

Interner Bericht

DESY D3/MHF-51

April 1984

**Die Dosisleistung durch Röntgenstrahlung**  
**beim Betrieb von Hochfrequenz-Resonatoren**

von

K. Amsinck, K.P. Klimek und H.P. Scholz

**Zusammenfassung:**

An Hohlraumresonatoren für hohe Hochfrequenzleistungen wurde die Dosisleistung durch Röntgenstrahlung gemessen. Es zeigte sich, dass die Dosisleistung etwa mit der zehnten Potenz der absorbierten HF-Leistung ansteigt. Gemessene Absorptionskurven in Blei geben Hinweise zur Dimensionierung von Abschirmungen.

**Summary**

The dose rate due to X-rays was measured around high-power cavities and was found to be proportional to the tenth power of the absorbed r.f. power. X-ray absorption curves in lead were also measured to facilitate the design of radiation shielding.

## 1. Problemstellung

Die Aufgabe von Hohlraumresonatoren (Cavities) ist es, die eingespeiste Hochfrequenzenergie auf den Elektronenstrahl zu übertragen. In der Abb. 1 ist ein solches Cavity (5-Zeller) im Querschnitt dargestellt. Die Kupferwandung des Cavity hat eine unterschiedliche Dicke. Die axialen Scheiben sind 25 mm, der Zylindermantel 10 mm dick. Derartige Cavities werden gelegentlich auch im Leerlauf betrieben. Z.B. kann auf einem Teststand die Reinigung der Innenwandungen mit HF-Energie durchgeführt werden. Durch die Hochfrequenzbelastung werden die Kohlenwasserstoffverbindungen, die durch den Reinigungsprozess nach Fertigstellung der Kupferteile nicht restlos beseitigt wurden wegen ihres schlechten elektrischen und thermischen Leitwertes von der Oberfläche gelöst. Dabei kann sich der Gasdruck stark ändern.

Die beim Betrieb eines Cavity entstehende Röntgenstrahlung ist nicht unerheblich und hängt sehr stark von der HF-Leistung und vom Gasdruck ab. Die Ursache hierfür sind die Elektronen, die aus der Wandung oder durch Ionisation aus dem Restgas ausgelöst werden. Ihre Maximalenergie hängt von der Spannung ab, die sie durchlaufen bevor sie an irgend einer Wandung abgebremst werden. Die Dosisleistung durch Röntgenstrahlung außerhalb des Cavity wird also generell an der Stirnseite am höchsten sein.

Beim Testen von Cavities ist häufig der Testplatz nicht durch ein Interlocksystem gesichert, so dass die erzeugte Röntgenstrahlung auch ein Problem der Personensicherheit darstellt. Aus jahrelanger Erfahrung wissen wir, dass die Dosisleistung an den Cavities für die Speicherringe DORIS und PETRA unterhalb einer HF-Leistung von 50 kW vernachlässigbar klein ist. Da auf Testständen aber immer höhere Leistungen zur Anwendung kommen, hielten wir es für notwendig die Leistungsabhängigkeit der Dosisleistung durch Röntgenstrahlung genauer zu untersuchen. Außerdem haben wir Absorptionskurven in Blei aufgenommen, um Anhaltspunkte über effektive Energien und praktische Hinweise für Abschirmungen zu erhalten.

## 2. Messungen

Als Messgeräte wurden tragbare Geräte mit einer luftgefüllten Ionisationskammer verwendet. Ihre Wandstärke beträgt  $300 \text{ mg/cm}^2$ . Um sicher zu gehen, dass eine Verfälschung der Messwerte durch HF-Störungen auszuschließen sind, wurden ebenfalls Messungen mit Thermolumineszenz-Dosimetern durchgeführt. Die Auswertung ergab eine vernünftige Übereinstimmung zwischen beiden Meßsystemen.

Bei der Wahl der Messpunkte beschränkte man sich auf 3 Positionen (s. Abb. 1). Position 1 befindet sich in der Achse des Cavity hinter ein Glasfenster, das speziell für unsere Messung eingebaut wurde. Position 2 an der Oberfläche der Kupferwandung in axialer Richtung und Position 3 auf dem Zylindermantel.

Um Anhaltspunkte über das Spektrum der Bremsstrahlung zu erhalten, wurden zur Aufnahme einer Absorptionskurve Messungen mit Hilfe von Bleikappen gemacht, die in Dicken von 1 mm übereinander über die Ionisationskammer der Messgeräte gestülpt werden können.

Alle Messungen wurden bei gepulster HF-Leistung und einem Tastverhältnis von 8,5% durchgeführt. Man erwartet Linearität zwischen Dosisleistung und dem Tastverhältnis. Weitere Messungen bis zum Tastverhältnis von 50% bestätigten diese Annahme. Die maximale Leistung bei einem Tastverhältnis von 100% (Dauerstrich), die in einem Cavity absorbiert werden kann, ist neben der Wärmebelastung hauptsächlich vom Einkopplungsfenster abhängig. Sie betrug bei dem vorhandenen Cavity 150 kW. Unsere Messungen konnten bis 210 kW Pulsleistung durchgeführt werden.

Alle Messungen wurden bei einem Druck von etwa  $5 \cdot 10^{-8}$  Torr gemacht. Druckschwankungen von einem Faktor 1,5 waren jedoch keine Seltenheit. Wir konnten feststellen, dass die resultierenden Schwankungen in der Dosisleistung ungefähr proportional zu den Druckschwankungen waren.

Das für diesen Test verwendete 5-zellige Cavity wurde zunächst mit kleiner Leistung (ca. 1 W) auf eine optimale Feldverteilung eingestellt. Daraus ergab sich eine Shunt-Impedanz von  $R = 12 \text{ M}\Omega$  oder  $8 \text{ M}\Omega/\text{m}$ .

Um die Verlustleistung in den einzelnen Komponenten nicht zu groß werden zu lassen, wurde das Cavity mit gepulster Leistung betrieben. Das Klystron, mit einer maximalen Ausgangsdauerleistung von 250 kW, ist mit Hohlleitern über einen Isolator am Cavity angeschlossen. Die Pulslänge betrug 2 ms bei einem Tastverhältnis von 8,5%. Somit konnte die maximale mittlere Verlustleistung im Cavity auf ca. 25 kW begrenzt werden. Die Verringerung der Shunt-Impedanz beträgt bei dieser Leistung nur etwa 2 - 3%, so dass man nach der Formel  $\hat{U} = (2RP)^{1/2}$  die erzeugte Spannung im Cavity ohne großen Fehler ausrechnen kann.

Die 7-zelligen Cavities sind eine Weiterentwicklung der 5-zelligen; ihre mittlere Shunt-Impedanz beträgt etwa 24 M $\Omega$  bzw. 11,4 M $\Omega$ /m.

Die Leistung wurde gemessen mit einem im Hohlleiter vor dem Cavity eingebauten Leistungsmesser. Eine kalorimetrische Messung über das Kühlwasser ergab gleiche Werte.

### 3. Ergebnisse

In Abb. 2 sind die gemessenen Dosisleistungen durch Röntgenstrahlung beim Betrieb eines 5- und eines 7-zelligen Cavity graphisch aufgetragen. Wie zu erwarten war, erhält man die höchsten Werte in axialer Richtung hinter dem Fenster der Pos. 1. Beim Vergleich der Messwerte hinter der Cavity-Wandung von Pos. 2 und Pos. 3 erhält man höhere Werte in axialer Richtung trotz der dickeren Kupferwand.

Alle Messpunkte bei beiden Cavities zeigen sehr genau das gleiche Leistungsverhalten. Geht man davon aus, dass die Winkelverteilung der beim Auftreffen der Elektronen auf die Stirnwände erzeugten Bremsstrahlung isotrop ist, so erklärt dies zumindest die gleiche Leistungsabhängigkeit für alle drei Messpositionen eines Cavity. (Parallelität der drei Kurven in Abb. 2 a und b). Warum das gleiche Leistungsverhalten auch für das andere Cavity zutrifft, lässt sich nicht ohne weiteres beantworten. Wir können aber offenbar davon ausgehen, dass das Leistungsverhalten unabhängig von den beiden Cavity-Typen ist.

Beim weiteren Vergleich beider Cavities bezüglich der Dosisleistung bei gleicher HF-Leistung fällt allerdings auf, dass der 5-Zeller 10 mal mehr Röntgenstrahlung erzeugt, obwohl die Beschleunigungsspannung im 7-zelligen Cavity höher ist. Man hätte daher zunächst den umgekehrten Fall erwartet. Dies bestätigt die Tatsache, dass ein Vergleich einzelner Cavities bezüglich der Reproduzierbarkeit der Dosisleistungen untereinander nicht möglich ist. Der Grund hierfür liegt darin begründet, dass eine Ursache der Röntgenstrahlung, nämlich die Verunreinigung der Innenflächen im Cavity, von der individuellen Vorbehandlung abhängt und für jedes Cavity eine andere Größe darstellt.

Die gemessenen Dosisleistungen in Abhängigkeit der absorbierten HF-Leistungen im Cavity lassen sich als eine Potenzfunktion

$$D \sim p^n$$

darstellen. Für den Exponenten ermittelte man den Wert  $n = 10,5 \pm 0,5$ .

Wegen dieser Abhängigkeit erhält man sehr hohe Dosisleistungswerte bei hohen HF-Leistungen. Die Strahlenbelastung kann deshalb erheblich sein, so dass besondere Schutzmaßnahmen notwendig sind. Dabei sei noch zu erwähnen, dass bei Verschlechterung des Vakuums ebenfalls mit einer zunehmenden Strahlenbelastung zu rechnen ist. Diese wird aber durch eine Automatik begrenzt, da bei zu großem Druckanstieg der Sender automatisch abgeschaltet wird.

Die Abb. 3 zeigt einige Absorptionskurven, die mit Hilfe von Pb-Absorbern bis 5 mm Dicke an einem 5-zelligen Cavity bei einer Pulsleistung von 150 kW ( $\hat{U} = 1,9$  MV) ermittelt wurden. Vergleicht man die Kurven der Pos. 2 und 3, die hinter dem Kupfergehäuse aufgenommen wurden, so ergibt sich für die axiale Richtung eine etwas höhere effektive Energie. Gemeint ist die Photonenenergie, die zu einem Massen-Schwächungskoeffizienten gehört, welcher sich aus dem Intensitätsverhältnis hinter zwei Bleidicken errechnen lässt. In Abb. 4 ist die effektive Energie für Bleidicken bis 5 mm als Mittelwert von Pos. 2 und Pos. 3 aus der Abb. 3 aufgetragen. Da die Kurve nach 5 mm Blei bereits die Sättigung erreicht hat, erhält man hier eine maximale Endenergie von ca. 400 keV.

Eine weitere Kurve, die bei Pos. 1, also hinter dem Glasfenster, ermittelt wurde, zeigt ein steileres Verhalten als die Kurve von Pos. 2, obwohl beide an der Stirnseite aufgenommen wurden. Dieser Unterschied lässt sich durch die unterschiedliche Absorption von Glas und Kupfer erklären. Die Kupferwandung hat auf der Stirnseite eine Dicke von ca. 25 mm und filtert einem erheblichen Teil der niederenergetischen Komponente heraus, die für das Glasfenster noch durchlässig ist. Da im praktischen Fall das Glasfenster durch einen dicken Stahlflansch ersetzt wird, hat man sich bei der Dimensionierung einer Bleiabschirmung an die Abb. 3 zu halten.

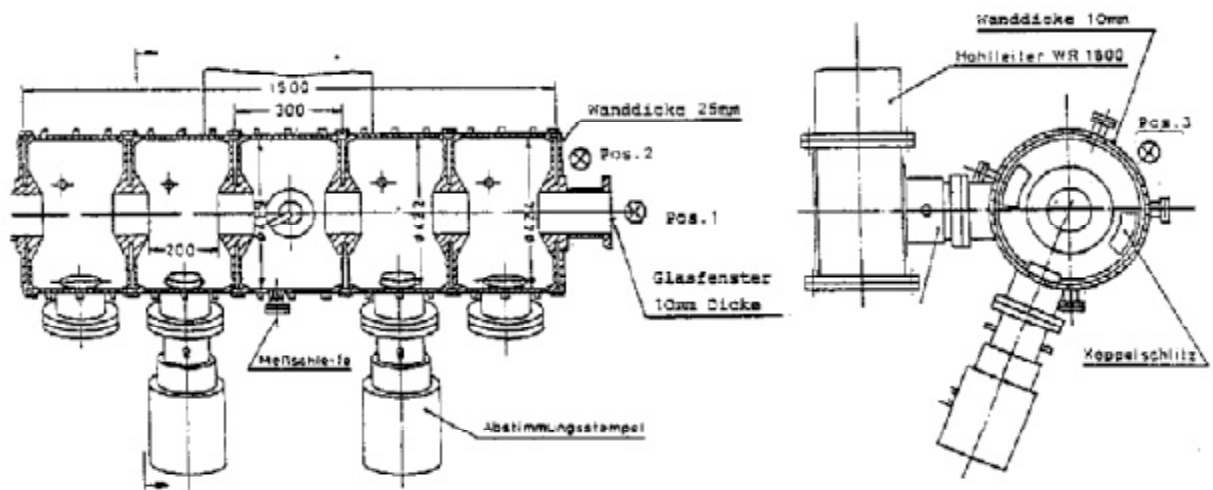


Abb.1 Querschnitt eines 5-zelligen Cavities für den Speicherring PETRA. Für die Messungen wurde der Endflansch gegen ein 10 mm dickes Glasfenster ausgewechselt.

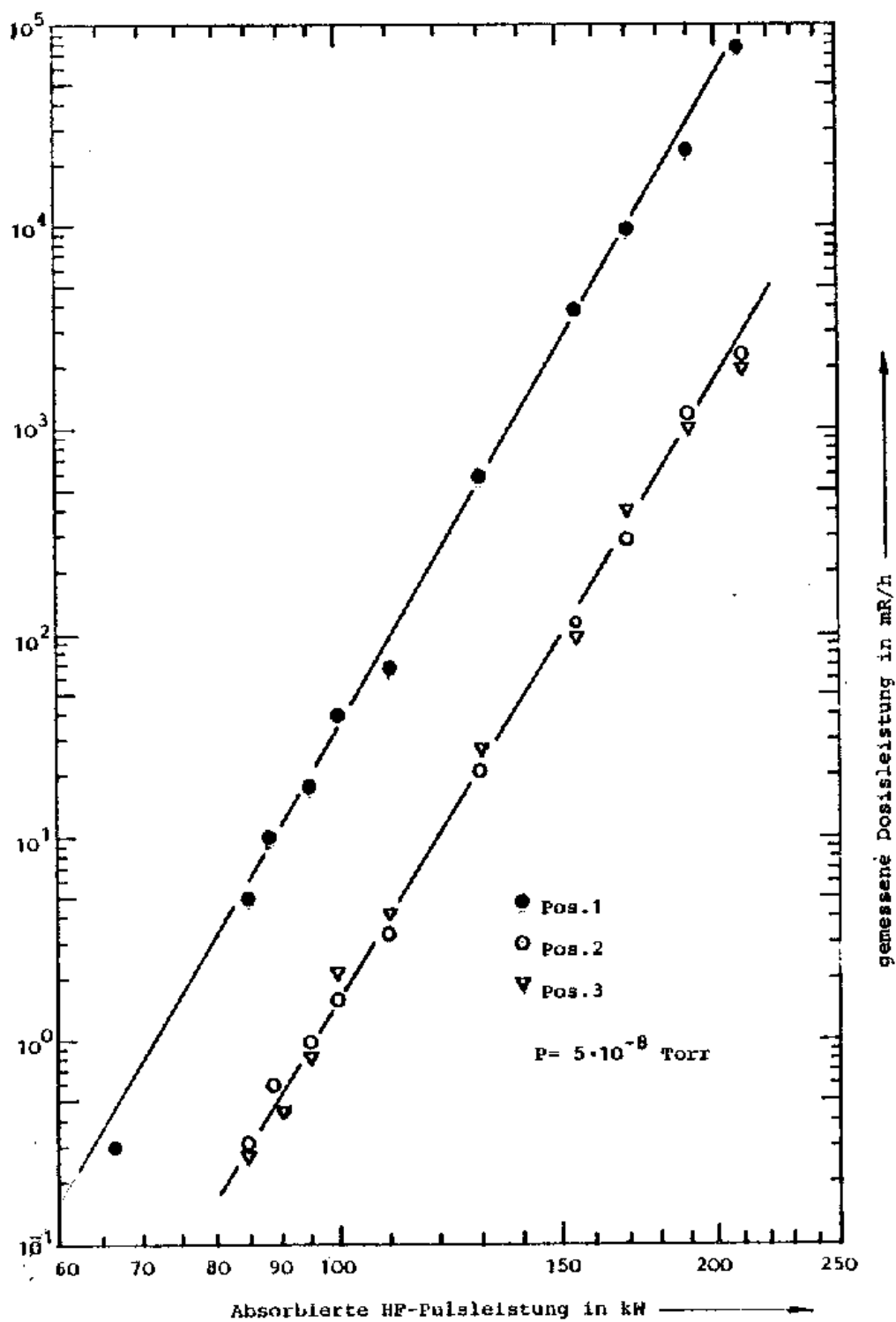


Abb. 2a Dosisleistung bei Pos. 1, 2 u. 3 an einem S-Zeiler. Das Tastverhältnis der absorbierten HF-Pulsleistung betrug 8,5%.

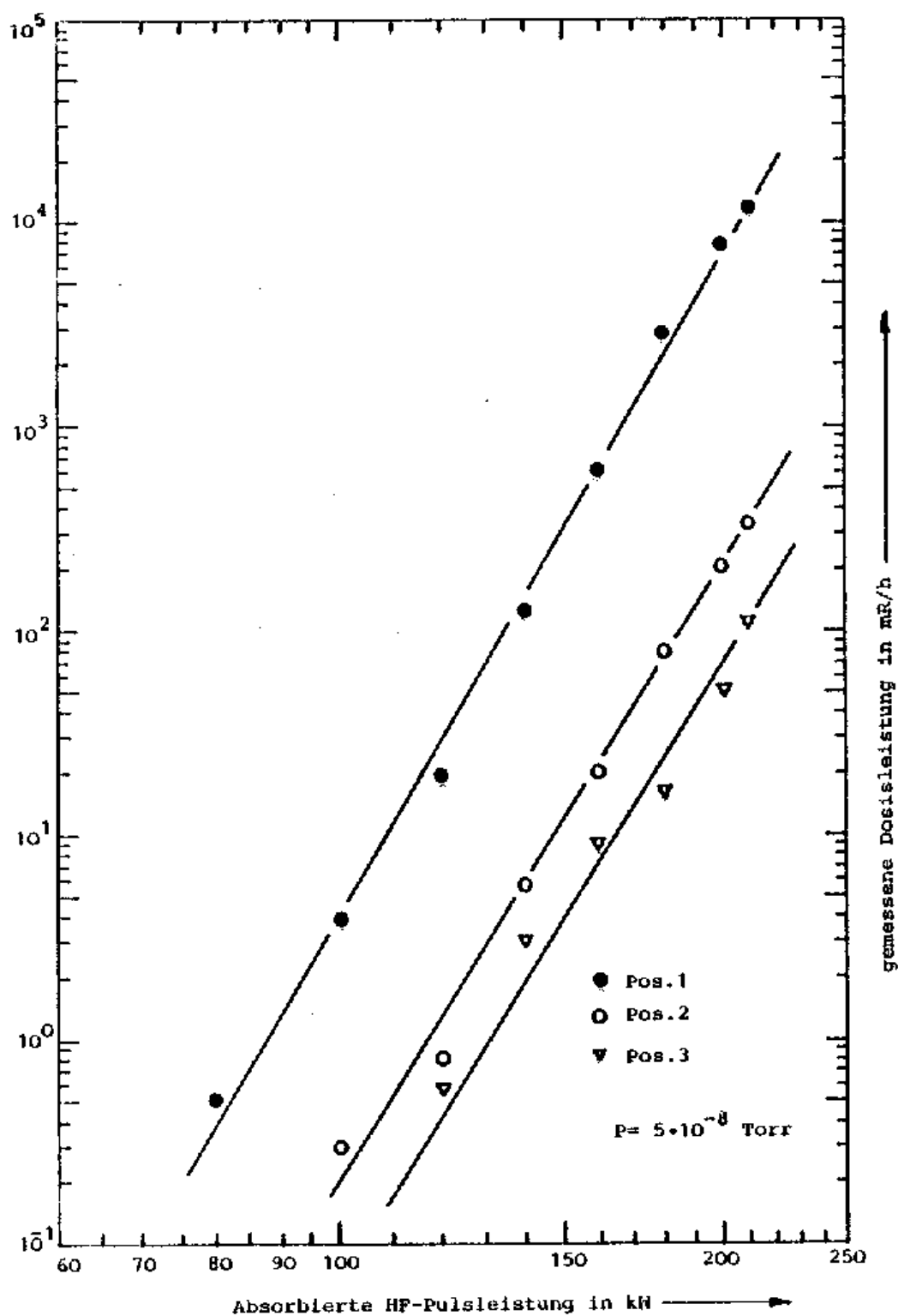


Abb.2b Dosisleistung bei Pos.1,2u.3 an einem 7-Zeller. Das Tastverhältnis der absorbierten HF-Pulsleistung betrug 8,5%.



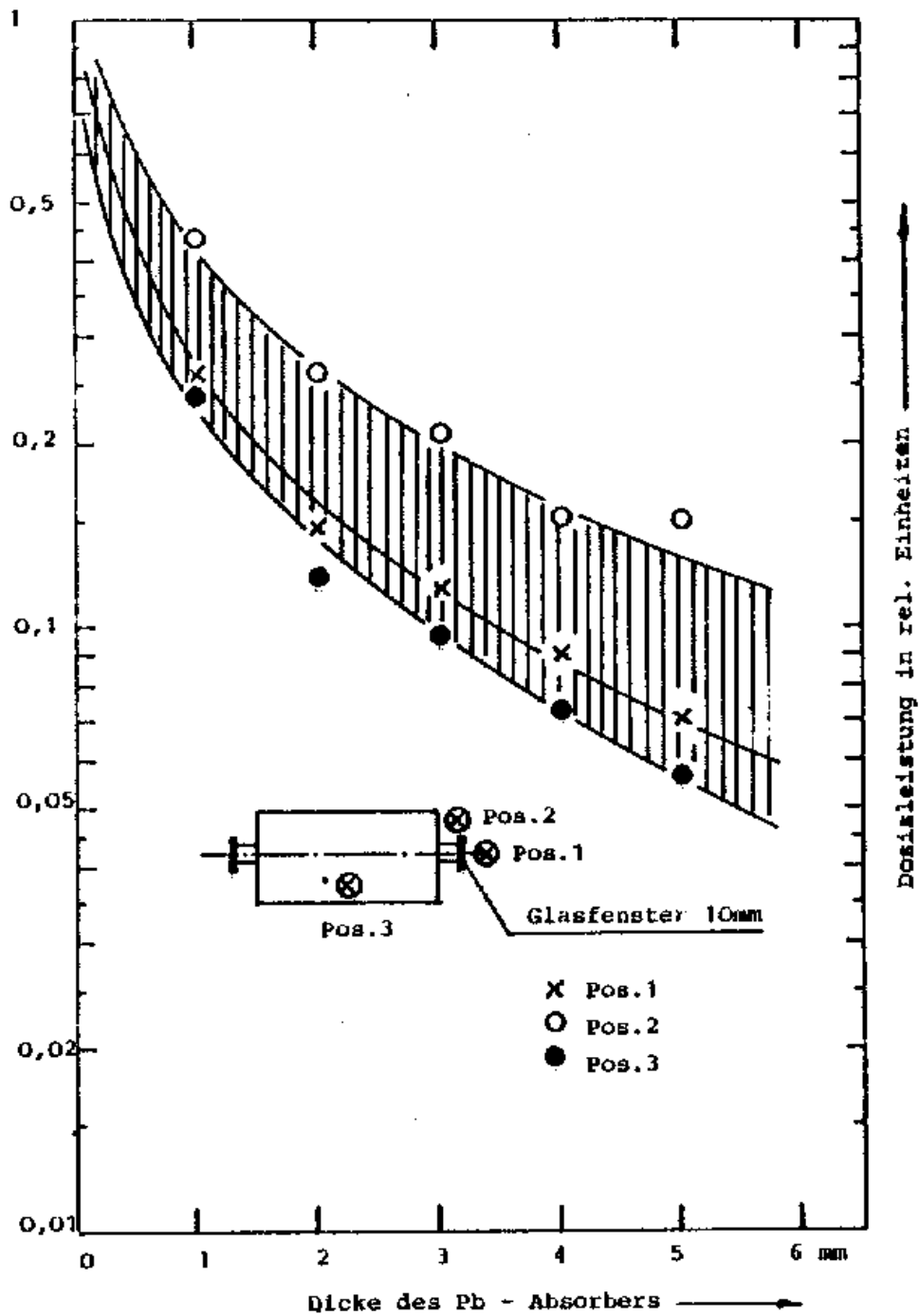


Abb.3 Relative Dosisleistung hinter verschiedenen Pb-Absorbern.  
 Die Messung wurde am 5-zelligen Cavity bei einer Pulsleistung von 150 kW durchgeführt.

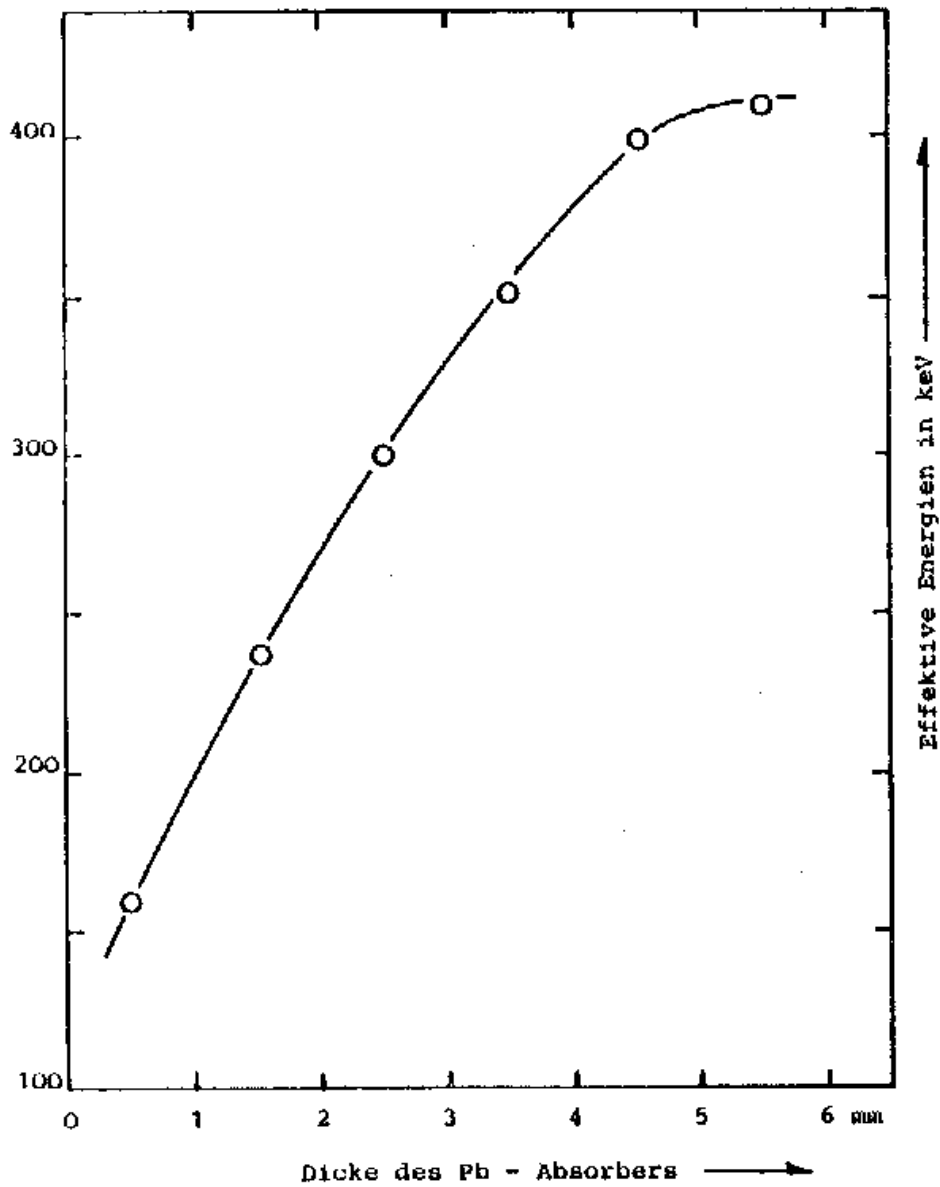


Abb. 4 Effektive Energien für verschiedene Bleidicken.