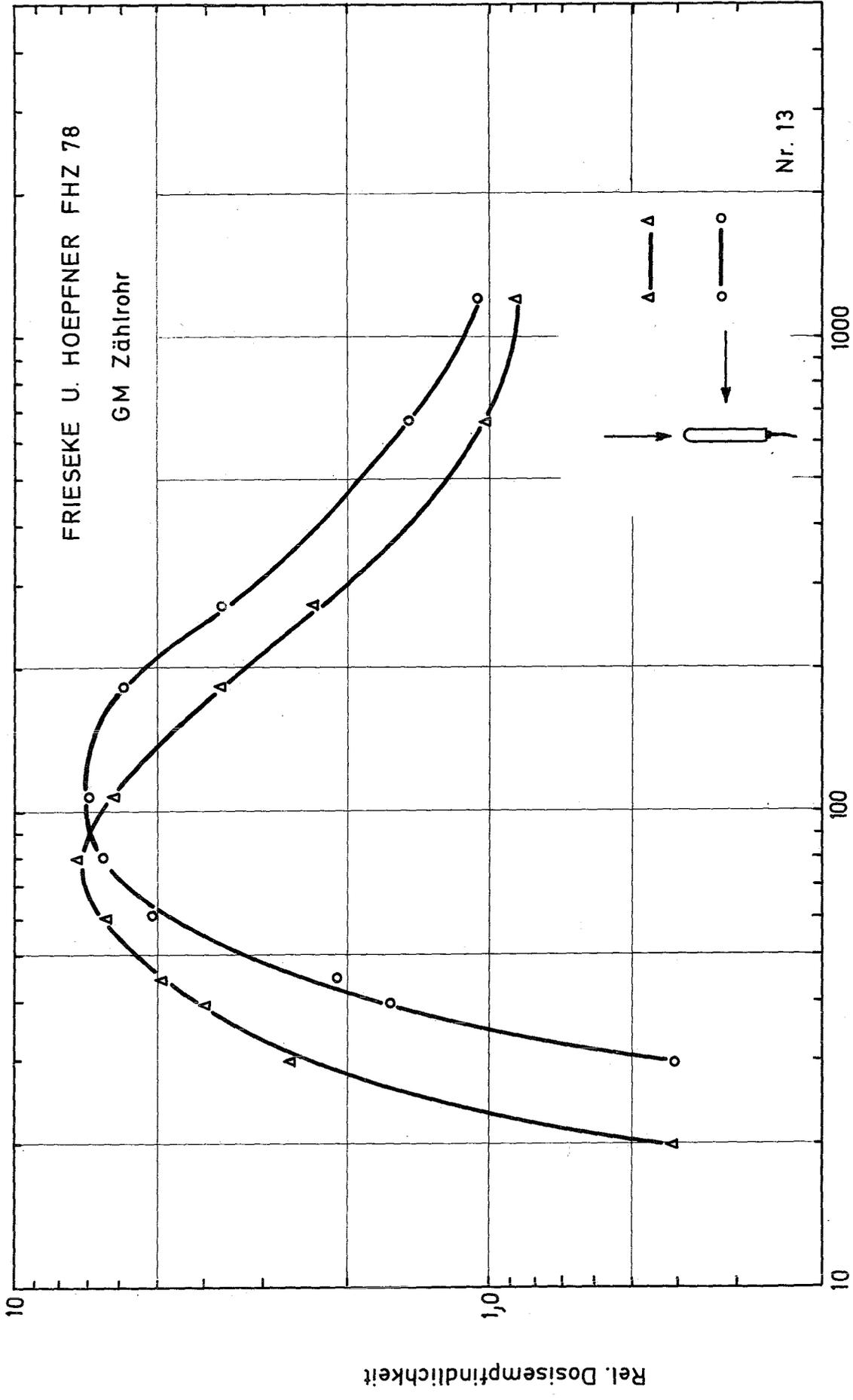
FRIESEKE U. HOEPFNER FHT 190B7  
mit Ionisationskammer 40408/31

Nr. 12

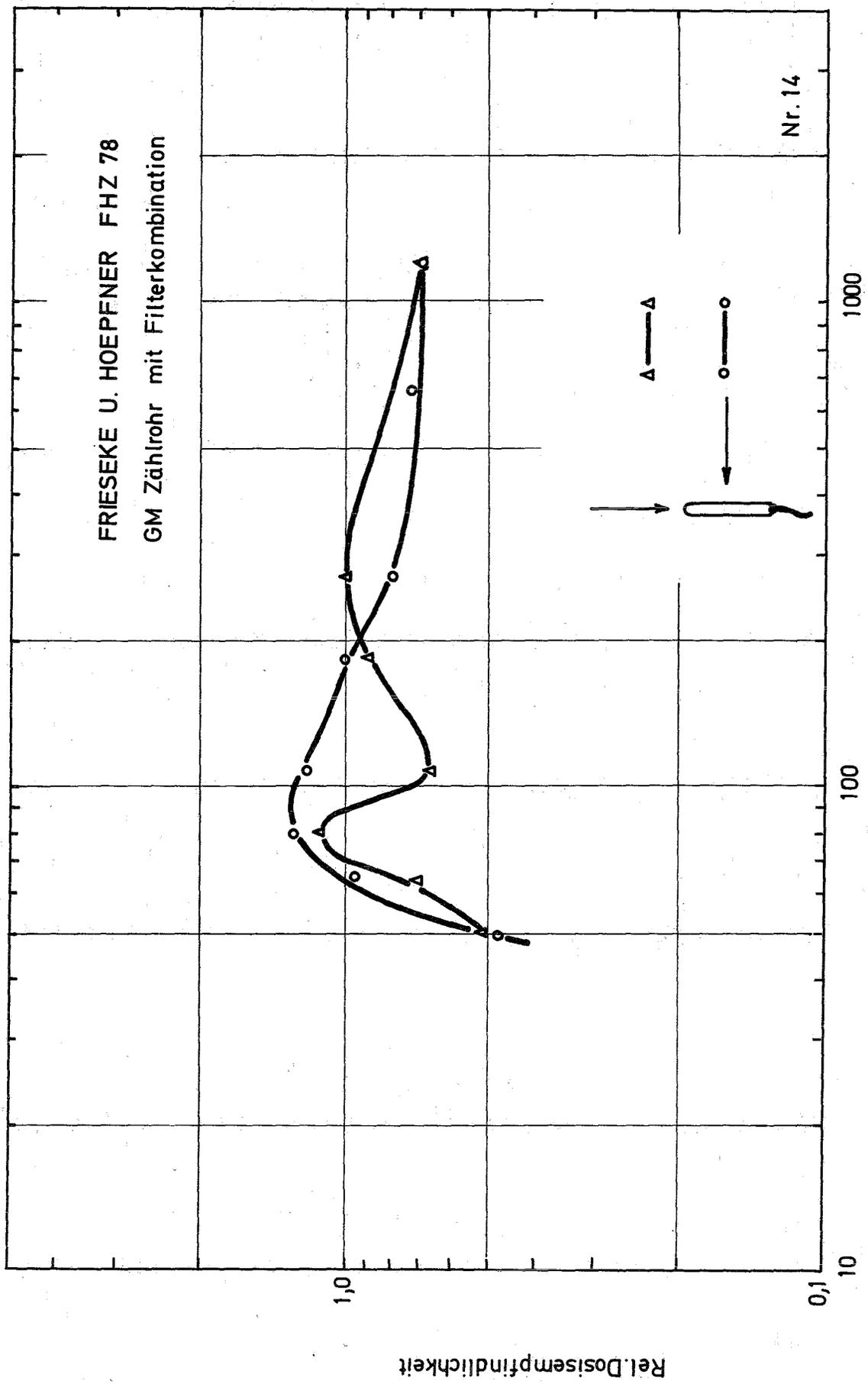


Quantenenergie in keV

Rel. Dosisempfindlichkeit



FRIESEKE U. HOEPFNER FHZ 78  
GM Zählrohr mit Filterkombination

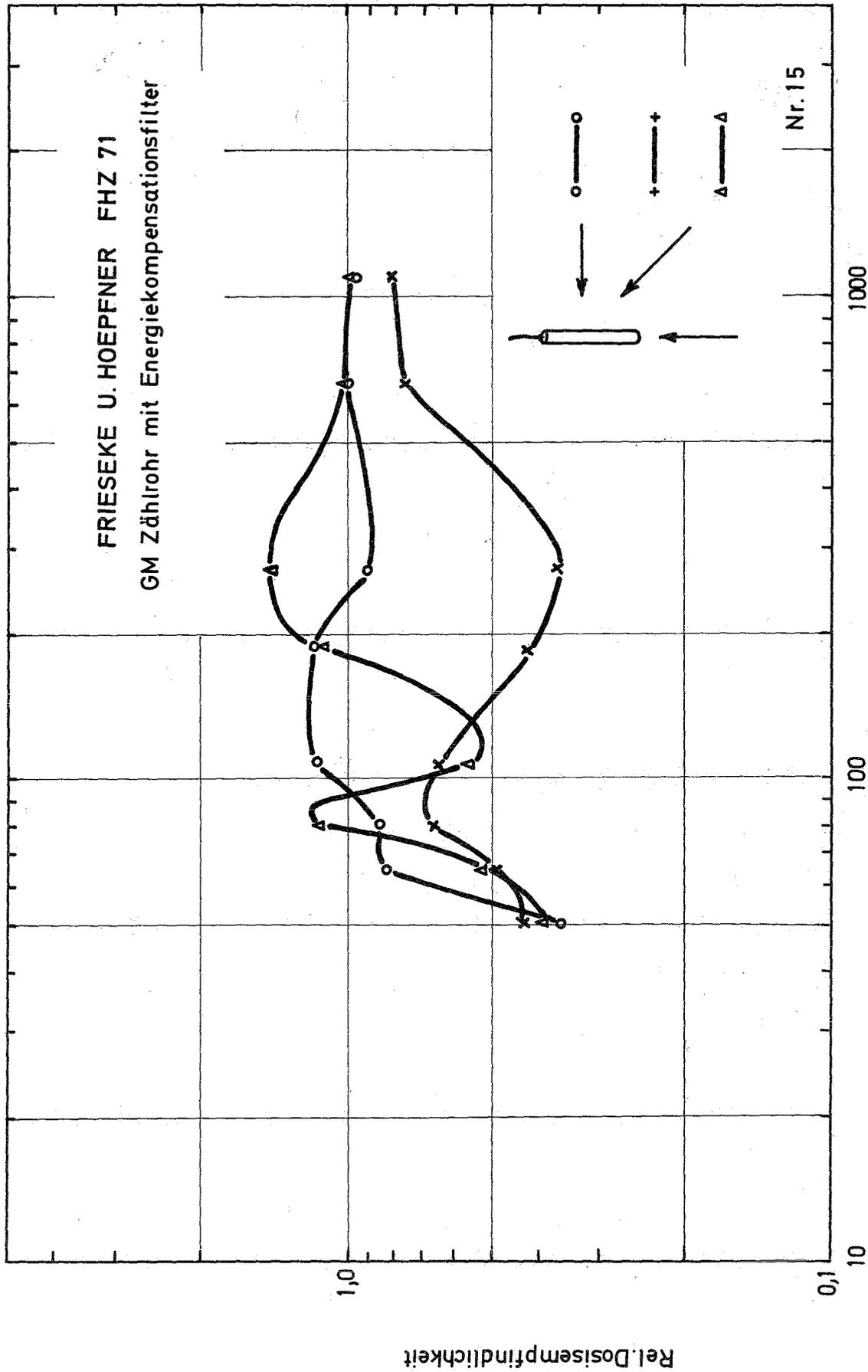


Nr. 14

Quantenenergie in keV

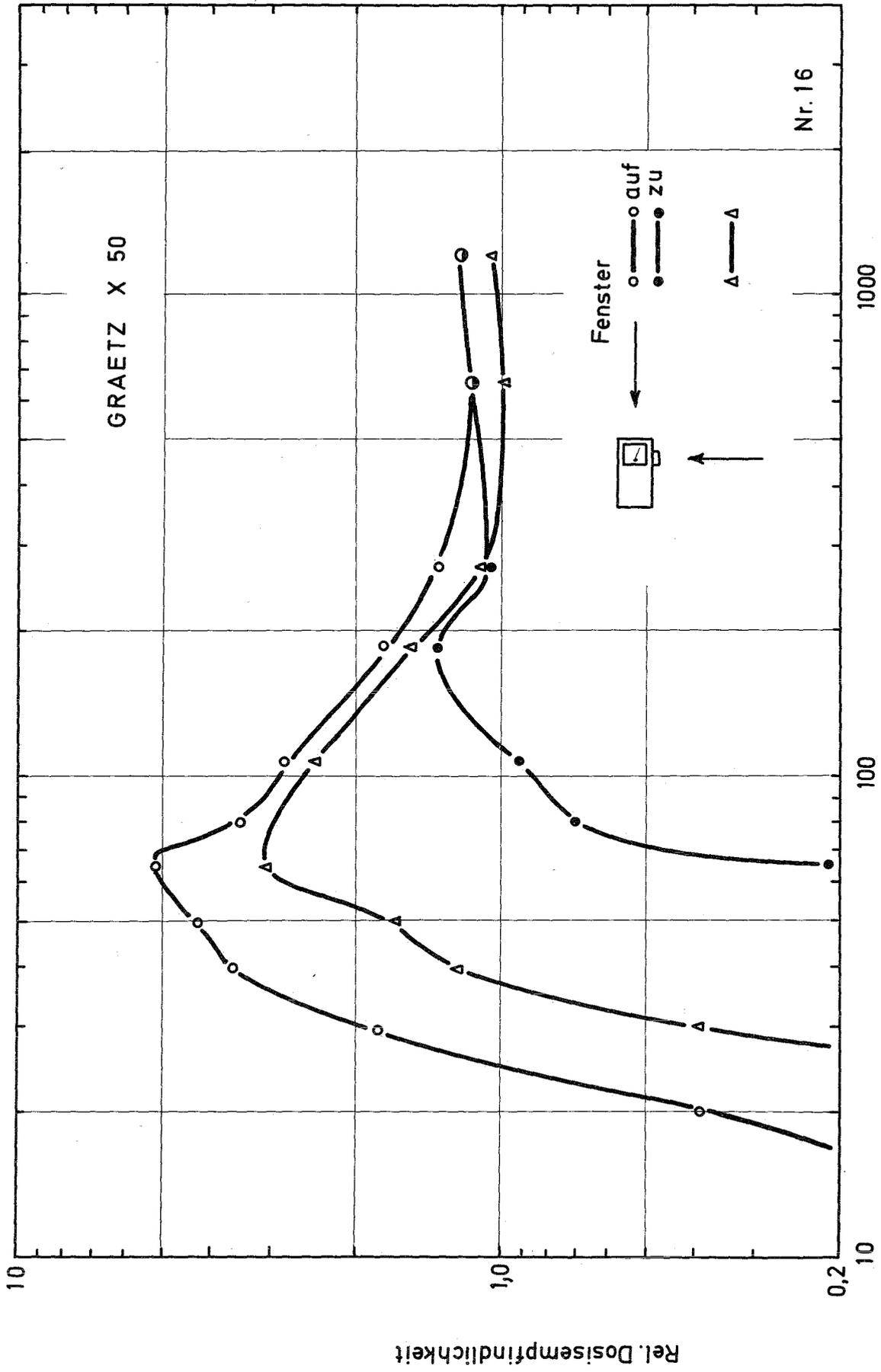
FRIESEKE U. HOEPFNER FHZ 71

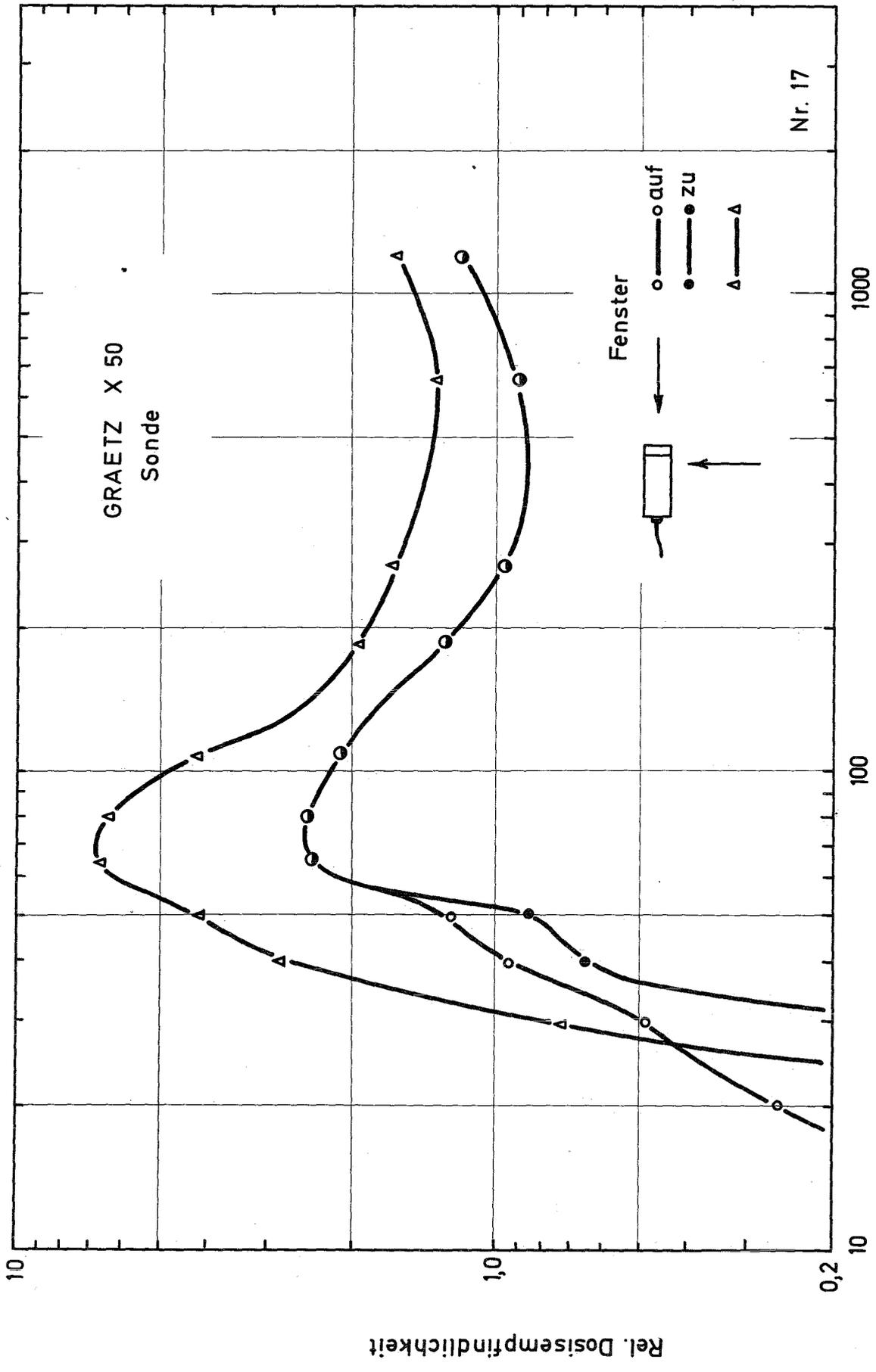
GM Zählrohr mit Energiekompensationsfilter



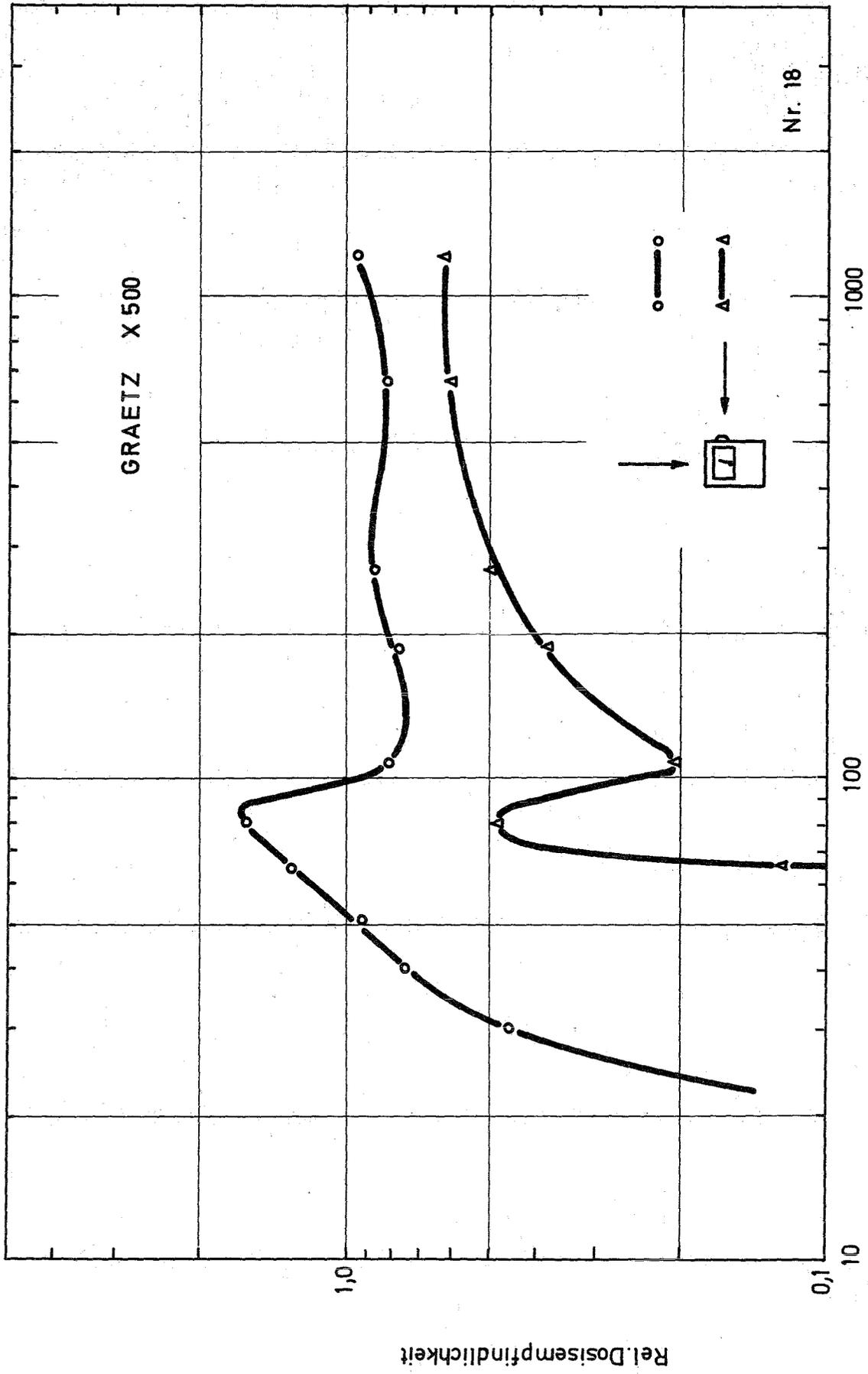
Nr. 15

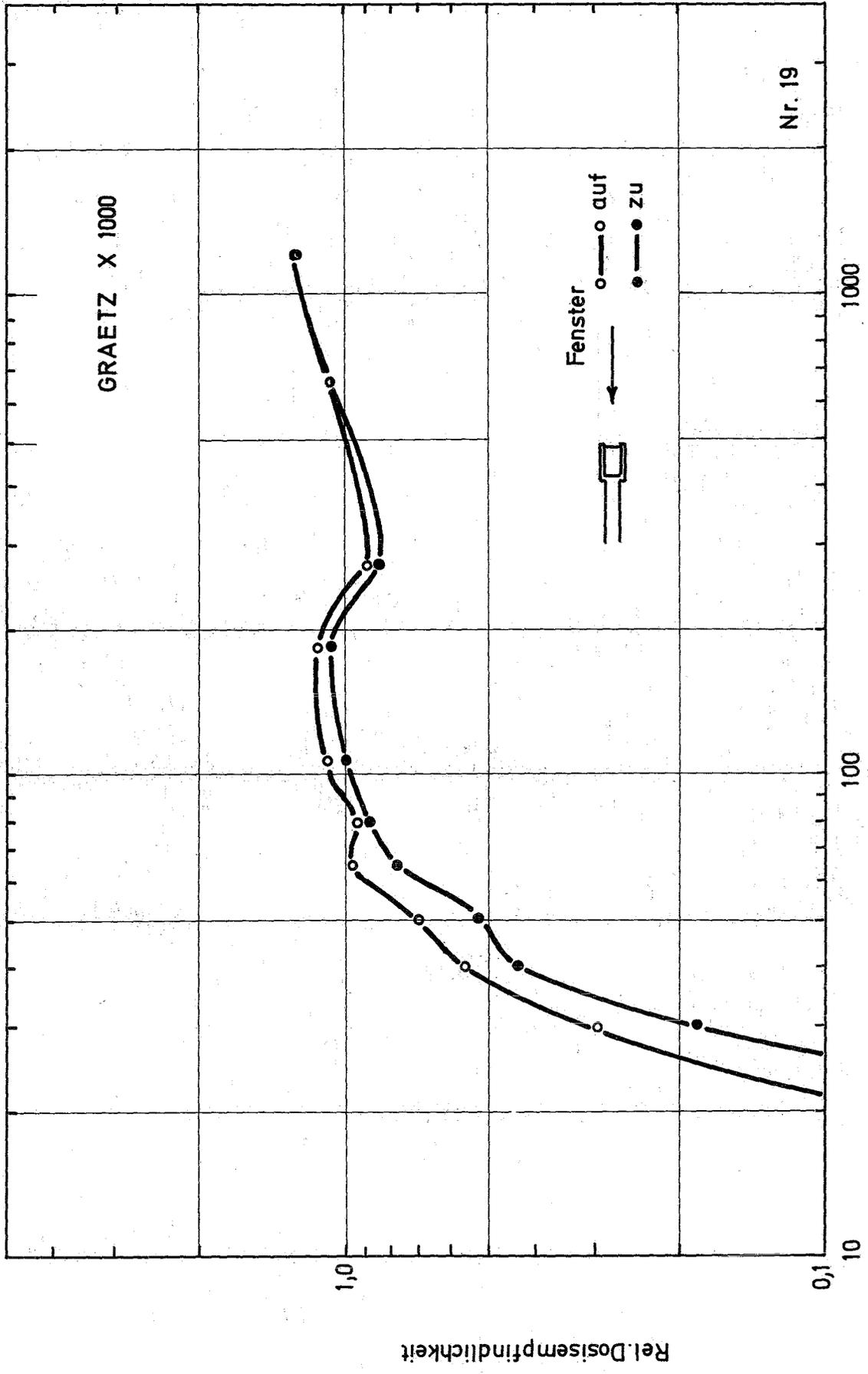
Quantenenergie in keV





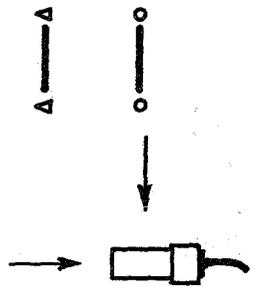
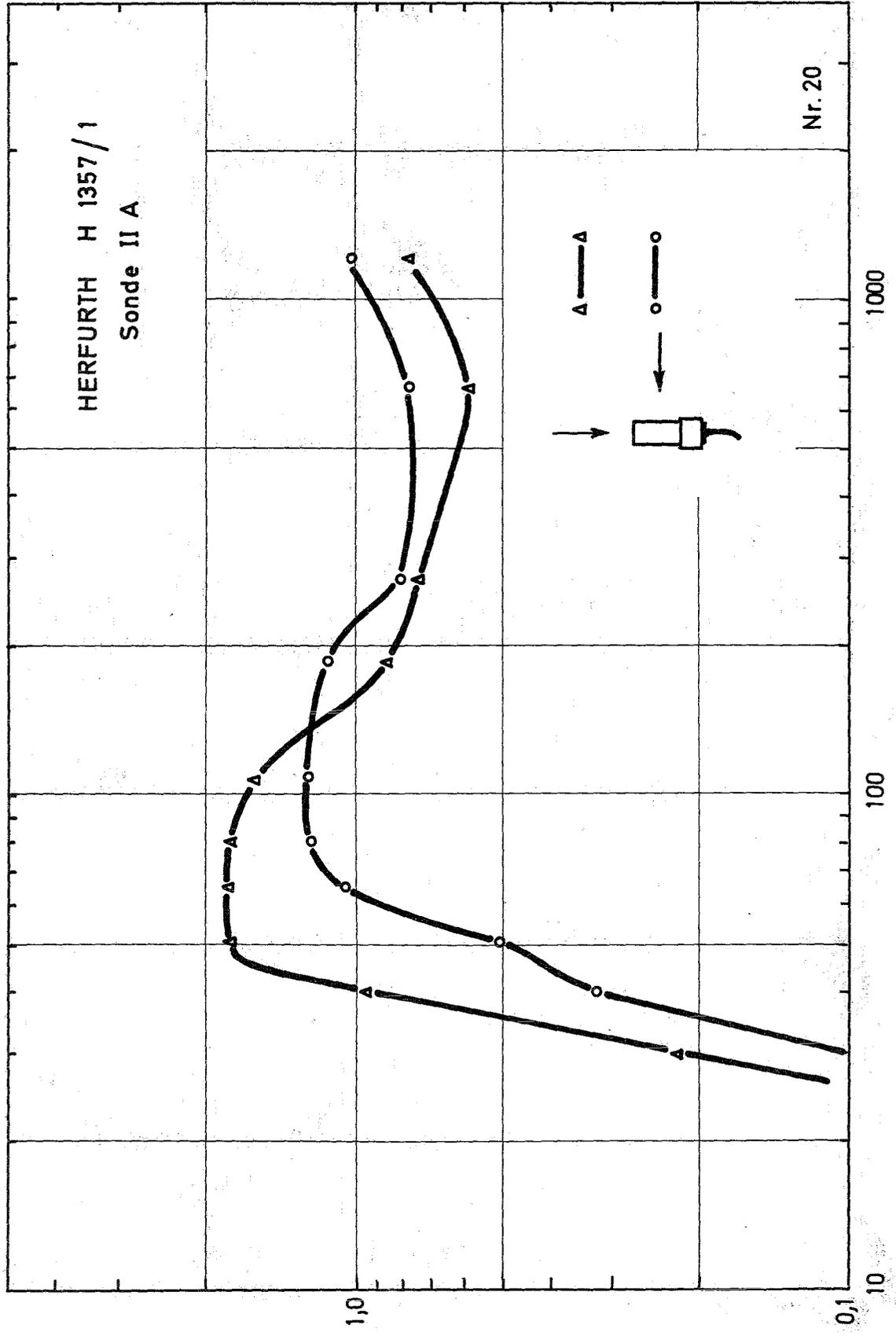
Quantenenergie in keV



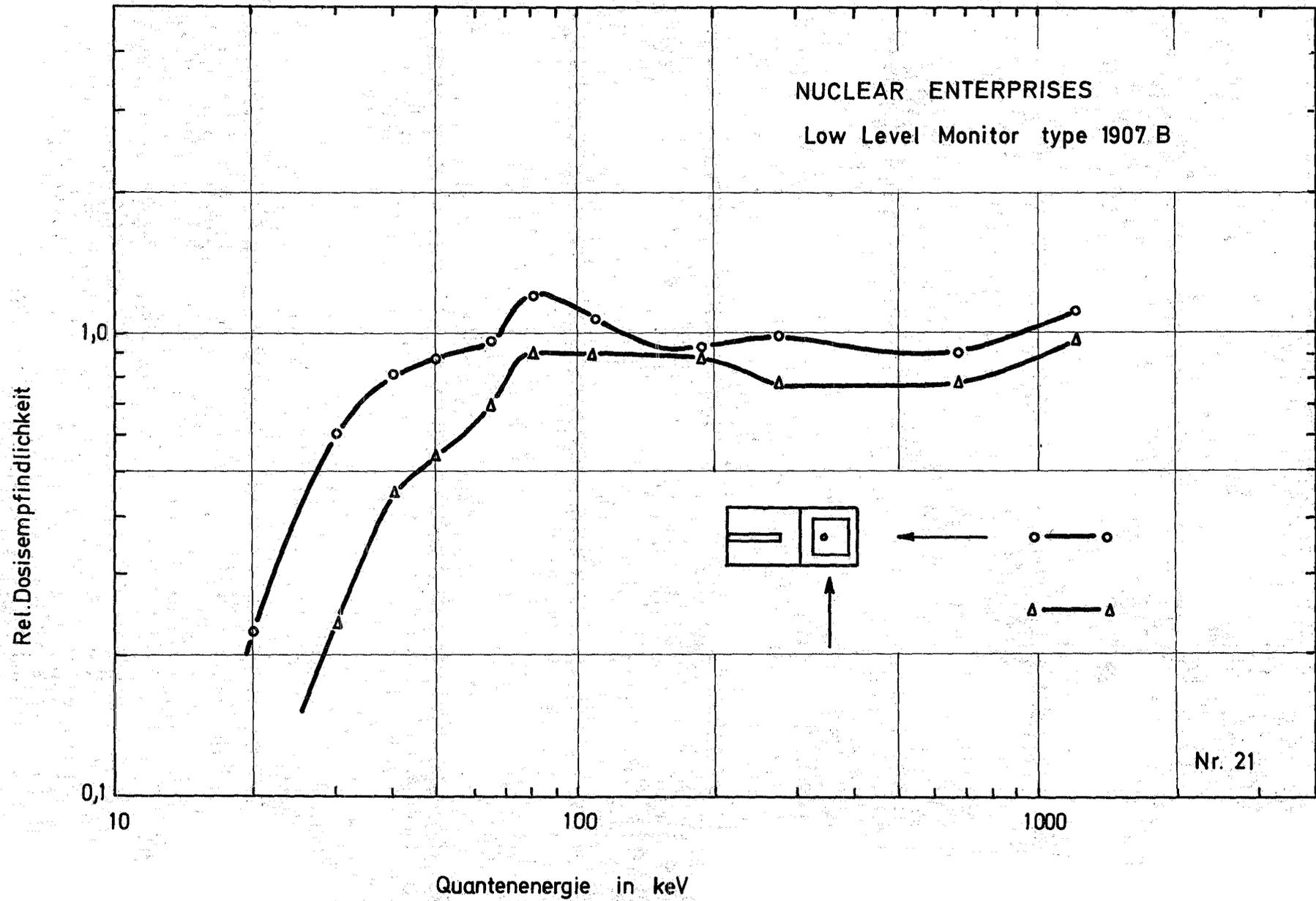


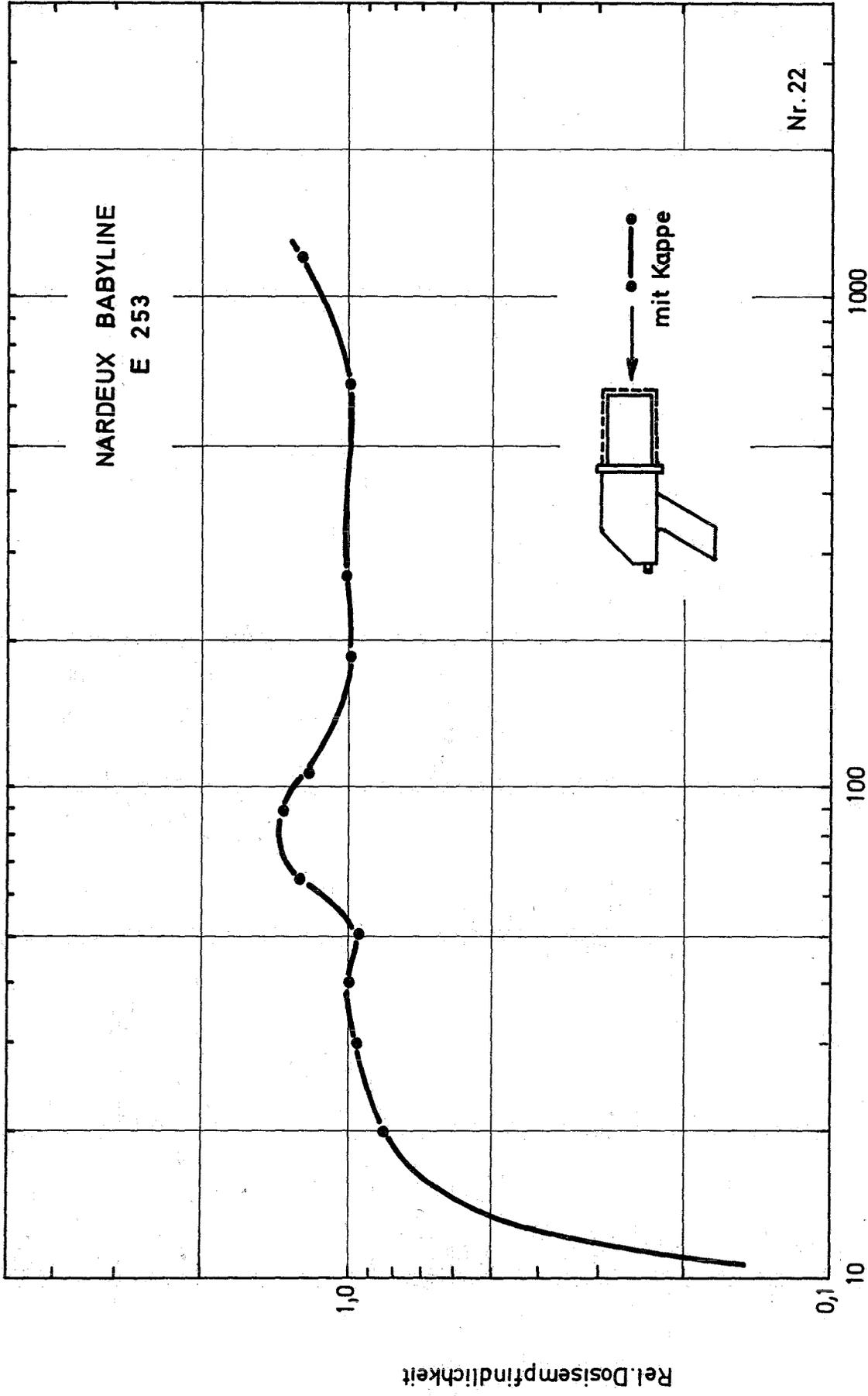
HERFURTH H 1357 / 1  
Sonde II A

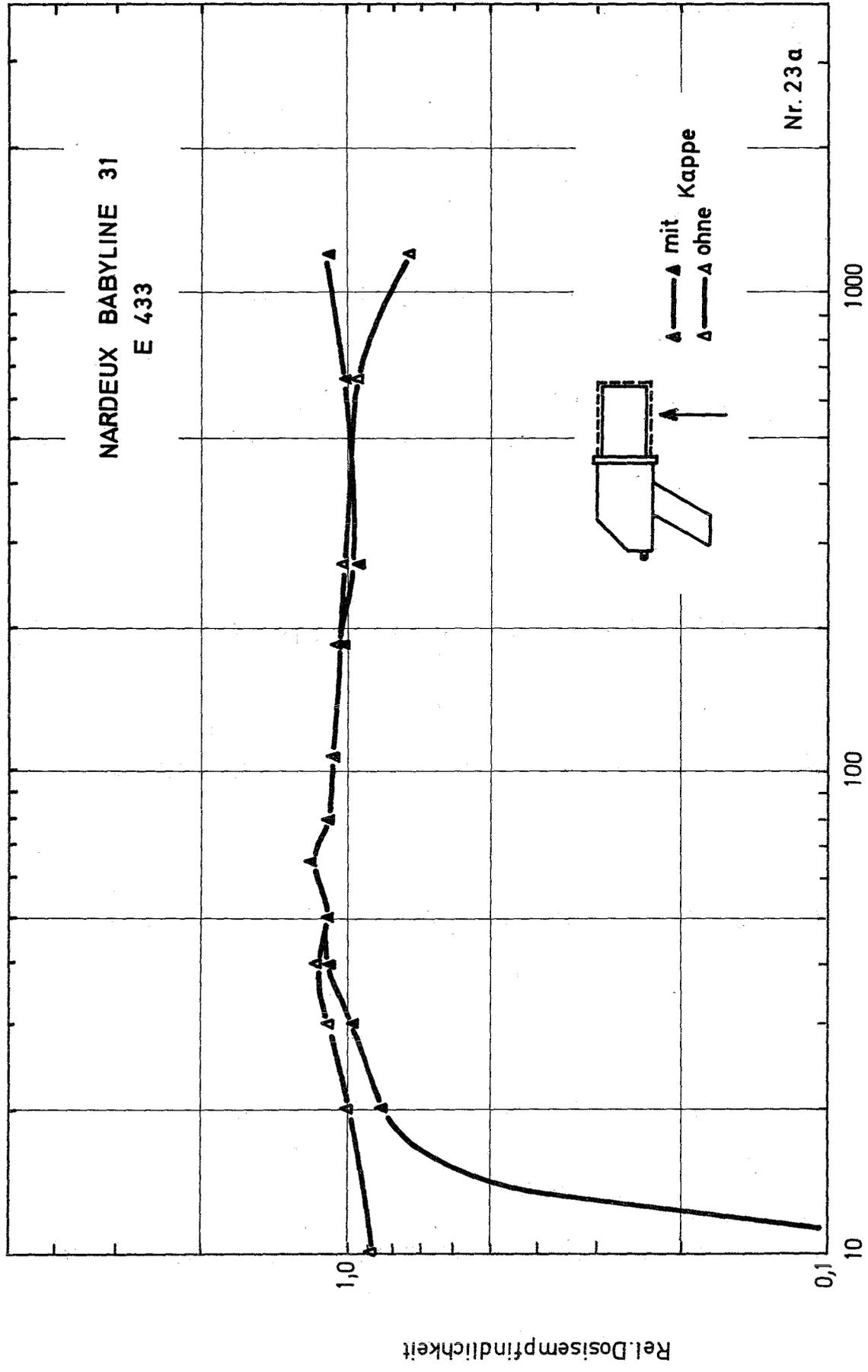
Nr. 20

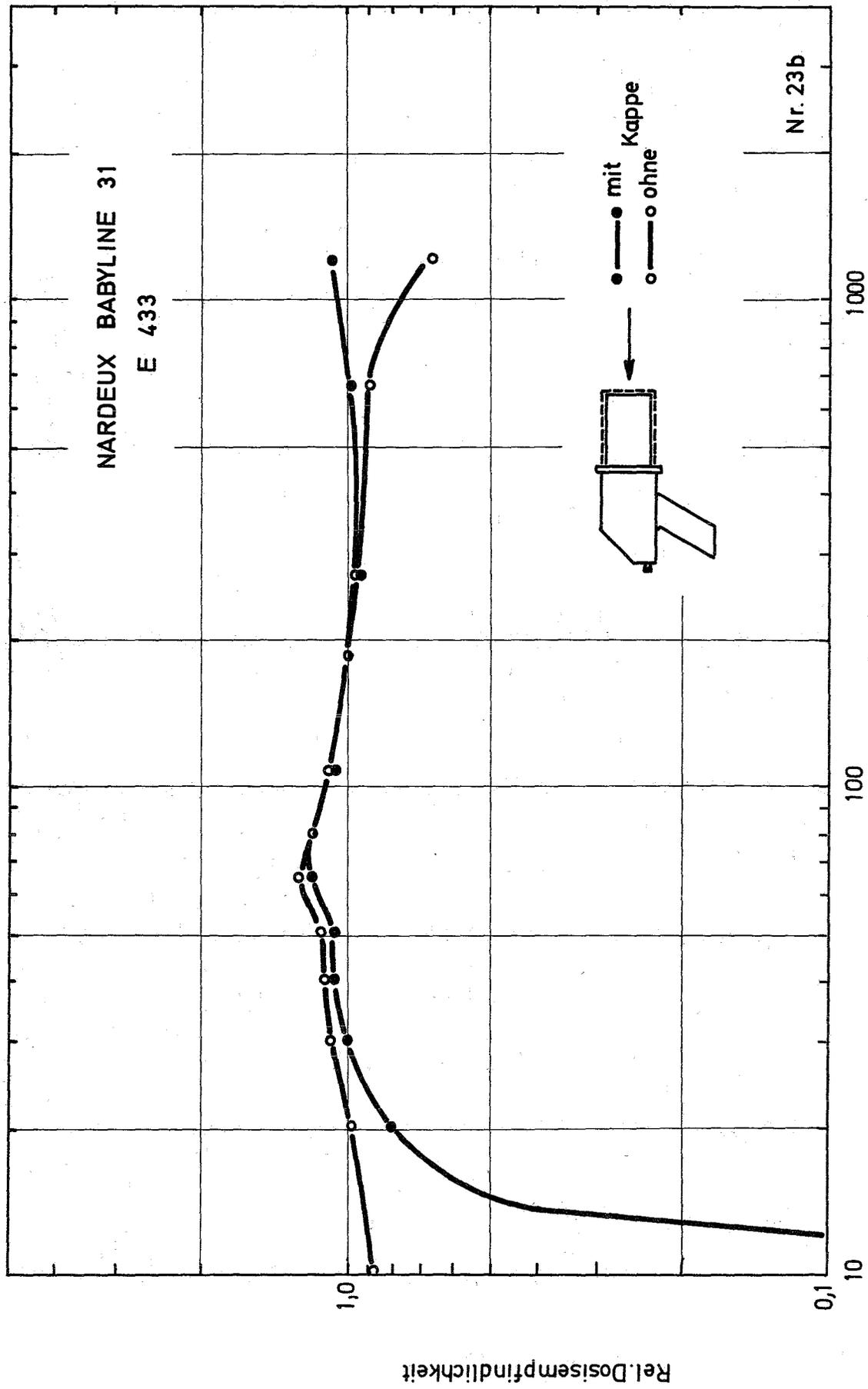


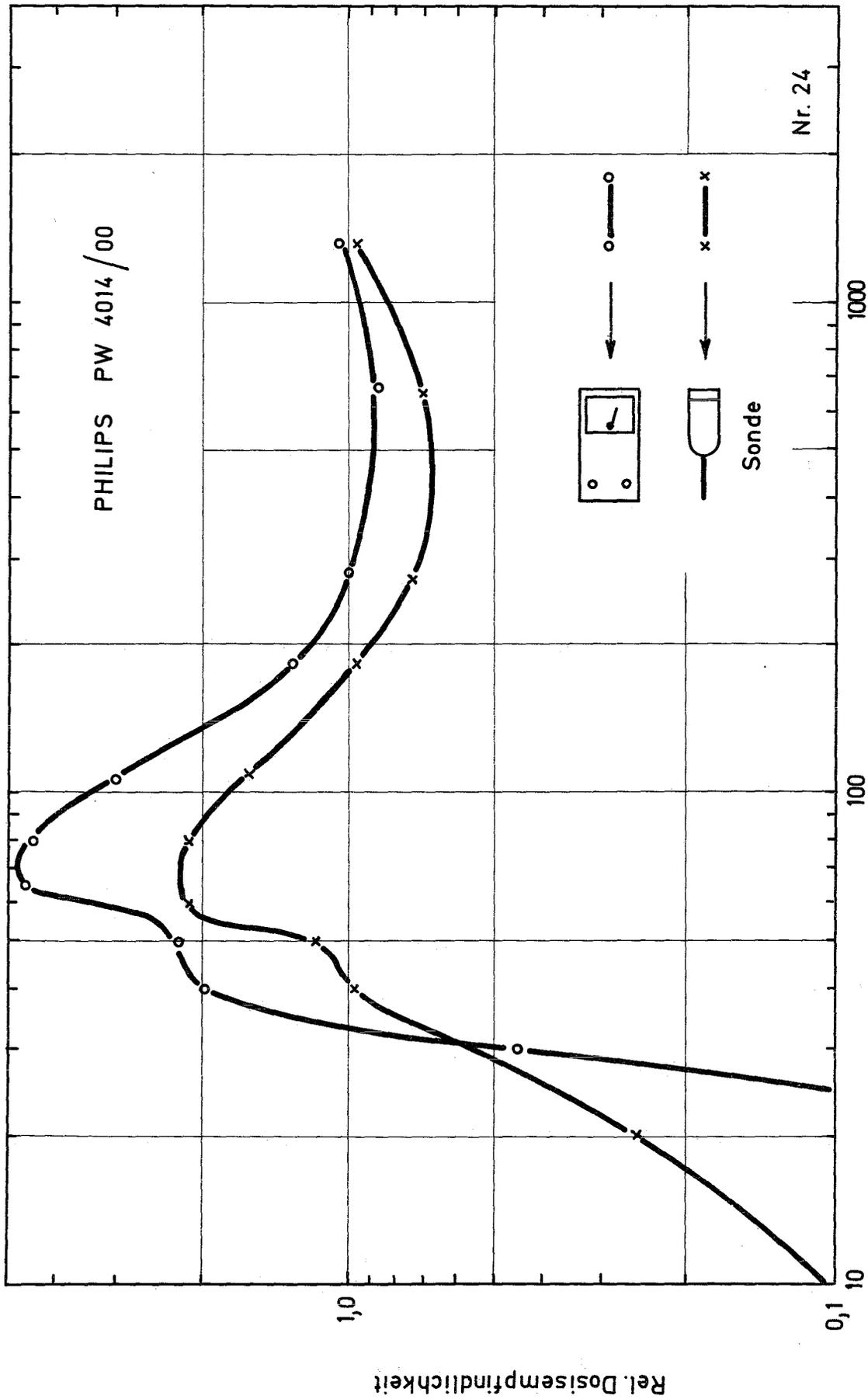
NUCLEAR ENTERPRISES  
Low Level Monitor type 1907 B











PYCHLAU SIMPLEX DOSIMETER  
Streustrahlenkammer. Typ 2114.

Rel. Dosisempfindlichkeit

1,0

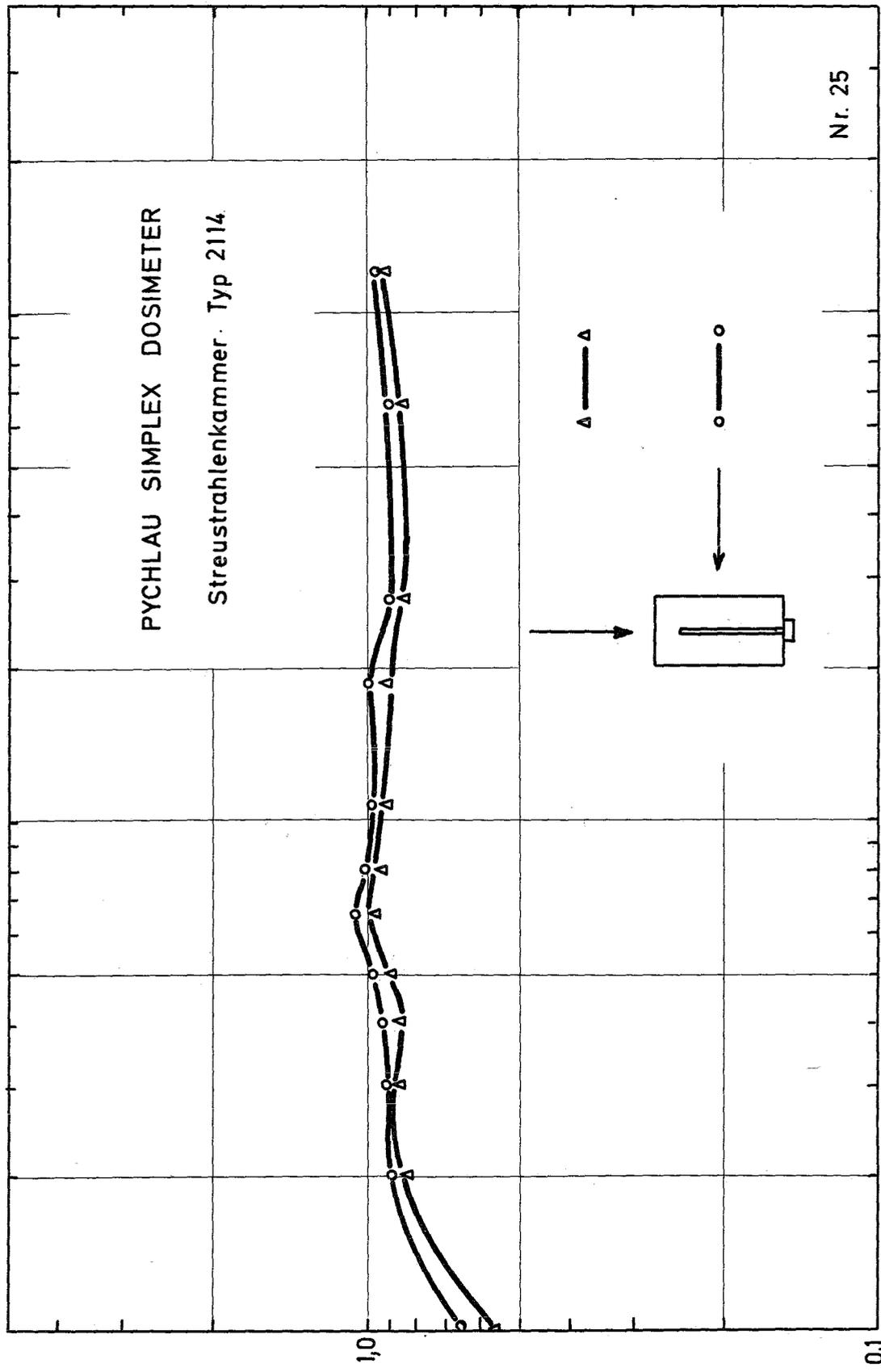
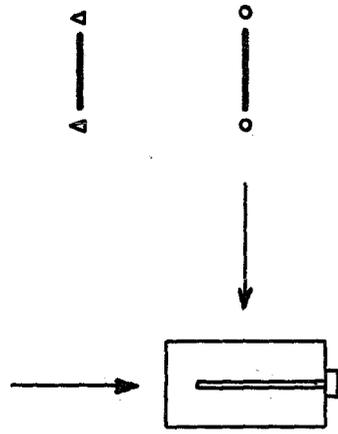
0,1

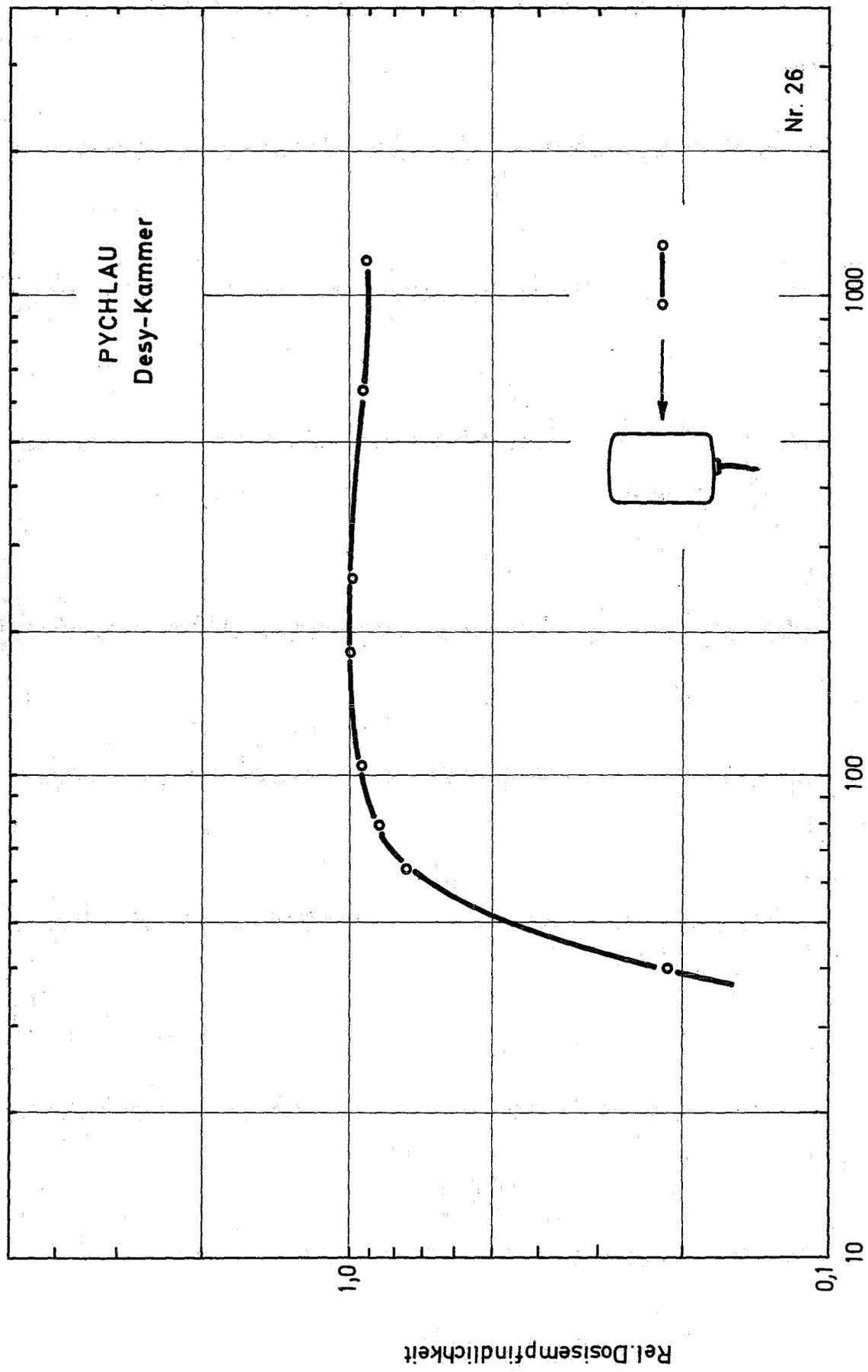
1000

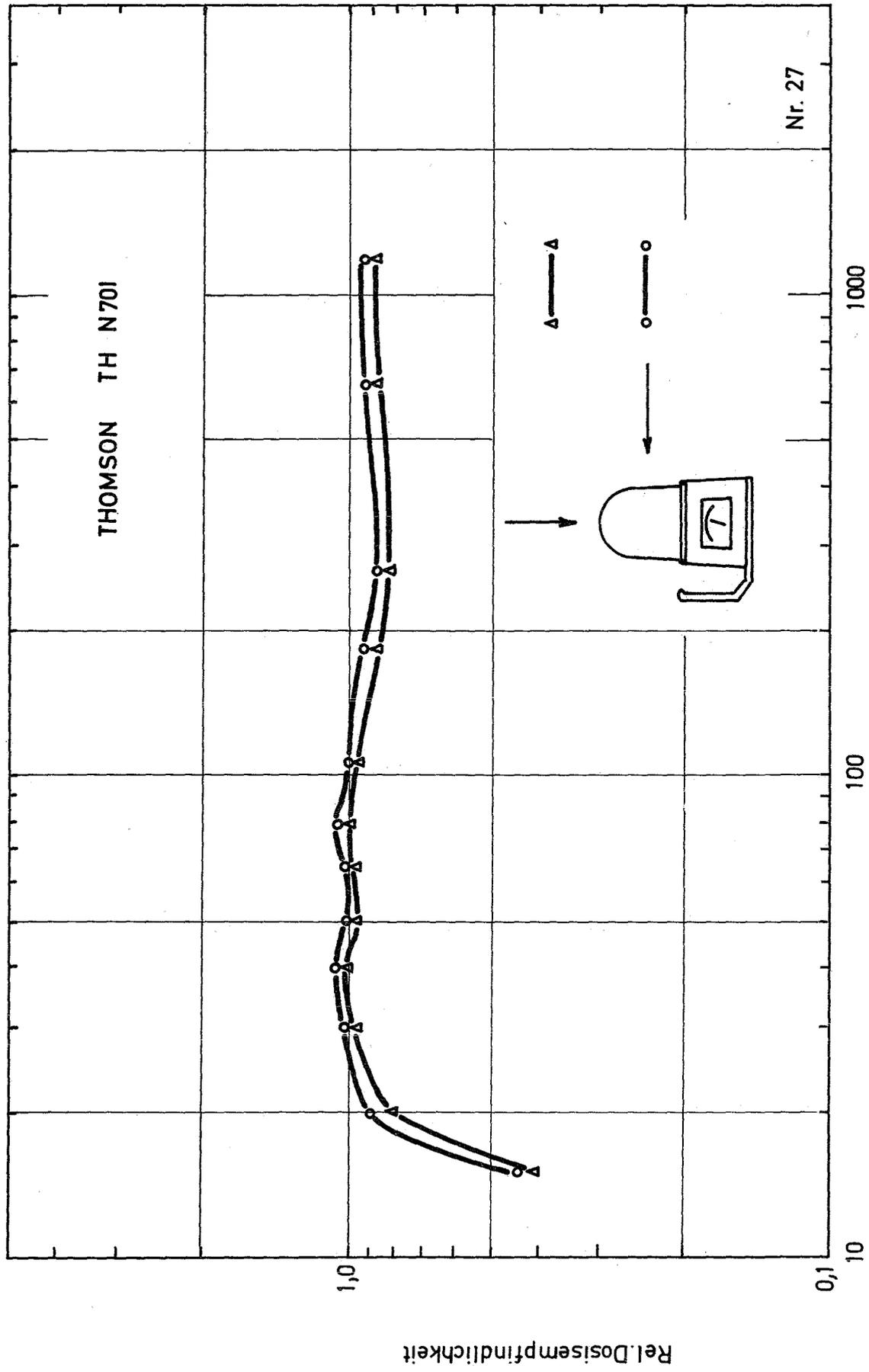
100

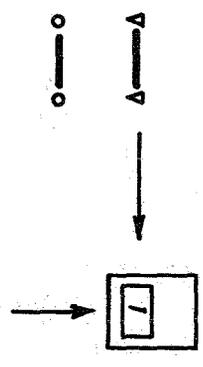
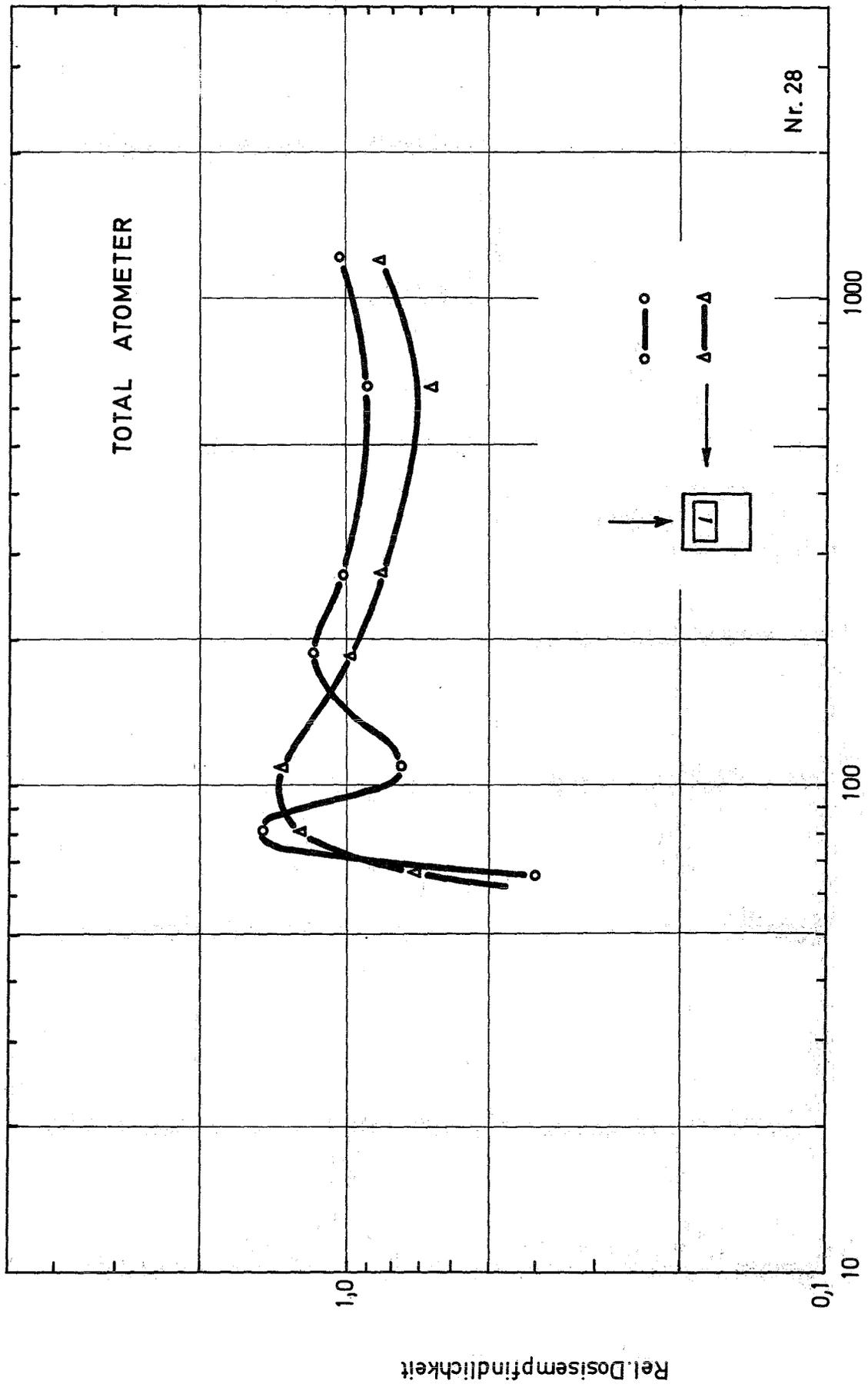
Quantenenergie in keV

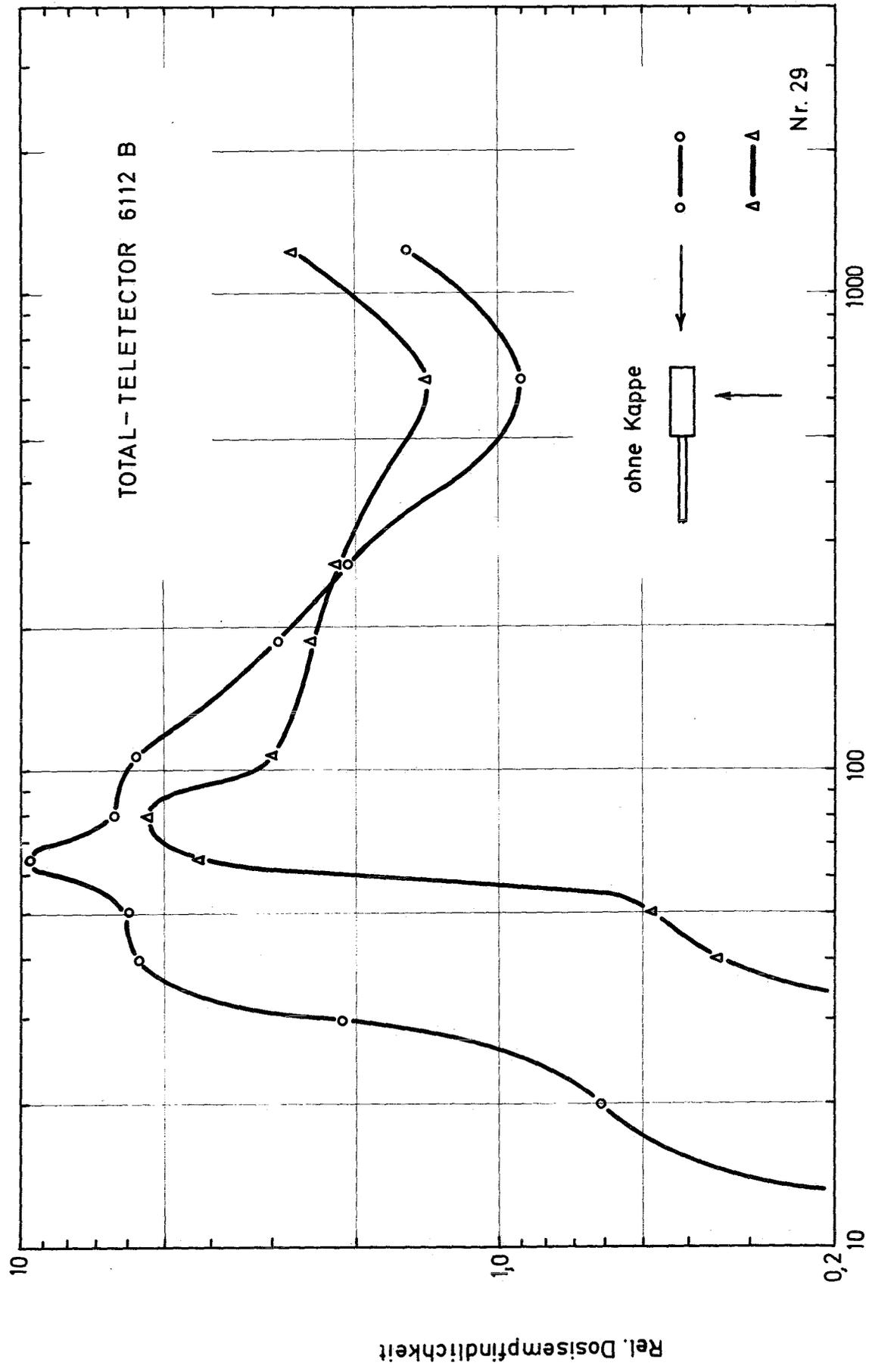
Nr. 25

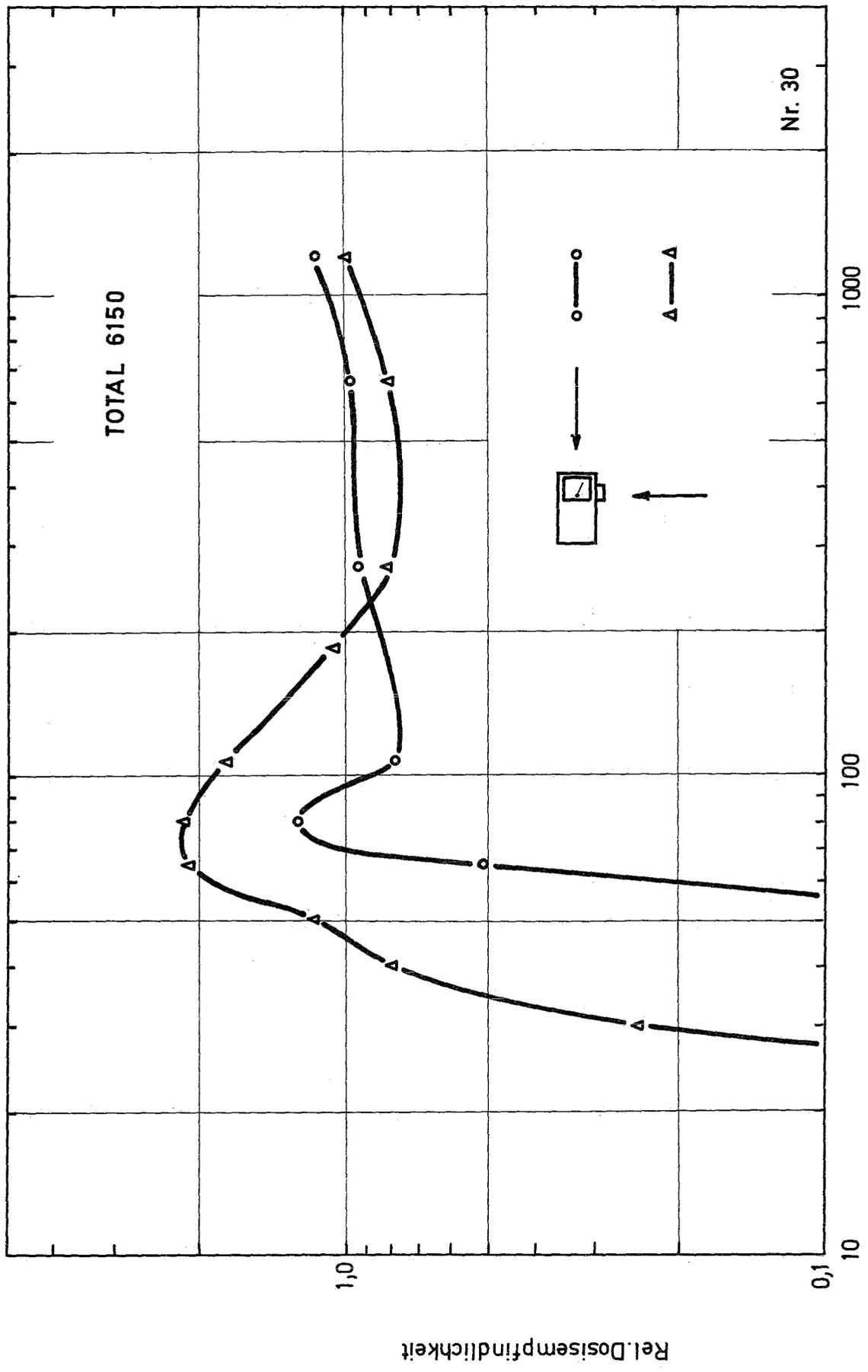




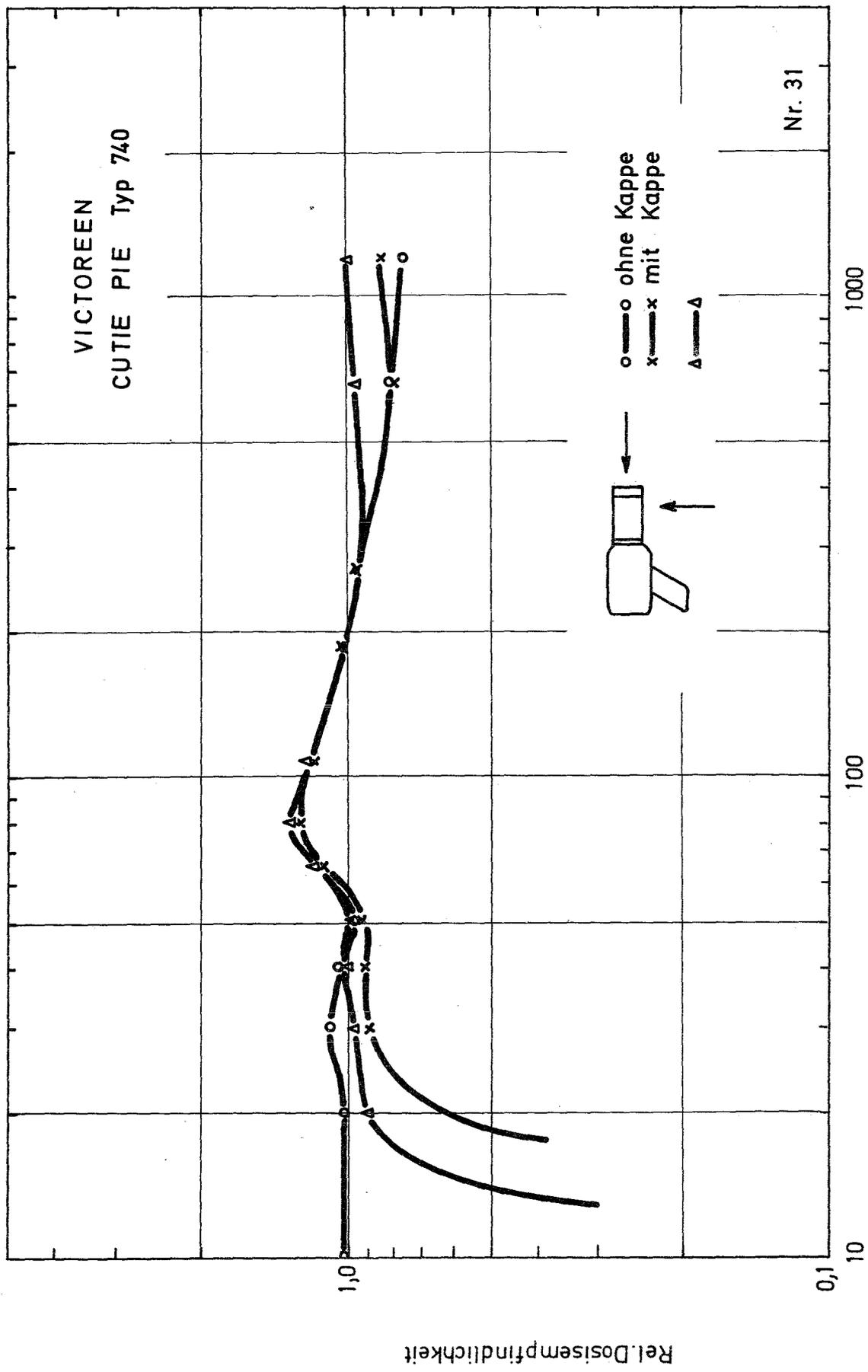






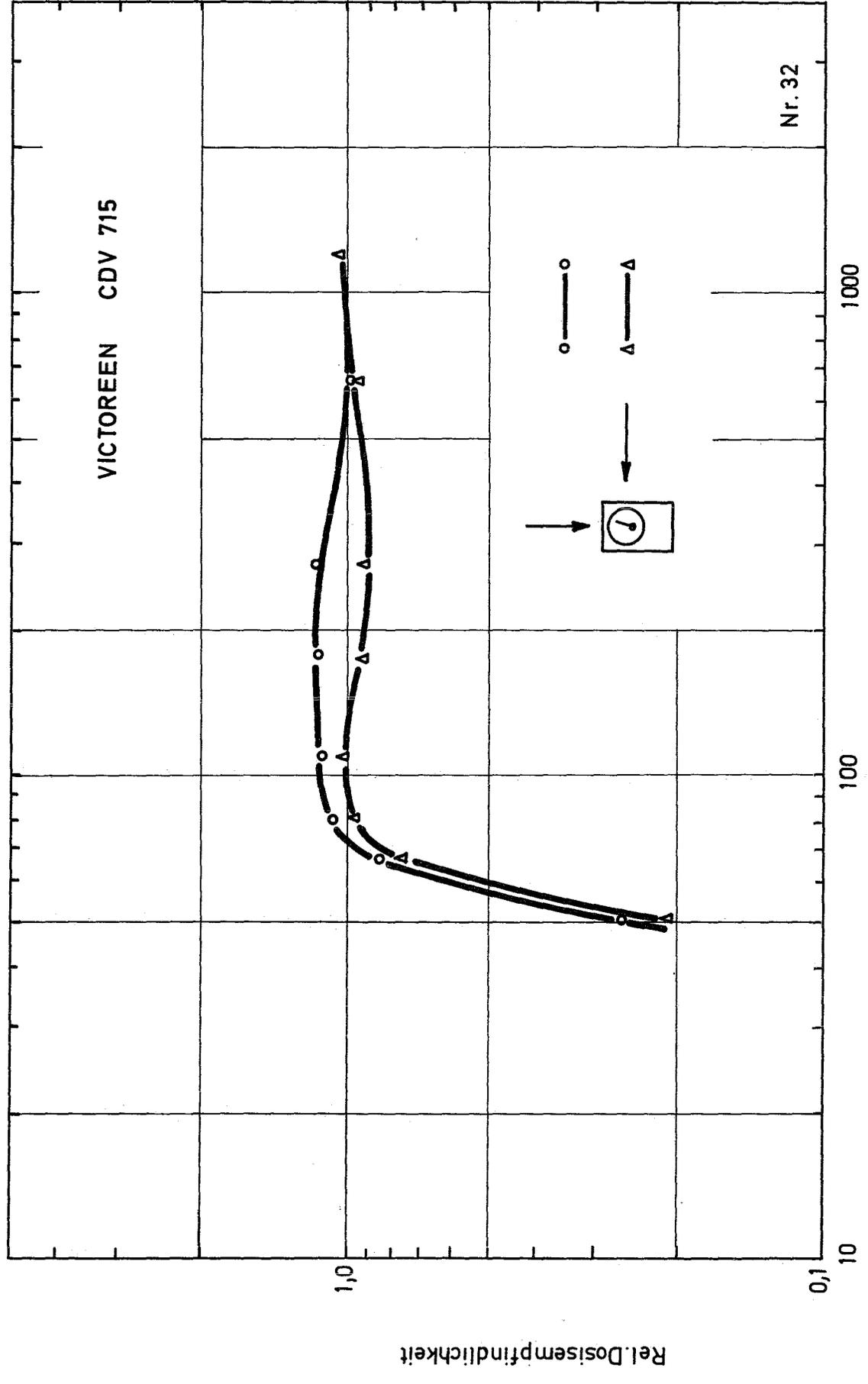


VICTOREEN  
CUTIE PIE Typ 740



VICTOREEN CDV 715

Nr. 32

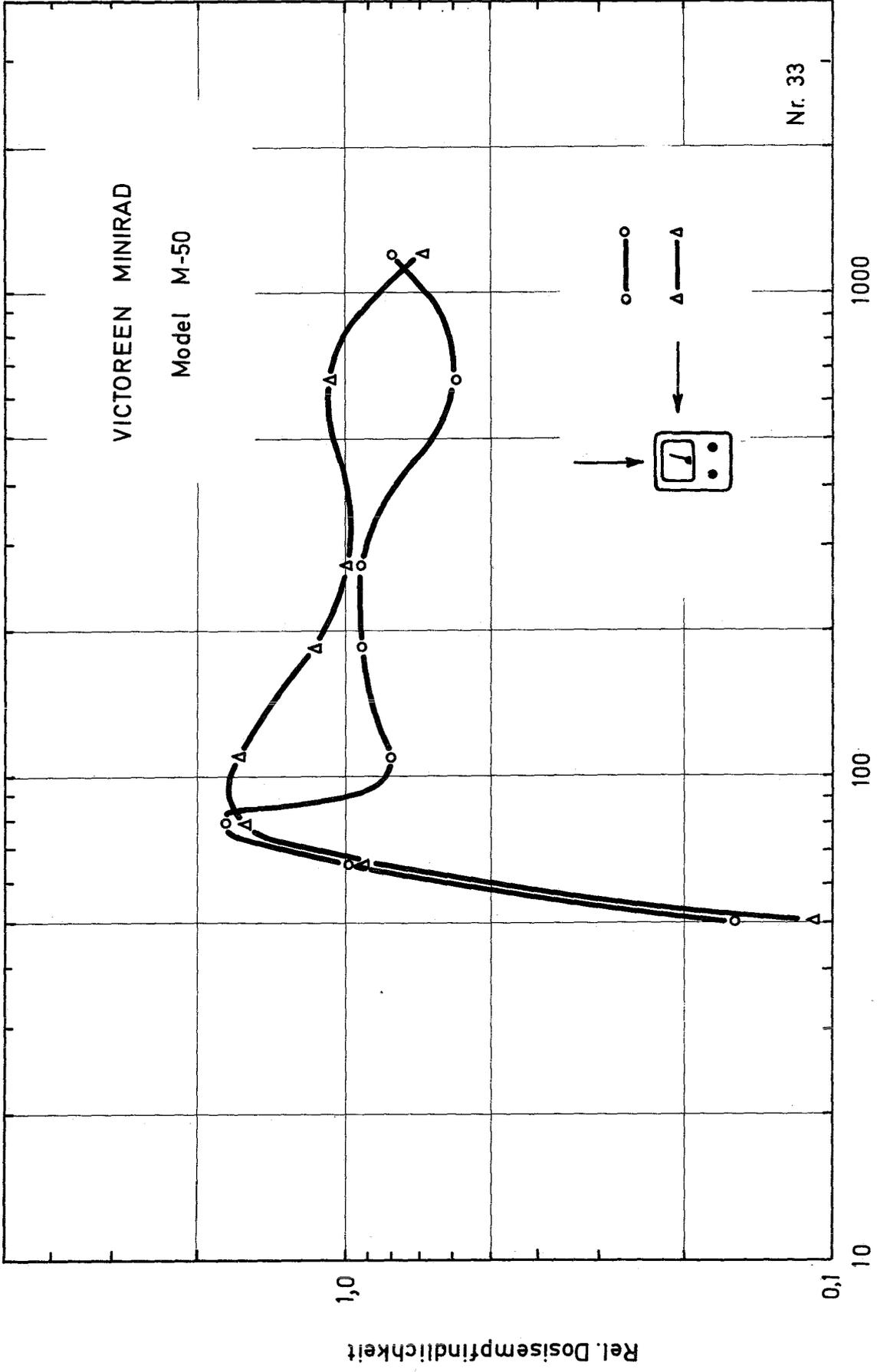


Quantenenergie in keV

Rel. Dosisempfindlichkeit

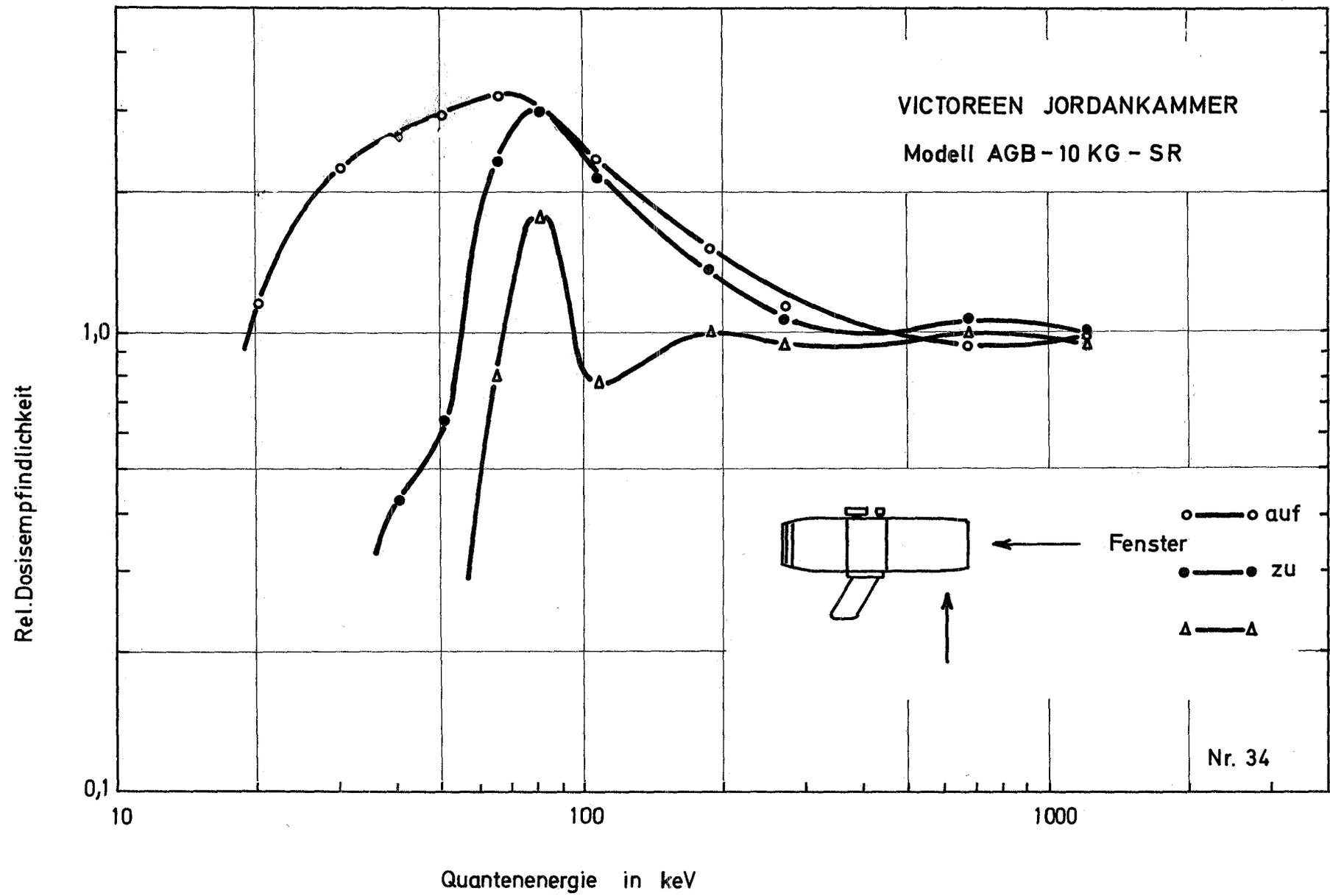
VICTOREEN MINIRAD

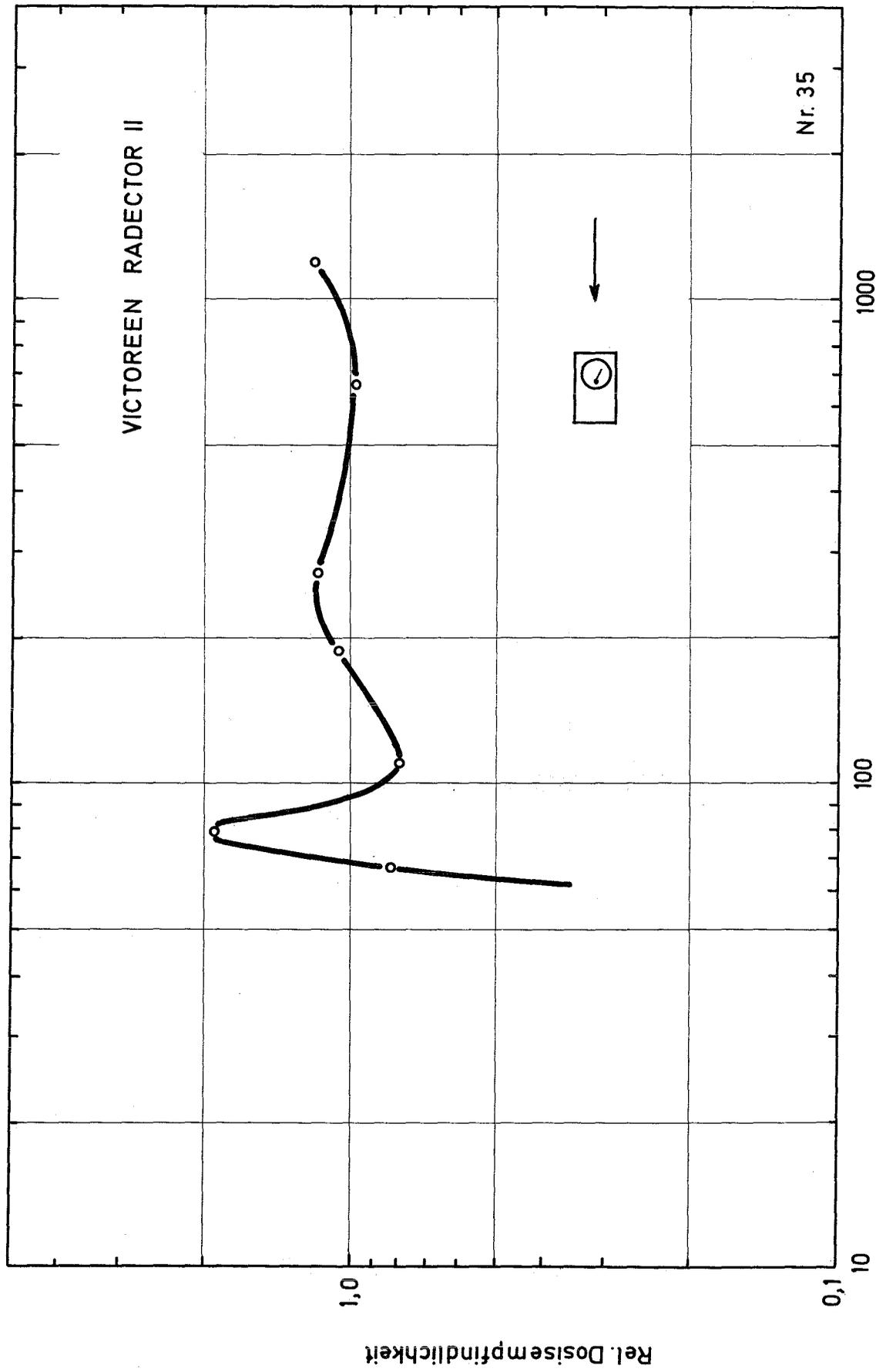
Model M-50



Nr. 33

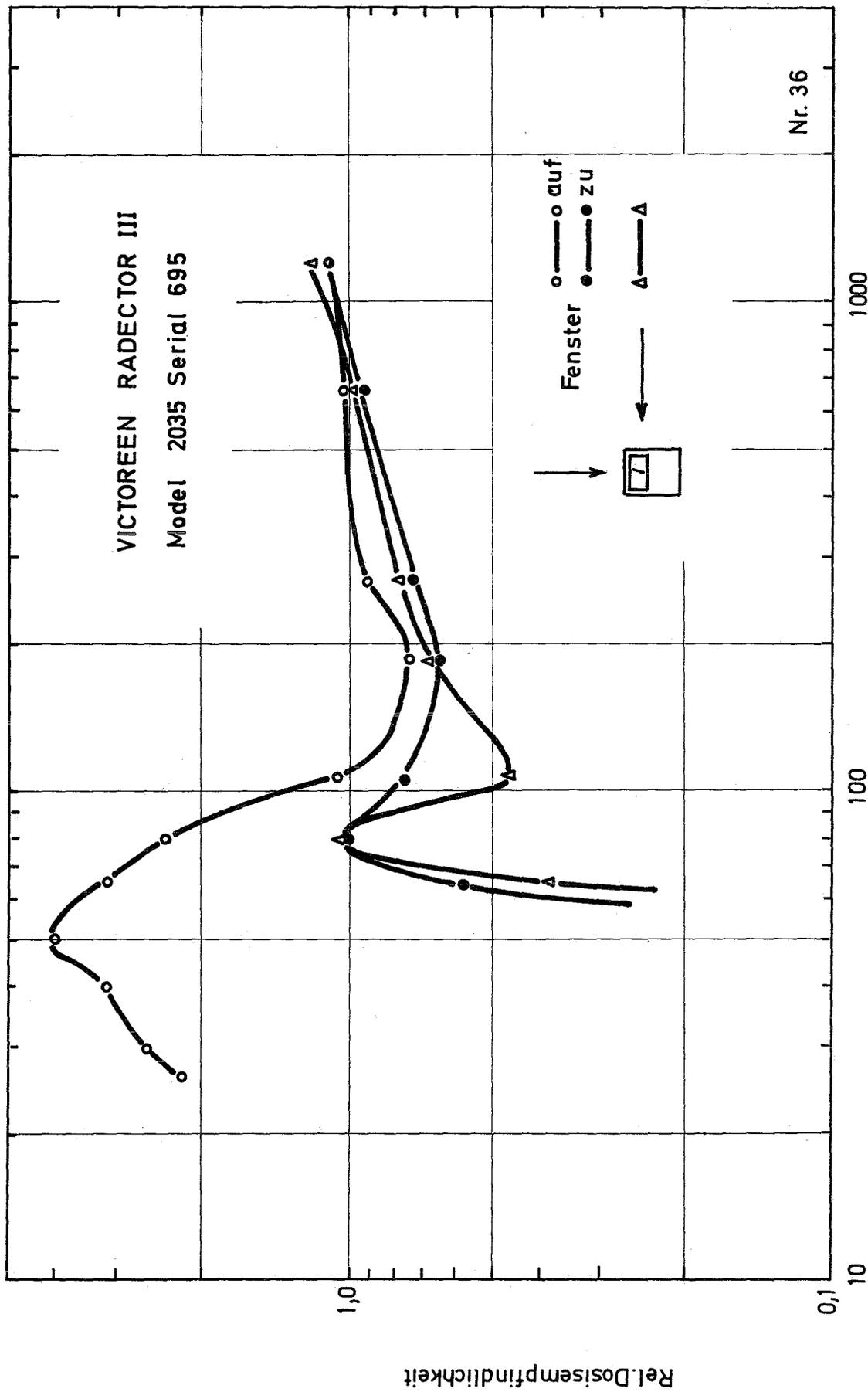
Quantenenergie in keV

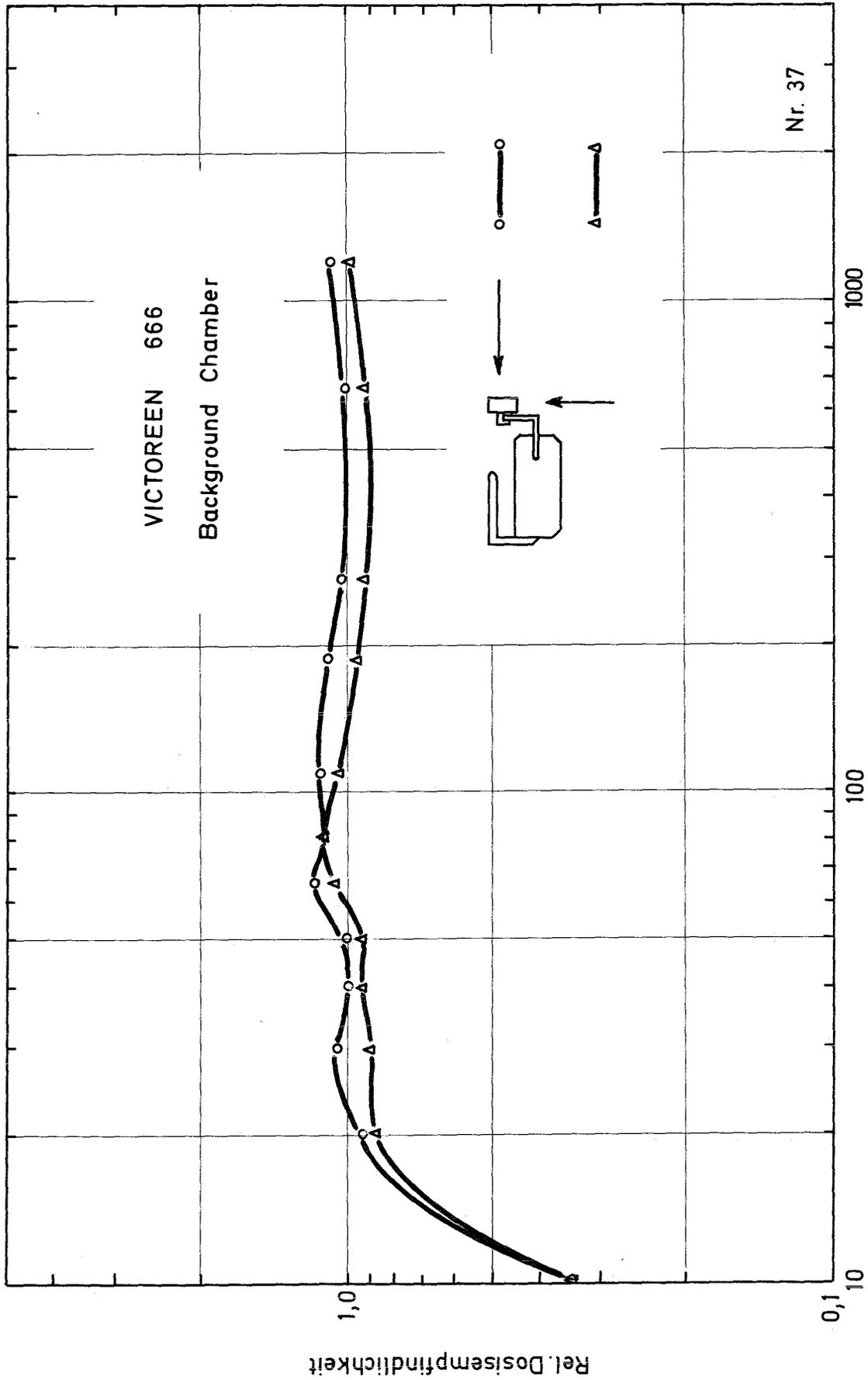




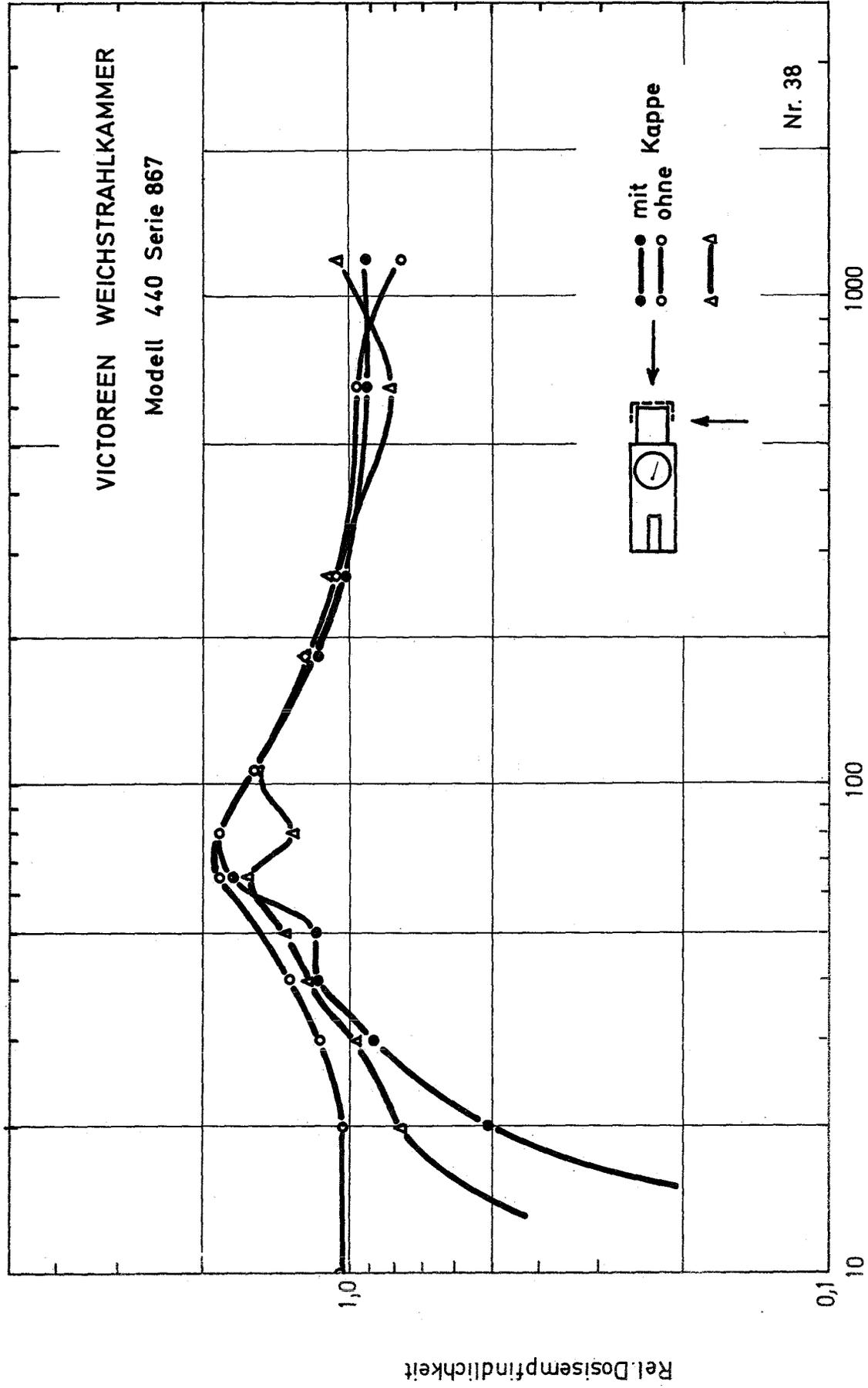
Quantenenergie in keV

Rel. Dosisempfindlichkeit





VICTOREEN WEICHSTRAHLKAMMER  
 Modell 440 Serie 867

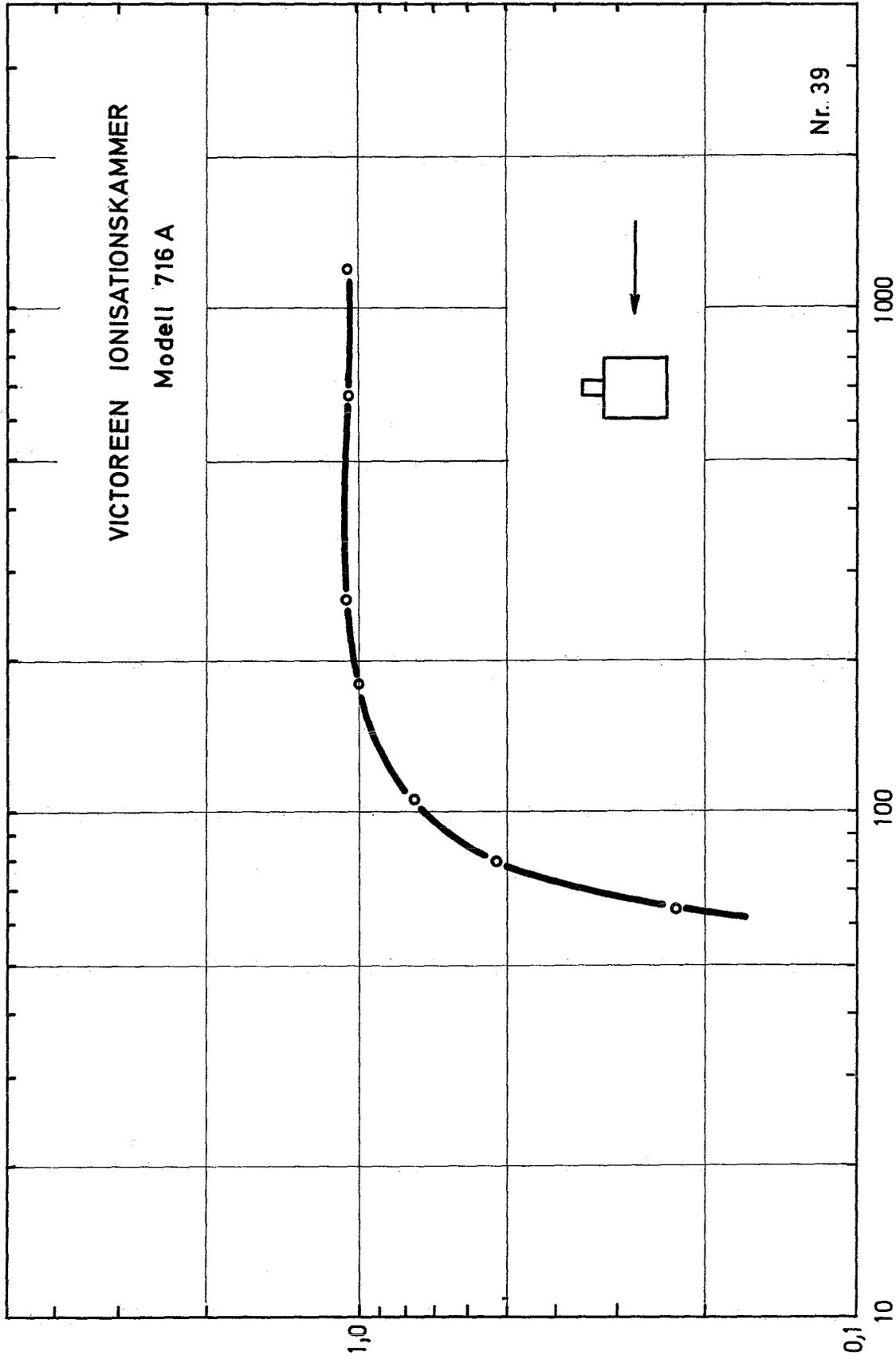


Nr. 38

Quantenenergie in keV

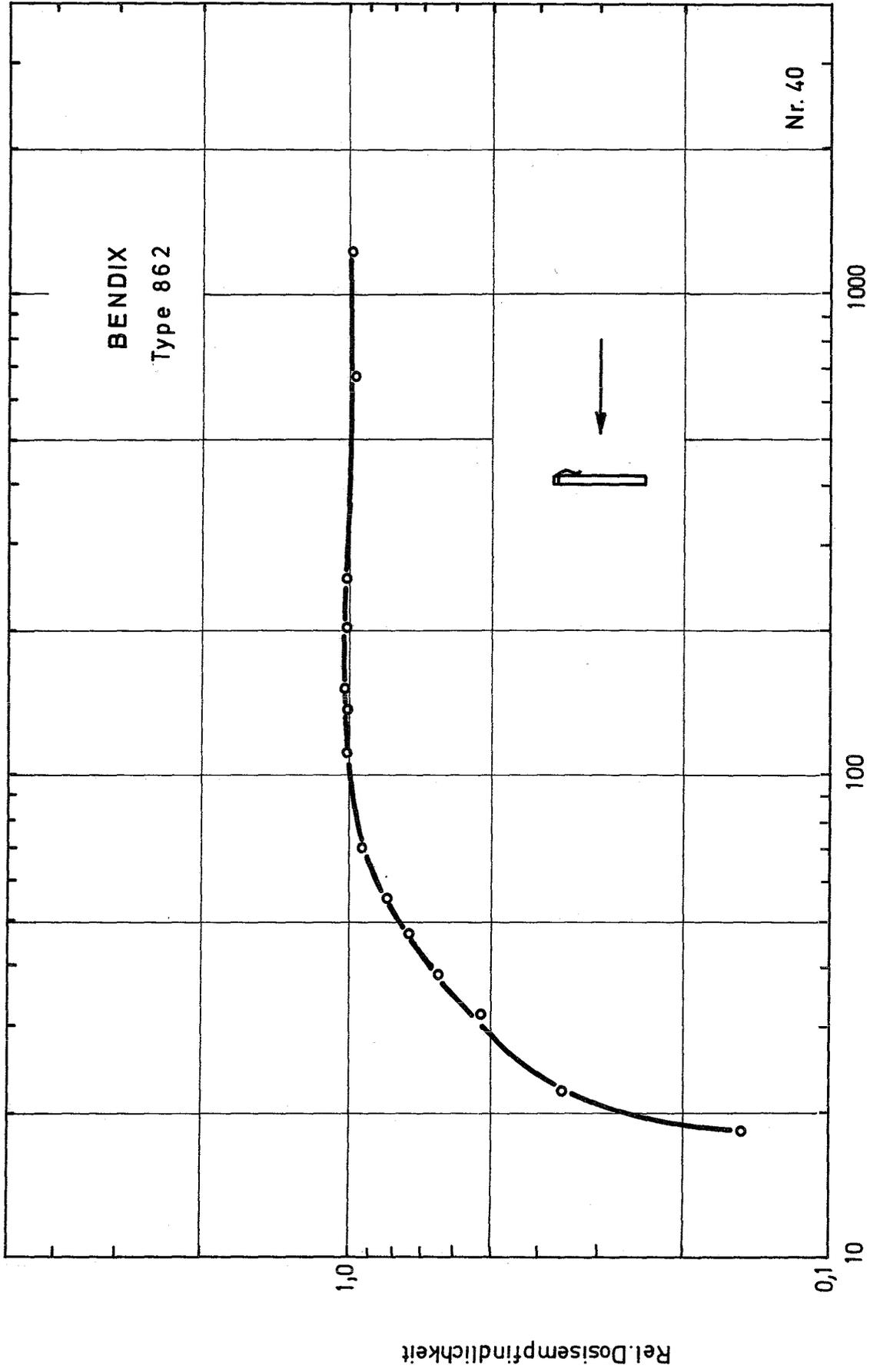
VICTOREEN IONISATIONSKAMMER  
Modell 716 A

Nr. 39



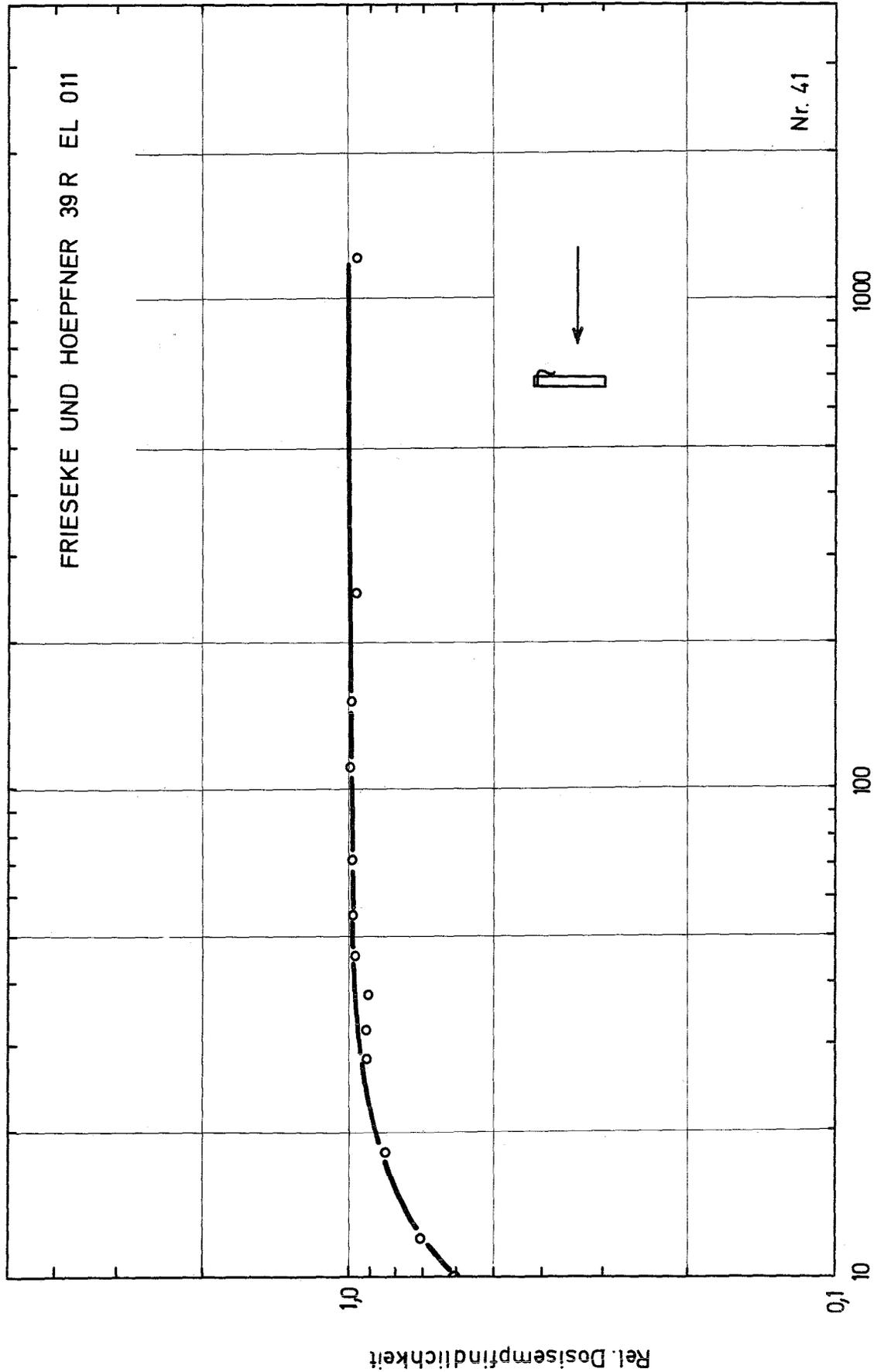
Rel. Dosisempfindlichkeit

Quantenenergie in keV



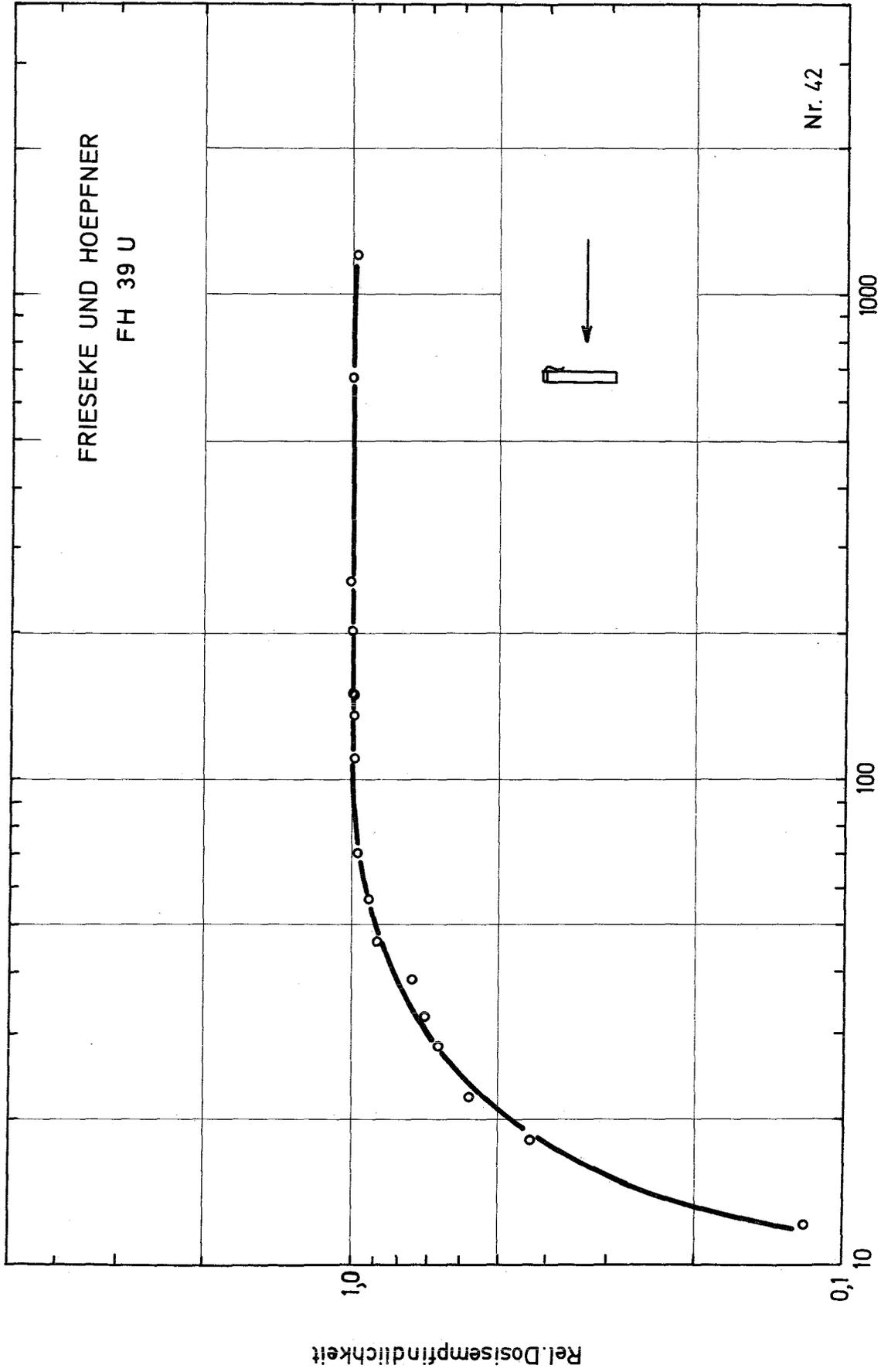
FRIESEKE UND HOEPFNER 39 R EL 011

Nr. 41

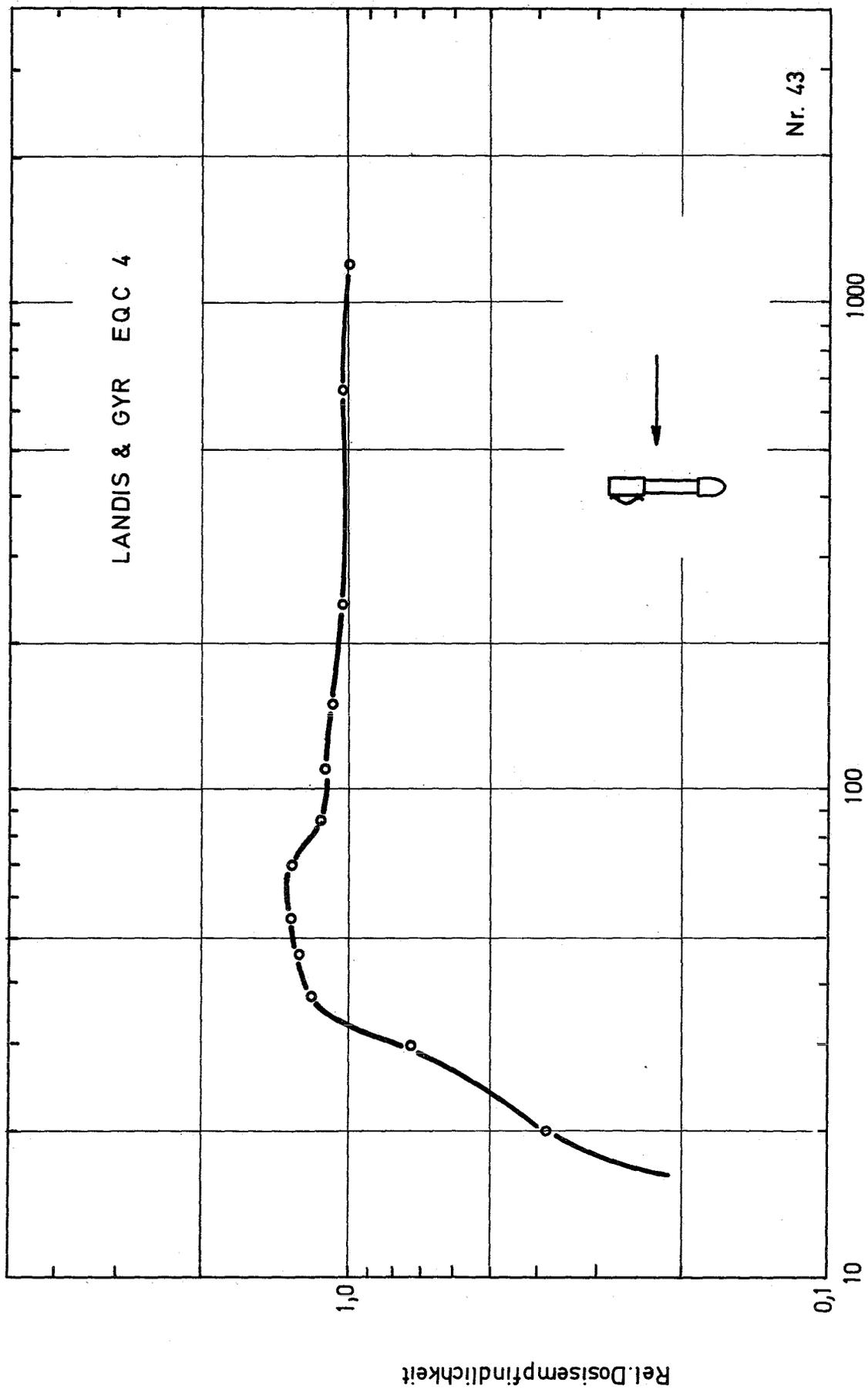


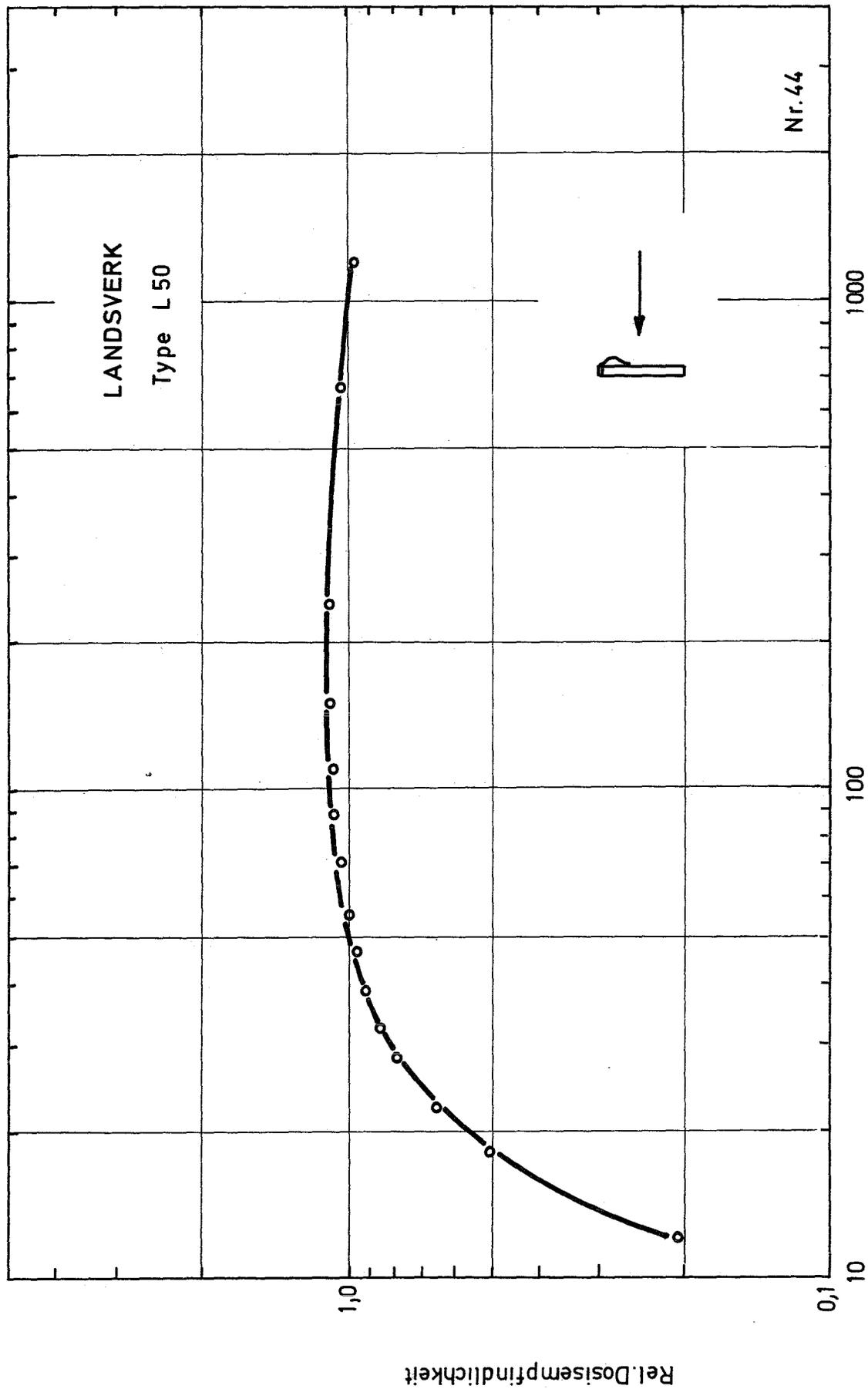
FRIESEKE UND HOEPFNER  
FH 39 U

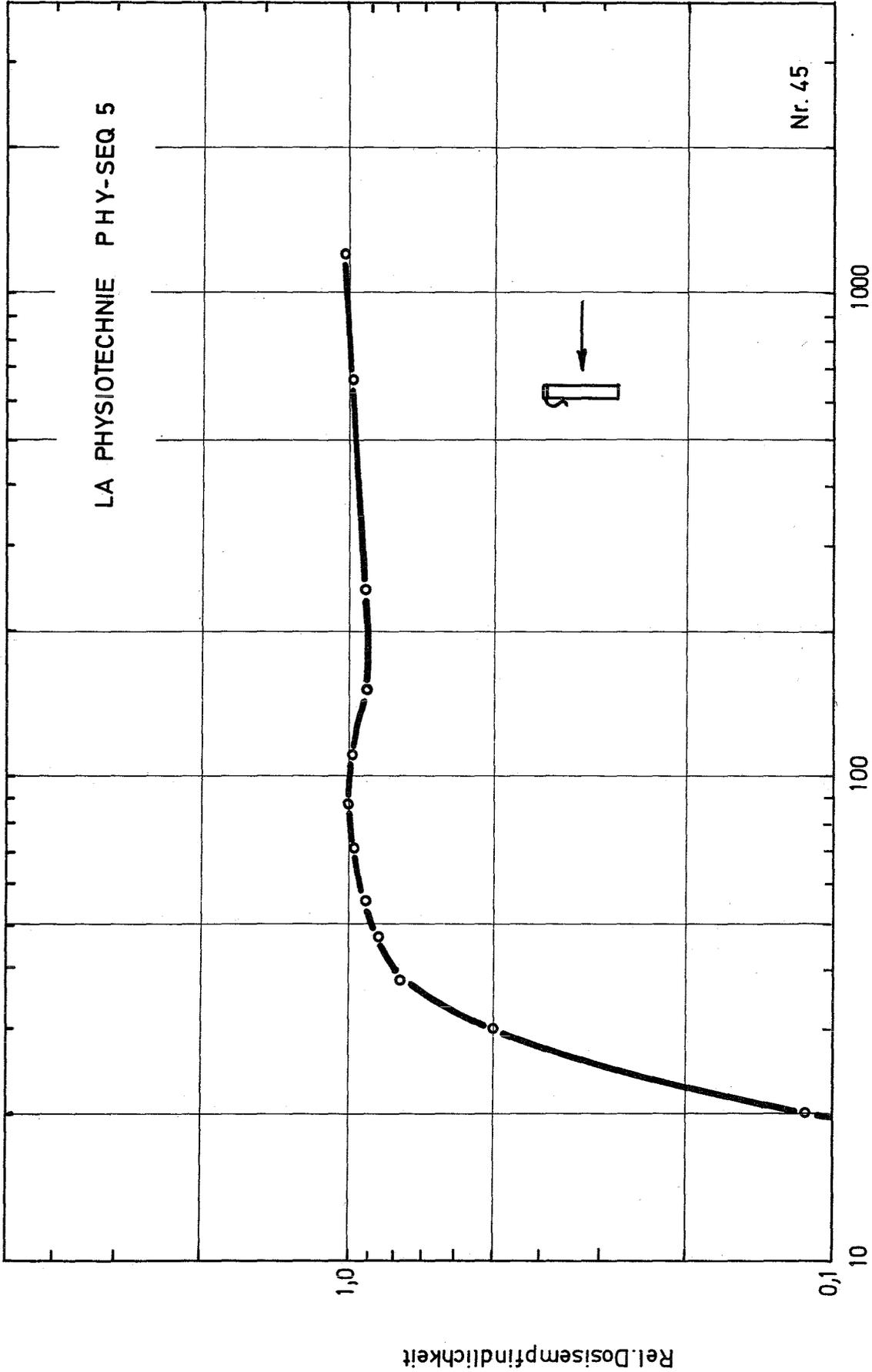
Nr. 42

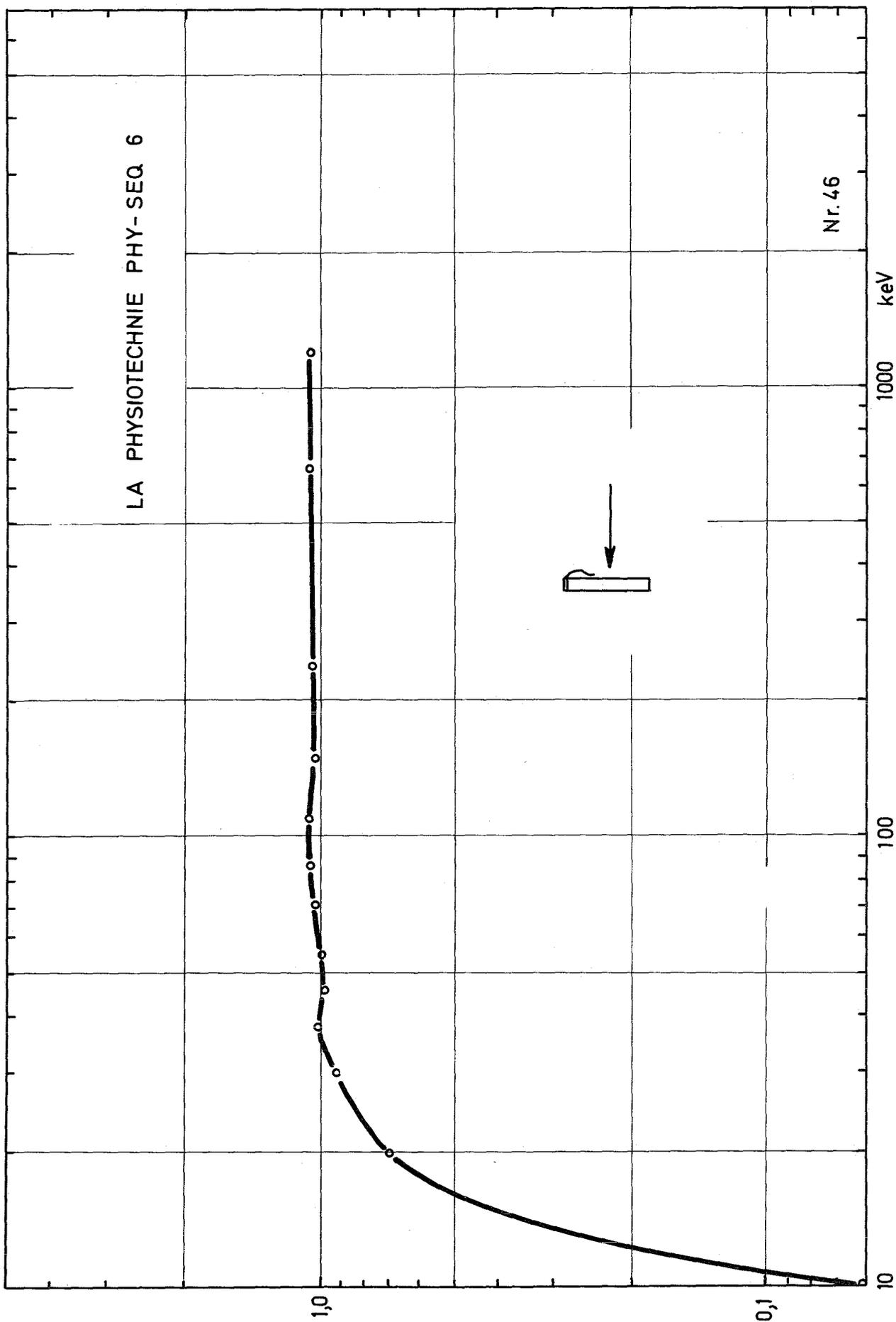


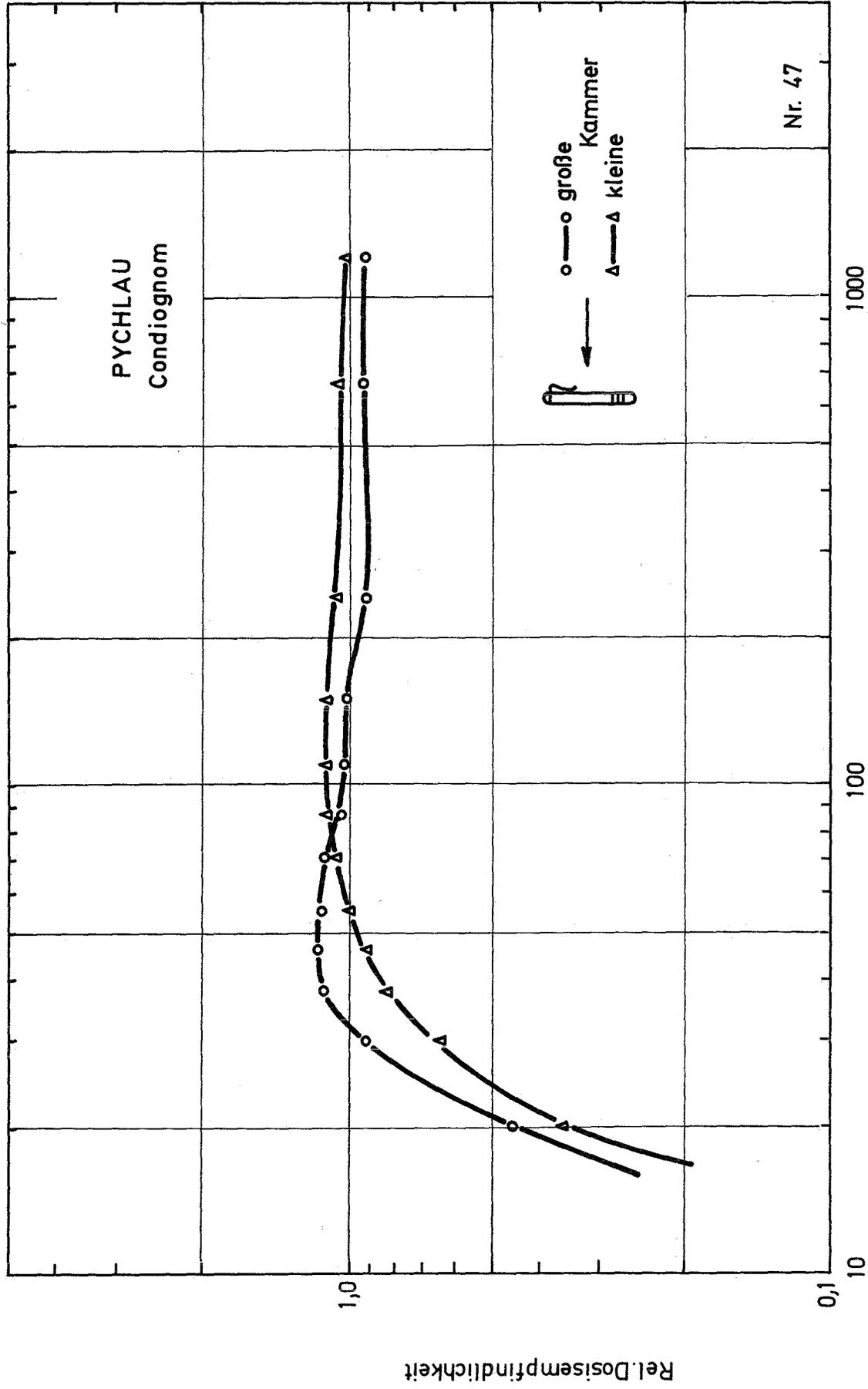
Quantenenergie in keV

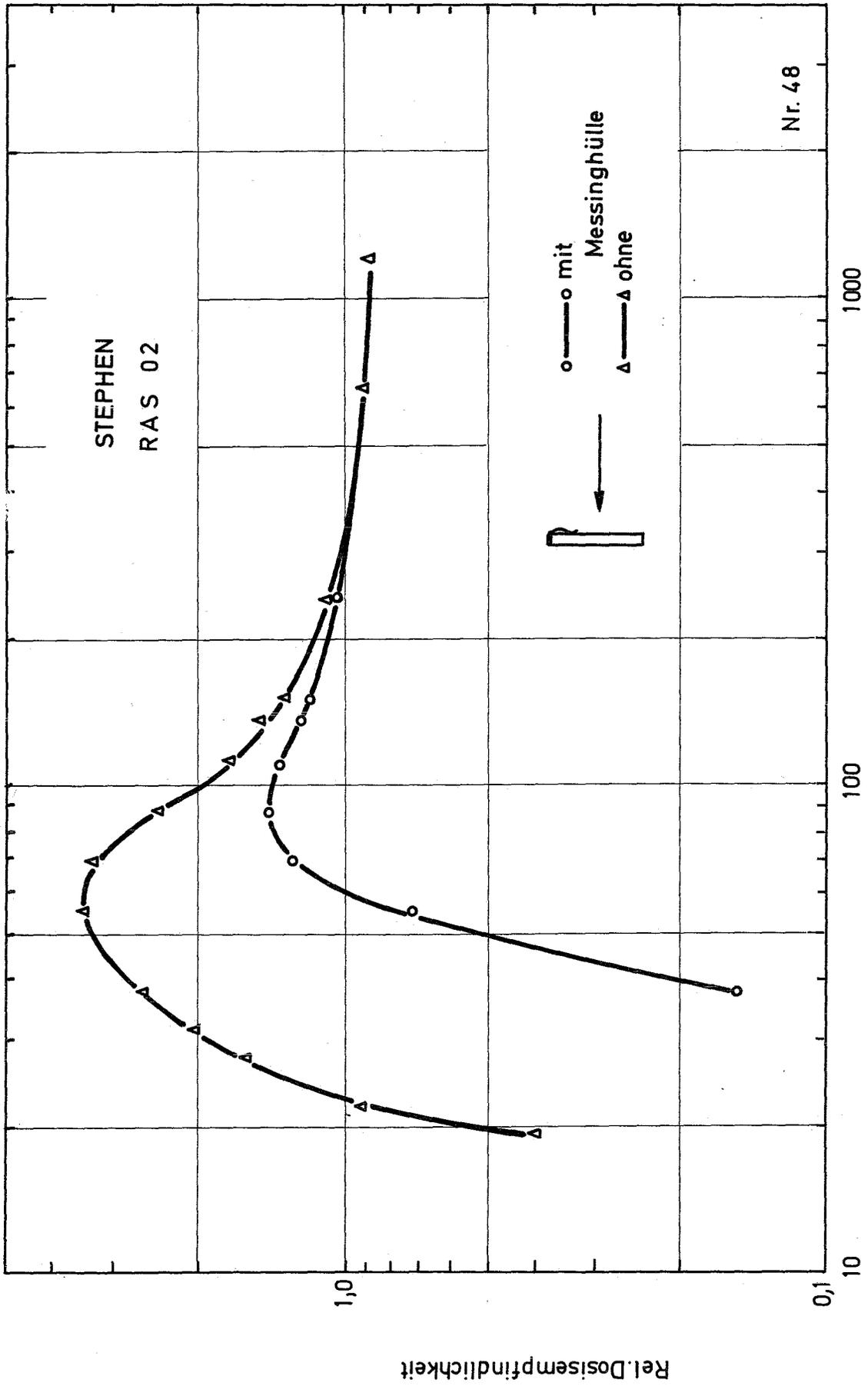


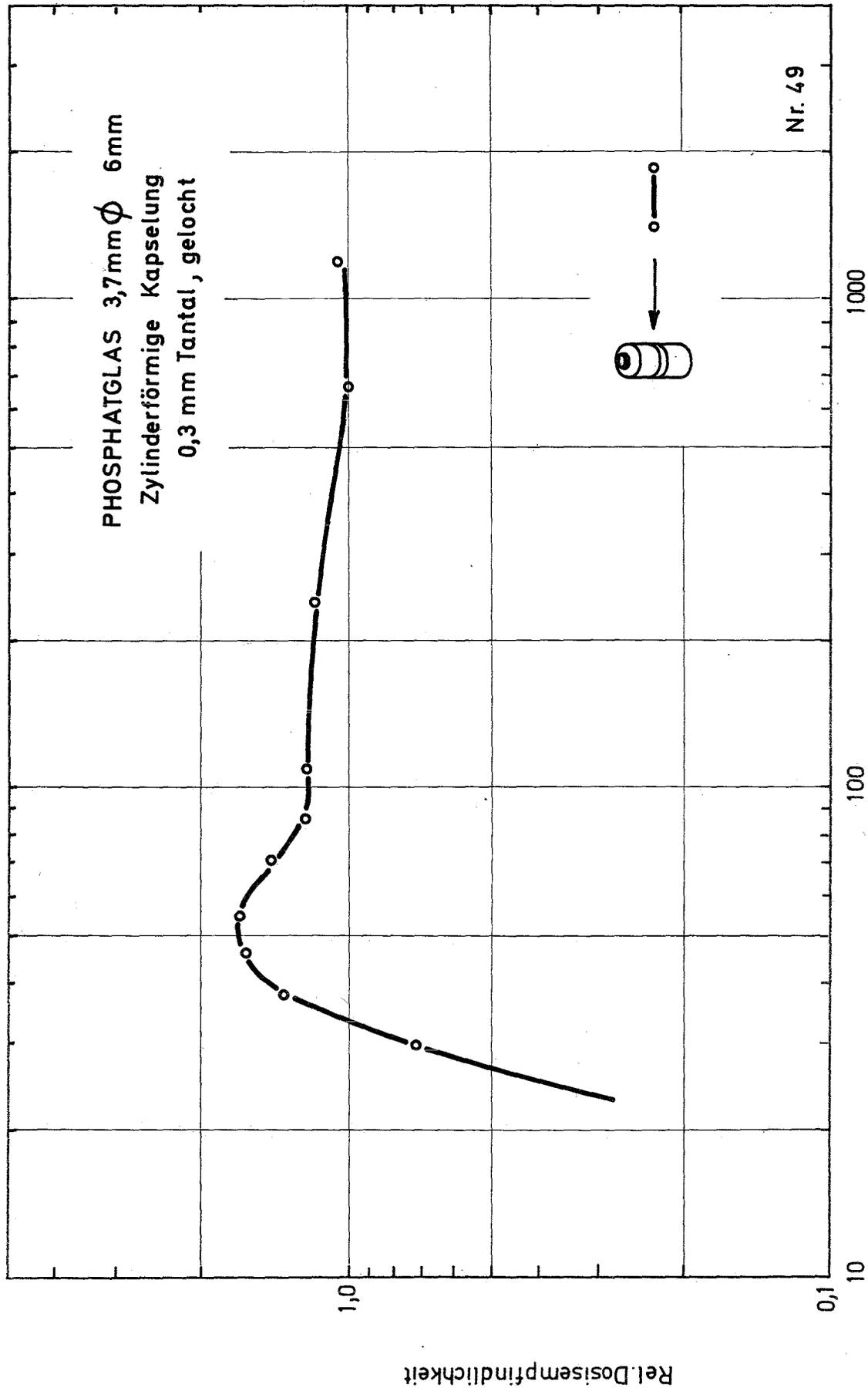


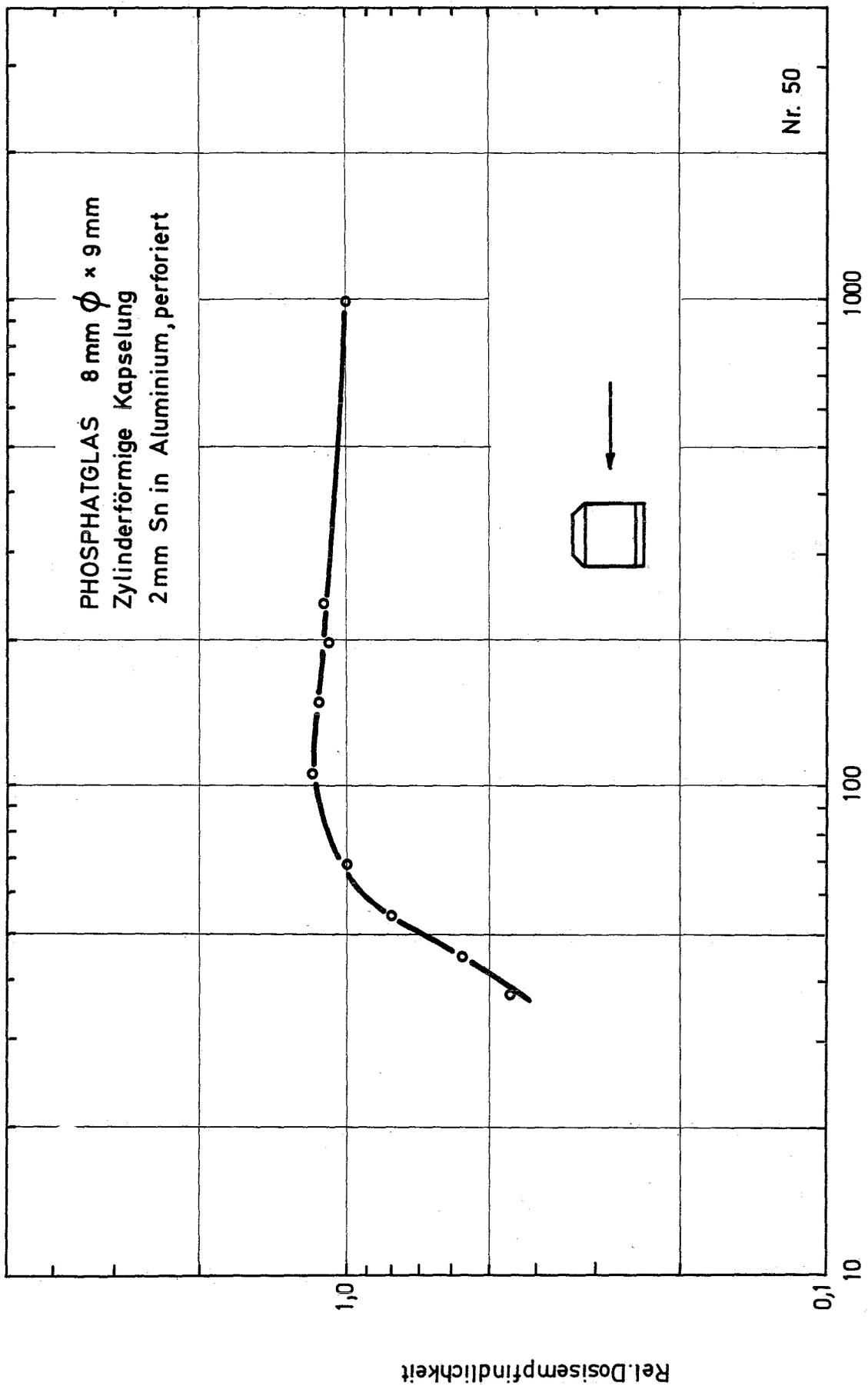


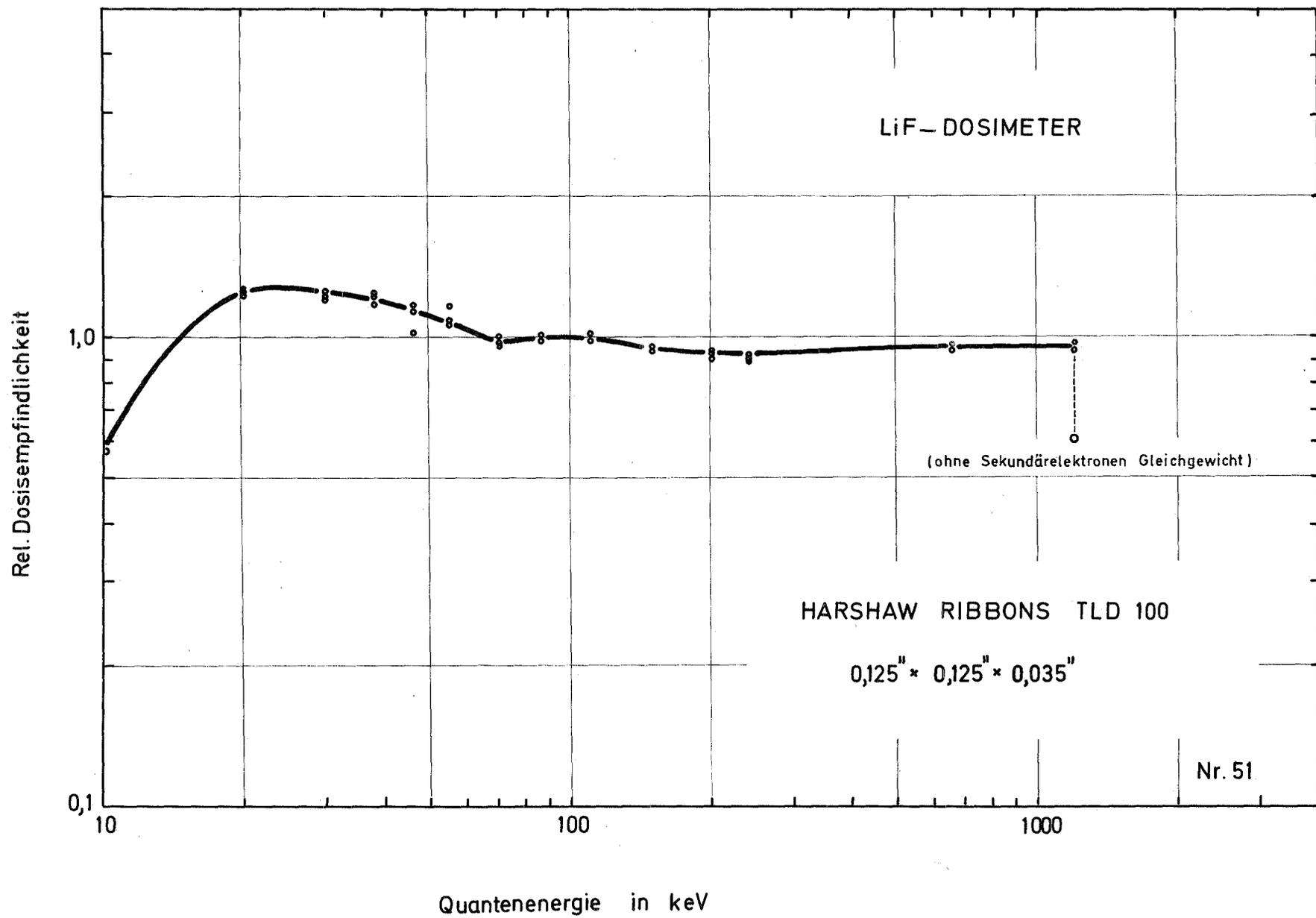


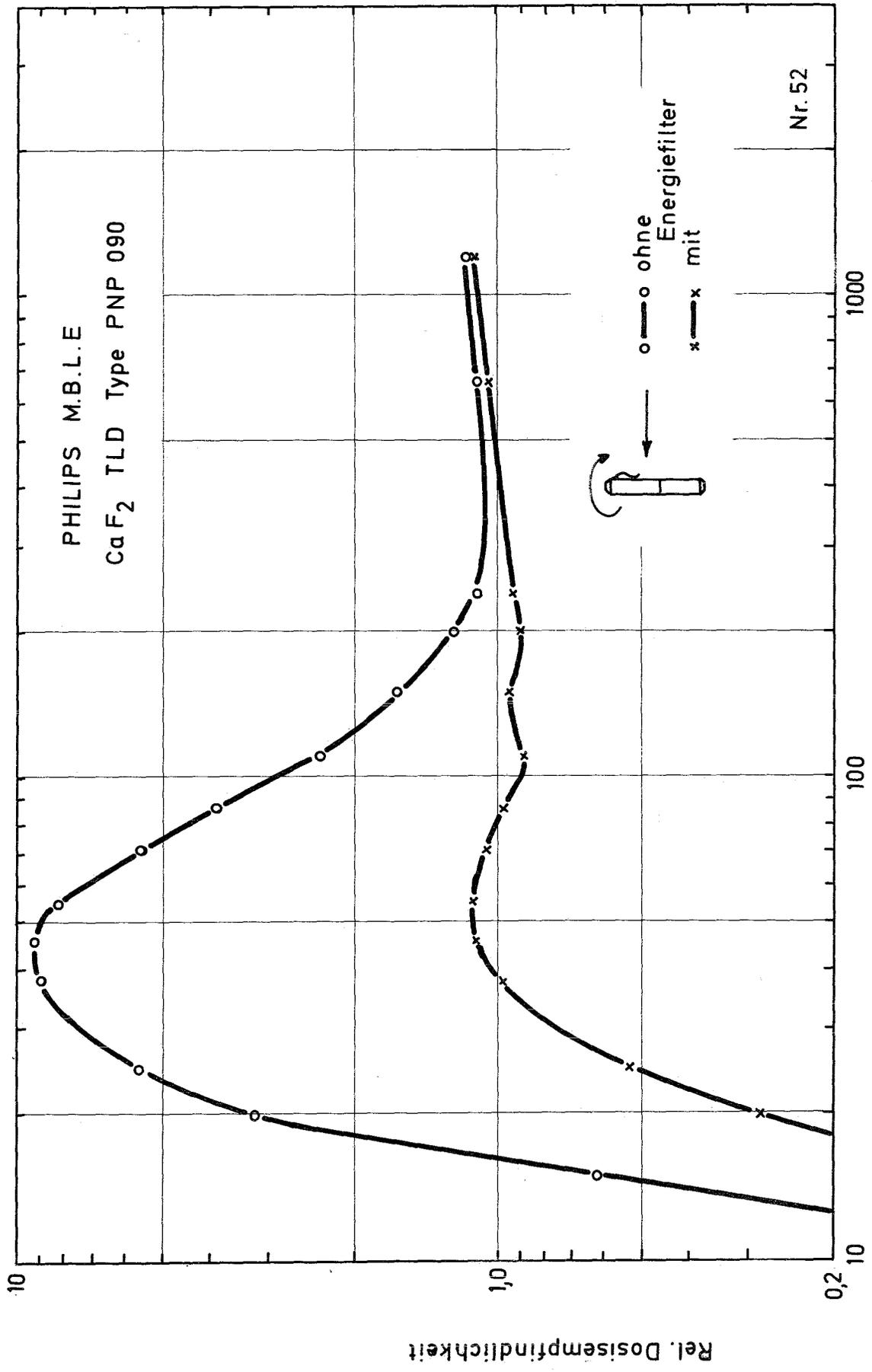












Quantenenergie in keV

