

Abteilung Strahlenschutz  
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH  
des Landes Nordrhein-Westfalen

DIE Cs - 137 - THERAPIEANLAGE  
DER KERNFORSCHUNGSANLAGE  
JÜLICH

von

D. Nachtigall

Jül - 23 - ST

November 1961

Als Manuskript gedruckt



**Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 23**

Abteilung Strahlenschutz Jül - 23 - ST

Dok.: CESIUM ISOTOPES Cs 137 - DOSAGE DETERMINATIONS \* DK 621.039.83

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich,  
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

D I E C s - 1 3 7 - T H E R A P I E A N L A G E

D E R K E R N F O R S C H U N G S A N L A G E J Ü L I C H

von

D. Nachtigall

## I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

---

1. Einleitung	2
2. Physikalische Grundlagen	2
2.1 Erzeugung des radioaktiven Caesium	2
2.2 Spezifische Aktivität	5
2.3 Dosisleistung	7
2.4 Zusammenfassung	9
3. Beschreibung der Anlage	
3.1 Die Quelle	10
3.2 Die Quellenstärke	10
3.3 Der Strahlerkopf	12
3.4 Die Halterung des Strahlerkopfes	13
3.5 Das Schalterpult	14
4. Dosisleistungsmessungen	
4.1 Dosisleistung als Funktion des Abstandes	14
4.2 Dosisleistung mit Tuben	16
4.3 Dosisleistung im Strahlungskanal	17
4.4 Horizontale Dosisverteilung im Bestrahlungsraum	18
4.5 Dosisleistung in 10 cm Entfernung vom Strahlerkopf	18
4.6 Dosisleistung in den umliegenden Räumen	20
5. Bedienungsanleitung	22
6. Strahlenschutz-Auflagen	23
7. Literatur	24

## 1. EINLEITUNG

Das unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Knipping stehende Medizinische Institut der Kernforschungsanlage Jülich besitzt seit dem Sommer 1960 eine Cs-137-Therapieanlage der Firma Picker-X-Ray-Corporation, Cleveland/Ohio. Die Anlage wurde vorläufig im Kellergeschoß des alten Schlosses in Bensberg aufgestellt. Sie dient in erster Linie der Strahlentherapie des Medizinischen Instituts. Jedoch werden auch Physiker, Chemiker, Biologen, Metallurgen und andere Nichtmediziner gelegentlich den Wunsch haben, die Anlage zur Hochdosisbestrahlung in ihrem Forschungsgebiet zu benutzen. Aus diesem Grunde sind die wichtigsten physikalischen und technischen Einzelheiten sowie eine Reihe von Meßergebnissen der Abteilung Strahlenschutz, die für alle Benutzer interessant sind, im folgenden beschrieben.

## 2. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

### 2.1 Erzeugung des radioaktiven Caesium

Die bei der Spaltung der U-235-Kerne im Reaktor durch thermische Neutronen entstehenden Kernbruchstücke besitzen einen großen Neutronenüberschuß und wandeln sich deshalb unter  $\beta^-$ -Emission als künstlich radioaktive Kerne stufenweise in stabile Kerne um. Die prozentuale Verteilung der Spaltprodukte zeigt Abb. 1 [1].

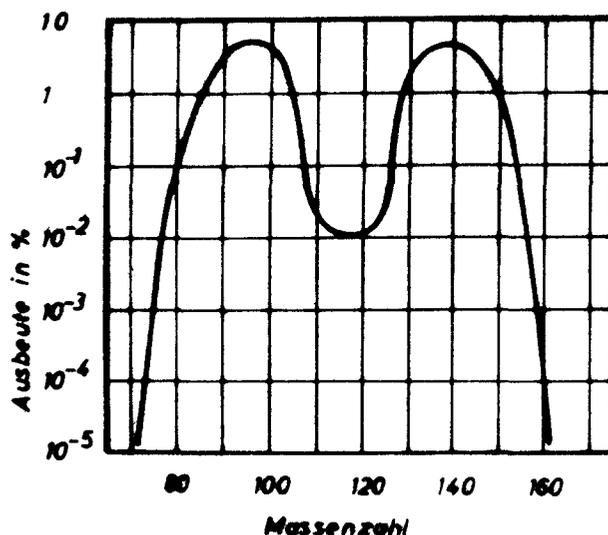


Abb.1 Häufigkeitsverteilung der Spaltprodukte von U-235

Man sieht, daß Kernbruchteile mit Massenzahlen um 95 und 140 herum am häufigsten erzeugt werden.

Folgende Caesium-Isotope treten bei dem stufenweisen Zerfall dieser Bruchteile auf:

Cs-133 (stabil)	Cs-137 (30 a)
Cs-135 ( $2,6 \cdot 10^6$ a)	Cs-138 (32,2 min)
Cs-136 (13 d)	Cs-139 (9,5 min)
Cs-140 (66 s)	Cs-143 (kurz)
Cs-141 (25 s)	Cs-144 (kurz)
Cs-142 (8 s)	

Zur Herstellung von Cs-Strahlungsquellen trennt man das Cs chemisch von den übrigen Spaltprodukten. Man hat dabei immer nur mit dem stabilen und den langlebigen Cs-Isotopen, also mit Cs-133, Cs-135 und Cs-137 zu tun, denn die anderen haben eine zu kurze Halbwertszeit.

Im Hinblick auf Gewinnung radioaktiven Caesiums für Bestrahlungszwecke ist von den drei genannten langlebigen Cs-Isotopen das Cs-137 an erster Stelle zu nennen. Sein Urmutterkern entsteht bei der Uran-spaltung mit 6,15 % Häufigkeit. Sein Zerfallsschema ist in Abb. 2 dargestellt [2].

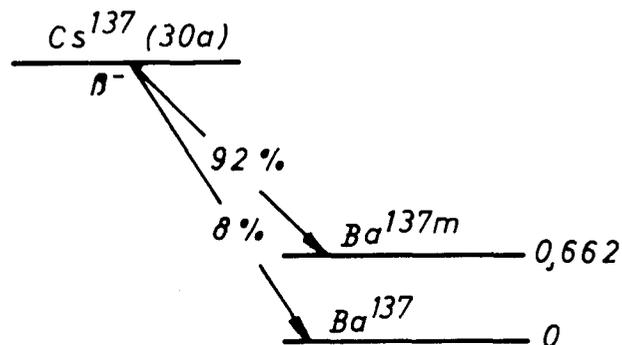


Abb.2 Zerfallsschema von Cs-137

Das Cs-137 selbst ist ein  $\beta^-$ -Strahler, d.h. es wandelt sich beim Zerfall in Ba-137 um, welches stabil ist. Bei der Umwandlung von

Caesium in Barium gehen 8 % der Kerne durch Emission eines  $\beta^-$ -Teilchens (Maximalenergie 1,18 MeV) in den Grundzustand des Ba-137 über. Die übrigen 92 % gelangen durch Aussendung von  $\beta^-$ -Teilchen (Maximalenergie 0,52 MeV) zuerst in einen metastabilen Zustand des Ba-137 mit einer Halbwertszeit von 2,6 min. Aus diesem Zustand gelangen sie unter Abgabe je eines  $\gamma$ -Quantens von 0,66 MeV in den Grundzustand. Diese  $\gamma$ -Strahlung des angeregten Ba-137 Kernes ist die wirksame Strahlung aller Caesium-Bestrahlungsanlagen.

Das zweite langlebige Caesium-Isotop ist das Cs-135. Sein Urmutterkern tritt mit einer Häufigkeit von 6,41 % auf. Da es aber keine  $\gamma$ -Strahlung, sondern nur  $\beta^-$ -Strahlung mit einer Maximalenergie von 0,2 MeV emittiert, trägt es in Cs-Strahlungsquellen nicht zur Strahlenwirkung bei. Die  $\beta^-$ -Strahlung wird stets durch Kapseln, die das Quellenmaterial umgeben, und durch ein Al-Filter absorbiert.

Schließlich ist noch das Cs-133 zu nennen, das stabile Endprodukt einer Reihe von Kernen mit der Massenzahl 135, deren Urmutterkern mit einer Häufigkeit von 6,59 % entsteht. Da es stabil ist, spielt es als Strahlenlieferant keine Rolle. Aber es hat einen beträchtlichen Einfangquerschnitt für thermische Neutronen (26 barn) und wird deshalb zum Teil durch Neutroneneinfang in Cs-134 umgewandelt.

In Reaktoren, bei denen der Brennstoff in wässriger Lösung vorliegt und aus denen die Spaltprodukte unmittelbar nach ihrer Entstehung abgeführt werden, kann sich kaum Cs-134 bilden. Bei den meisten Reaktortypen werden aber die in dem Brennstoff gebildeten Spaltprodukte erst nach Monaten oder Jahren aus dem Reaktor entfernt. In solchen Fällen kann also, je nach Neutronenflußdichte und Verbleib der Spaltstoffe im Reaktor, ein beträchtlicher Anteil des Cs-133 in Cs-134 (Halbwertszeit 2,3 a) umgewandelt werden. Dies kann merkbar zur Strahlenwirkung der Cs-Bestrahlungsquellen beitragen. Abbildung 3 zeigt das Zerfallsschema des Cs-134 [2]. Es ist recht kompliziert, und es werden  $\gamma$ -Quanten der verschiedensten Energien emittiert. Die härtesten haben eine Energie von 1,4 MeV.

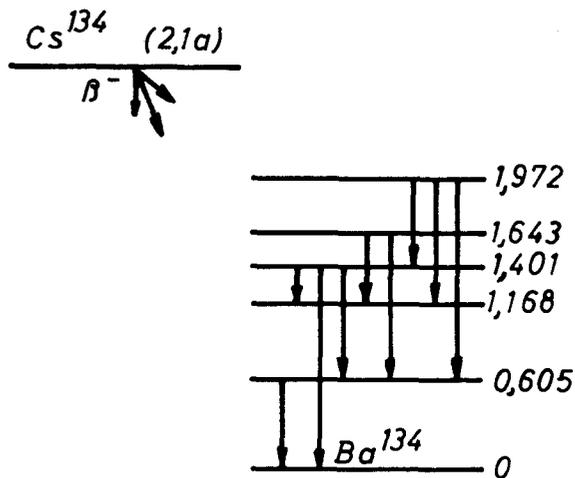


Abb.3 Zerfallschema von Cs-134

Man hat also bei der chemischen Abtrennung von Cs aus verbrauchten Urankernbrennstoffen mit den 4 Isotopen Cs-133, Cs-134, Cs-135 und Cs-137 zu tun. Zur Strahlenwirkung in Cs-Bestrahlungsquellen tragen die Isotope Cs-137 und Cs-134 bei. Die Gesamtmenge der aus Kernbrennstoffen gewonnenen langlebigen Cs-Isotope verhalten sich, da die Halbwertszeiten der Muttersubstanzen in jedem Falle sehr klein sind, etwa wie die Häufigkeiten der Urmutterkerne. Man rechnet mit etwa 35 % Cs-137, 35 % Cs-135 und 30 % Cs-133 + Cs-134. Der Cs-134-Anteil ist abhängig von der Bestrahlungszeit, vom Typ des Reaktors und von dem Alter der Bestrahlungsquelle.

## 2.2 Spezifische Aktivität

Nach der Definition der Aktivitätseinheit finden in 1 c eines Radionuklides  $3,7 \cdot 10^{10}$  Umwandlungen pro Sekunde statt. Die für 1c benötigte Gewichtsmenge läßt sich folgendermaßen berechnen:

Wir schreiben das Zerfallsgesetz in der Form

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N = \Lambda \quad (1)$$

wobei N die Zahl der im Augenblick vorhandenen radioaktiven Atome,  $\lambda$  die Zerfallskonstante und  $\Lambda$  die Aktivität in Zerfällen pro Sekunde darstellt. Außerdem gilt

$$\lambda = \frac{0,693}{T} \quad (2)$$

wobei T die Halbwertszeit des Radionuklides ist. Das Gewicht eines einzelnen Atoms ist gegeben durch

$$G_1 = \frac{A}{L}$$

$A$  ist das Atomgewicht,  $L$  die Loschmidt-Zahl ( $6,023 \cdot 10^{23} \text{ Mol}^{-1}$ ). Das Gewicht von  $N$  Atomen ist dann

$$G = N \frac{A}{L}$$

Aus (1) folgt

$$N = \frac{\Delta}{\lambda}$$

also

$$G = \frac{A \cdot \Delta}{L \cdot \lambda}$$

Setzt man für  $\lambda$  unter Verwendung von (2) die Halbwertszeit  $T$  ein, erhält man

$$G = \frac{A \cdot T \cdot \Delta}{L \cdot 0,693}$$

Mit dem Zahlenwert für  $L$ , der Aktivität in Curie und der Halbwertszeit  $T$  in Tagen folgt

$$G = \frac{A \cdot T}{6,023 \cdot 10^{23} \cdot 0,693} \cdot 8,64 \cdot 10^4 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot \Delta$$

$$G = 7,63 \cdot 10^{-9} \cdot A \cdot T \cdot \Delta \quad (3)$$

Für Cs-137 ist  $A = 137$  und  $T = 30 \cdot 365 = 10\,950$  Tage. Für 1 Curie Cs-137 ( $\Delta = 1$ ) gilt demnach

$$G = 7,63 \cdot 10^{-9} \cdot 137 \cdot 10\,950 \text{ g}$$

$$G = 11,4 \text{ mg Cs-137 pro Curie} \quad (4)$$

Cs ist ein Alkalimetall, das dem Kalium recht ähnlich ist. Es ist auch entsprechend chemisch aktiv. Der Schmelzpunkt liegt bei  $26,5^\circ\text{C}$ . Aus diesem Grunde ist reines Cs für die Verwendung in Strahlungsquellen nicht geeignet. Als Quellenmaterial benutzt man Cs-Verbindungen, die möglichst folgende Eigenschaften haben sollen:

1. Geringe chemische Reaktionsfähigkeiten
2. Hoher Schmelzpunkt
3. Hoher prozentualer Cs-Gehalt

Tabelle 1 zeigt die entsprechenden Eigenschaften einiger Cs-Verbindungen [3].

Den an das Quellenmaterial gestellten Ansprüchen genügen am besten CsCl und Cs<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Die Cs-Quelle der KFA Jülich enthält CsCl.

Tabelle 1:

Material	Schmelzpunkt °C	Dichte g.cm <sup>-3</sup>	Cs-Gehalt g.cm <sup>-3</sup>	ohem. Reaktions- fähigkeit
Cs	26,5	1,87	1,87	sehr stark
Cs <sub>2</sub> O		4,36	4,13	zieml. stark
CsCl	638	3,99	3,17	schwach
CsJ	621	4,51	2,34	schwach
Cs <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ca. 1000	4,24	3,14	schwach
CsH	ca. 700	3,41	3,38	wenig stabil

1 Curie reines Cs-137 wiegt 11,4 mg (siehe Gl. (4)). 1 g sind dann

$$\frac{1000}{11,4} = 88 \text{ Curie.}$$

1 cm<sup>3</sup> reines Cs<sup>137</sup>Cl enthält 3,17 g Cs-137 (siehe Tab. 1).  
In 1 cm<sup>3</sup> Cs<sup>137</sup>Cl sind also

$$3,17 \cdot 88 = 278 \text{ Curie Cs-137}$$

enthalten.

Da aber in aus Spaltprodukten gewonnenem CsCl nur 35 % des Cs-Gehaltes aus Cs-137 bestehen, ergeben sich für festes CsCl

$$\frac{278 \cdot 35}{100} = 97 \text{ Curie Cs-137 pro cm}^3 \text{ CsCl.}$$

Bei der chemischen Aufbereitung des CsCl aus den Spaltstoffen erhält man aber pulverförmiges CsCl, das eine geringere Dichte als festes CsCl hat. In der hier beschriebenen Quelle beträgt sie 3,0 g · cm<sup>-3</sup> [4].

Die spezifische Aktivität der Quelle ist also

$$\frac{97 \cdot 3,0}{3,99} = 73 \text{ Curie Cs-137 pro cm}^3 \text{ CsCl.}$$

### 2.3 Dosisleistung

Zur Bestimmung der Dosisleistung berechnen wir zunächst die Dosiskonstante von Cs-137:

Wir nehmen eine punktförmige Strahlenquelle an. Die Quellenstärke sei durch  $S$  (Quanten pro  $s$ ), der Abstand zu einem beliebigen Punkt (Ort des Detektors) durch  $r$  gegeben. Zwischen der Quelle und dem Detektor befinde sich Luft. Die Zahl  $I$  der Quanten pro cm<sup>2</sup> und  $s$  in der Umgebung des Detektors ist gegeben durch

$$I = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu r} \left[ \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (5)$$

$\mu$  ist der lineare Schwächungskoeffizient für  $\gamma$ -Strahlung in Luft. Der erste Faktor stellt das quadratische Abstandsgesetz dar, der zweite die Absorption und die Streuung der Quanten. Differenzieren wir den Ausdruck, so erhalten wir

$$-\frac{dI}{dr} = \frac{\mu S}{4\pi r^2} e^{-\mu r} + \frac{2S}{4\pi r^3} e^{-\mu r} \left[ \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (6)$$

Wenn der Abstand  $r$  groß genug ist, kann der letzte Summand vernachlässigt werden. Der erste Summand ist aber identisch mit  $\mu \cdot I$ . Also wird Gleichung (6), multipliziert mit der Quantenenergie  $E$ , zu

$$-\frac{dI}{dr} E = \mu \cdot I \cdot E \left[ \text{MeV} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (7)$$

In dem Energiebereich, der hier in Frage kommt, wird die Strahlungsschwächung fast ausschließlich durch den Comptoneffekt bestimmt. Berücksichtigen wir nur die tatsächlich absorbierte Energie, dann können wir an Stelle des allgemeinen Schwächungskoeffizienten  $\mu$  den Compton-Absorptionskoeffizienten  $\sigma_a$  einsetzen und erhalten mit

$$-\frac{dI}{dr} E = \sigma_a \cdot I \cdot E \left[ \text{MeV} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1} \right]$$

die Abnahme des Quantenflusses pro Wegelement durch Absorption, multipliziert mit der Quantenenergie  $E$ . Dieser Ausdruck gibt die pro  $\text{cm}^3$  Luft in der Sekunde absorbierte Energie, also die Dosisleistung wieder. Da aber 1 r der Absorption von  $7,07 \cdot 10^4$  MeV pro  $\text{cm}^3$  Luft entspricht, folgt als Dosisleistung

$$P = -\frac{dI}{dr} E = \frac{\sigma_a \cdot I \cdot E}{7,07 \cdot 10^4} \left[ \text{r/s} \right] \quad (8)$$

Für  $\gamma$ -Strahlung in Luft gilt im interessierenden Energiebereich

$$\sigma_a = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}.$$

Für die Dosisleistung  $P$ , gemessen in r/h, erhält man

$$P = \frac{3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 3,6 \cdot 10^3}{7,07 \cdot 10^4} \cdot I \cdot E = 1,78 \cdot 10^{-6} \cdot I \cdot E \text{ r/h} \quad (9)$$

Diese Formel kann man zur Dosisleistungsberechnung verwenden, wenn der  $\gamma$ -Fluß am interessierenden Ort bekannt ist. Aus (9) folgt mit (5)

$$P = 1,78 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu r} \quad (10)$$

Der Exponentialfaktor geht wegen der Kleinheit von  $\mu$  in Luft gegen 1. Für  $S$  setzen wir  $\Lambda \cdot 3,7 \cdot 10^{10}$ , wobei  $\Lambda$  die Aktivität in Curie bedeutet. Gibt man den Abstand  $r$  in m an, so wird aus (10)

$$P = 1,78 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-4} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot \frac{\Lambda E}{4\pi r^2}$$

$$P = 0,512 \cdot E \cdot \frac{\Lambda}{r^2} \text{ r/h} \quad (11)$$

Werden pro Zerfall mehrere Quanten emittiert, wird aus (11)

$$P = 0,512 \cdot \sum_i (p_i \cdot E_i) \frac{\Delta}{r^2} \quad (12)$$

$P_i$  ist die Wahrscheinlichkeit eines Überganges mit der Quantenenergie  $E_i$ .  
Der Faktor

$$i_\gamma = 0,512 \cdot \sum_i (p_i \cdot E_i) \quad (13)$$

wird Dosiskonstante genannt. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Formeln (9) bis (13) nur Näherungen für den Comptonbereich darstellen, d.h. sie sind annähernd gültig für  $\gamma$ -Energien von 0,2 bis 2 MeV.

Die Dosiskonstante für Cs-137 ergibt sich nach (13) wie folgt:

$$p = 0,92 \text{ (da nur 92\% der Cs-137-Atomkerne in den angeregten Zustand des Ba-137 übergehen)}$$

$$E = 0,66 \text{ MeV}$$

$$i_\gamma = 0,512 \cdot 0,66 \cdot 0,92 = 0,31 \frac{r \cdot m^2}{h \cdot c}$$

Zur Berechnung der Dosisleistung einer Cs-137-Quelle erhält man die Formel

$$P = 0,31 \cdot \frac{\Delta}{r^2} \quad (14)$$

Die Dosiskonstante der  $\gamma$ -Strahlung des Cs-134 beträgt 0,90.

## 2.4 Zusammenfassung

Aus den Abschnitten 2.1 bis 2.3 resultieren folgende Ergebnisse:

1. In einer Cs-Strahlenquelle sind Cs-133 + Cs-134 zu etwa 30 %, Cs-135 zu etwa 35 % und Cs-137 ebenfalls zu etwa 35 % vorhanden.
2. Zur Strahlenwirkung trägt hauptsächlich Cs-137 bei. Der Anteil des Cs-134 ist vom Reaktortyp, von der Verweilzeit der Spaltprodukte im Reaktor und vom Alter der Cs-Quelle abhängig.
3. Für 1 Curie benötigt man 11,4 mg Cs-137.
4. 1 g Cs-137 ergeben 88 Curie.
5. 1 cm<sup>3</sup> festes Cs<sup>137</sup>Cl enthält 3,17 g Cs-137. Das sind 278 c.
6. 1 cm<sup>3</sup> festes CsCl mit den Isotopen Cs-133 + Cs-134, Cs-135 und Cs-137 enthält 97 Curie Cs-137.
7. 1 cm<sup>3</sup> pulverförmiges CsCl der Dichte 3,0 g/cm<sup>3</sup> enthält 73 c Cs-137.
8. Die Dosiskonstante für die  $\gamma$ -Strahlung des Cs-137 beträgt 0,31, bei Cs-134 rechnet man mit 0,90.

## 3. BESCHREIBUNG DER ANLAGE

## 3.1 Die Quelle

Das CsCl-Pulver befindet sich in einem Zylinder aus rostfreiem Stahl, der von einem zweiten aus dem gleichen Material umschlossen wird. Der äußere Zylinder ist 4,3 cm hoch und hat einen Durchmesser von 4,0 cm. Der Innendurchmesser des Innenzylinders beträgt 3,2 cm, die Füllhöhe 3,77 cm. Die Zylinderbodendicke in Strahlrichtung beträgt 0,5 mm. Es befinden sich  $30,3 \text{ cm}^3$ , d.h. 91 g CsCl in der Kapsel.

## 3.2 Die Quellenstärke

Da  $1 \text{ cm}^3$  CsCl 73 Curie ergeben, erhält man mit  $30,3 \text{ cm}^3$  CsCl  $30,3 \cdot 73 = 2212$  Curie Cs-137. Nach Angaben der Firma PICKER wurden im Herstellungsort Oak Ridge im Dezember 1959 in der hier beschriebenen Quelle 52 Curie Cs-134 festgestellt [4]. Nimmt man an, daß dieses Datum mit dem Herstellungsdatum des Quellenmaterials identisch ist, so ergeben sich für Dezember 1959

2212 Curie Cs-137 und

52 Curie Cs-134

als absolute Aktivitäten.

Mit den Halbwertszeiten von 30 und 2,3 Jahren für Cs-137 und Cs-134 erhält man zum Zeitpunkt unserer Messungen (18.5.1961)

2141 Curie Cs-137 und

35,2 Curie Cs-134

als absolute Aktivitäten.

Als Dosisleistung errechnet man bei Cs-137 für 1 m Abstand

$$P = 0,31 \cdot \frac{2141}{1} = 664 \text{ r/h (nach Gl.14).}$$

Für Cs-134 erhält man

$$P = 0,90 \cdot \frac{35,2}{1} = 31,7 \text{ r/h,}$$

also insgesamt  $685,7 \text{ r/h.}$

Bei einem zylinderförmigen CsCl-Präparat von 3,7 cm Höhe kann die Selbstabsorption der  $\gamma$ -Strahlung durch das Quellenmaterial nicht vernachlässigt werden. Man kann zeigen [5], daß in Richtung senkrecht zur Zylindergrundfläche nur der Bruchteil

$$\frac{1 - e^{-\mu h}}{\mu h}$$

der in dieser Richtung emittierten  $\gamma$ -Strahlung herauskommt.  $h$  ist die Höhe des Zylinders. Der Massenschwächungskoeffizient  $\mu/\rho$  von CsCl für die 0,66 MeV  $\gamma$ -Strahlung beträgt  $0,077 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  [6].

In unserem Falle erhält man

$$\mu = 3,0 \cdot 0,077 = 0,231 \text{ cm}^{-1}$$

und

$$\frac{1 - e^{-\mu h}}{\mu h} = \frac{1 - e^{-0,231 \cdot 3,7}}{0,231 \cdot 3,7} = 0,67$$

d.h. 33 % der 0,66 MeV  $\gamma$ -Strahlung des Cs-137 gehen durch Selbstabsorption verloren. Für die  $\gamma$ -Strahlung des Cs-134 ergeben sich 30 % Selbstabsorption.

Mit diesen Werten bekommt man als effektive Aktivität für den Zeitpunkt unserer Messungen (18.5.1961)

$$0,67 \cdot 2141 = 1435 \text{ Curie Cs-137 und}$$

$$0,70 \cdot 35,2 = 24,6 \text{ Curie Cs-134.}$$

Entsprechend waren zu diesem Zeitpunkt folgende Dosisleistungen in 1 m Abstand zu erwarten:

$$\text{von Cs-137} \quad 0,67 \cdot 664 = 445 \text{ r/h,}$$

$$\text{von Cs-134} \quad 0,70 \cdot 31,7 = 22 \text{ r/h,}$$

zusammen also 467 r/h.

Tatsächlich gemessen wurden an diesem Tage

$$495 \text{ r/h.}$$

Der gemessene Wert weicht um etwa 6 % vom berechneten ab. Man muß aber berücksichtigen, daß der gemessene Wert noch den von den Wänden des Therapieraumes verursachten Streuanteil enthält.

Die Abb. 4 und 5 zeigen die Abnahmen der absoluten Aktivitäten als Funktionen der Zeit.

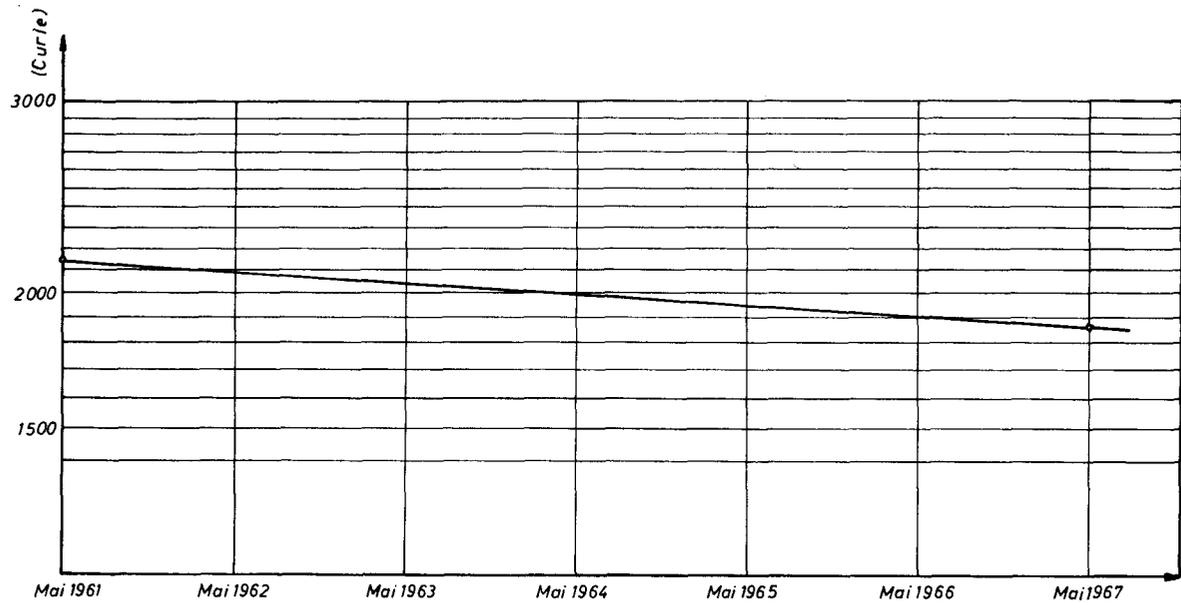


Abb.4 Abnahme der absoluten Cs-137-Aktivität

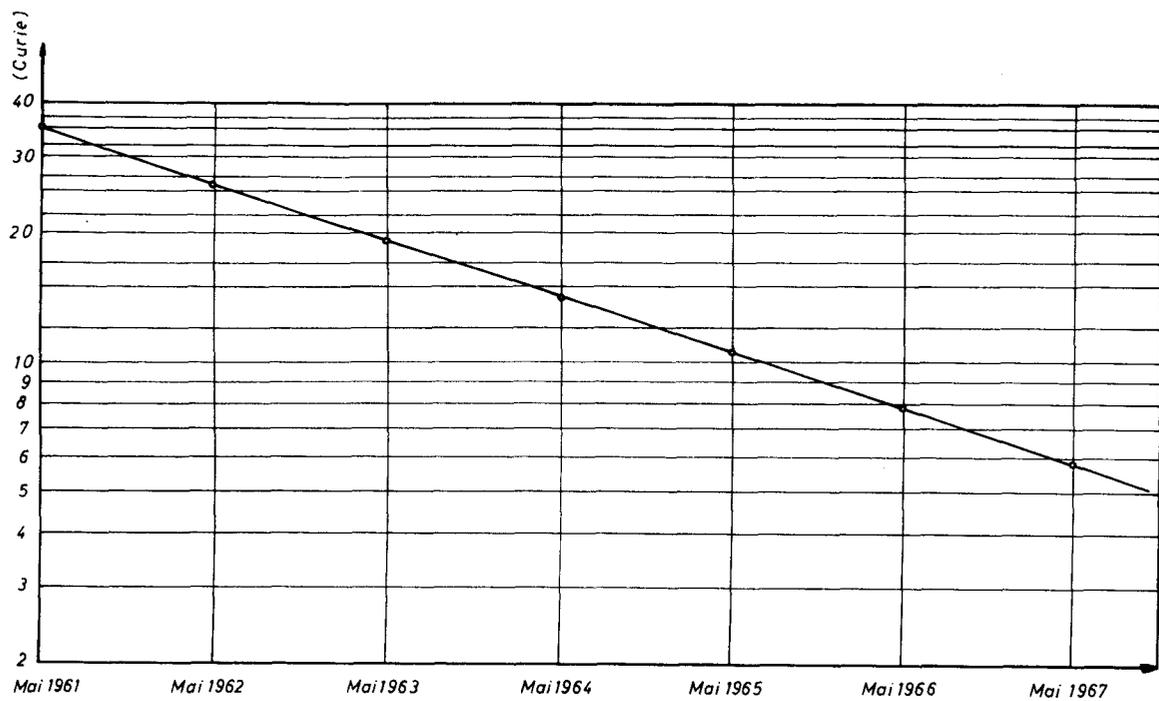


Abb.5 Abnahme der absoluten Cs-134-Aktivität

### 3.3 Der Strahlerkopf

Der doppelwandige Zylinder mit dem Quellenmaterial sitzt am Rande einer metallenen Kreisscheibe, die exzentrisch in einer Wolframkugel gelagert ist. Durch Rotation um ihre Mittelachse bringt die Kreisscheibe die Quelle in die Bestrahlungsposition oder in die Sicherheitsposition.

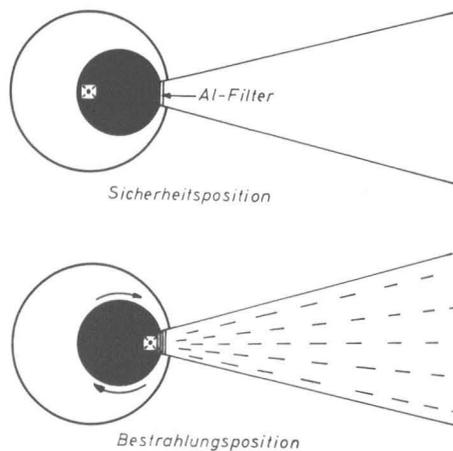
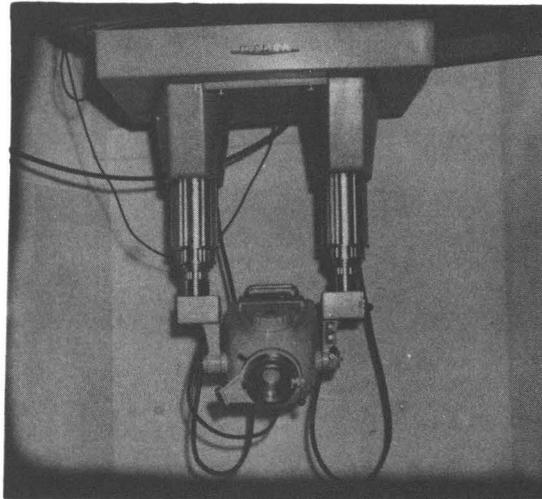


Abb.6 Sicherheits- und Bestrahlungsposition

Die Wellenantriebsfeder ist vom Schaltpult her motorisch zu bedienen. Eine Sicherheitsfeder befördert die Strahlenquelle in die Sicherheitsposition, wenn der Netzstrom ausfällt. Im Falle eines Versagens dieser Sicherung kann die Quelle durch das Handrad auf der Oberseite des Strahlerkopfes in die Sicherheitsposition gebracht werden.

#### 3.4 Die Halterung des Strahlerkopfes

Die Halterung besteht aus einer Längslaufeinrichtung, einer Querlaufeinrichtung und der Doppelteleskopsäule (Abb.7).

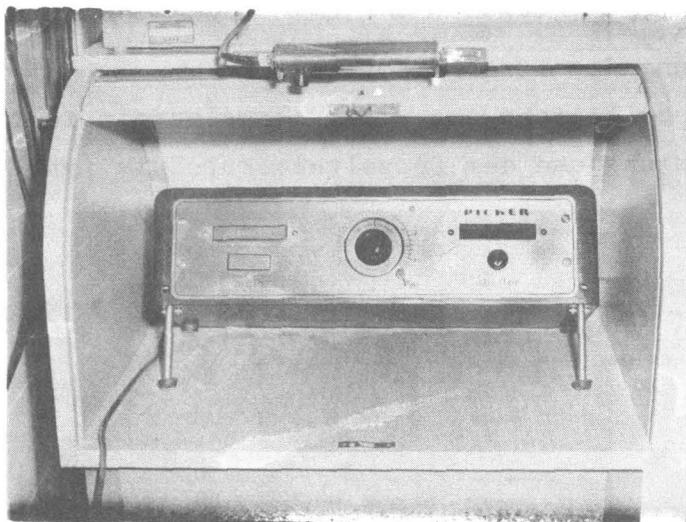


Die Längslaufeinrichtung ist für 158 cm, die Querlaufeinrichtung für 41 cm Lauf eingerichtet. Der Strahlerkopf kann  $360^\circ$  um die Vertikalachse rotieren. Die Halterung des Strahlerkopfes ermöglicht seine Drehung um die Horizontalachse um  $350^\circ$ . Längslauf, Querlauf, Rotation um die Vertikalachse und Rotation um die Horizontalachse erfolgen durch leichte Handbedienung. Die Doppelteleskopsäule erlaubt eine vertikale Bewegung von 120 cm. Der Mindestabstand

Decke - Quelle beträgt ebenfalls 120 cm. Die vertikale Einstellung erfolgt motorisch durch Kettenantrieb in der Säule. Ein Sicherheitsschalter für die Abschaltung des Motors, wenn der Strahlerkopf gegen ein Hindernis stößt, ist vorhanden.

### 3.5 Das Schaltpult

Das Schaltpult enthält die Instrumente und Einrichtungen zur Fernbedienung der Quelle. Durch den Hauptschalter (main) wird die Netzspannung ein- oder ausgeschaltet. An der Vorwähluhr wird die Bestrahlungszeit eingestellt. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgt durch Betätigen des Schalters an der Vorwähluhr und des Schlüsselschalters (shutter). Grünes Dauerlicht oder blinkendes Rotlicht zeigen an, ob sich die Quelle in Sicherheits- oder in Bestrahlungsposition befindet. Durch Drücken des Notschalters (emergency) kann eine Bestrahlung unverzüglich gestoppt werden (Einzelheiten siehe Abschnitt 5).



## 4. DOSISLEISTUNGSMESSUNGEN

### 4.1 Dosisleistung als Funktion des Abstandes

Abb.9 zeigt den Verlauf der Dosisleistung am 18.5.1961 als Funktion des Abstandes bei horizontaler Strahlung von der Treppwand (siehe Abb.13) zur Vorraumwand. Quelle und Meßgerät befanden sich 1,10 m über dem Fußboden. Benutzt wurde das Philips-Dosimeter Typ 37471/10 und die Ionisationskammer Typ 37486/10. Die Kammerachse verlief parallel zur Strahlrichtung. Der geometrische Mittelpunkt der Kammer wurde auch als Mittelpunkt des empfind-

lichen Volumens angenommen. Die angegebenen Entfernungen sind die Entfernungen vom Al-Filter bis zur Kammermitte.

Die Dosisleistungsmessung im Abstand 0,1 cm wurde mit Mikrat-Platten durchgeführt.

Man sieht aus dem Verlauf der Kurve, daß bis zu 30 cm heran das quadratische Abstandsgesetz für punktförmige Strahler angewendet werden kann.

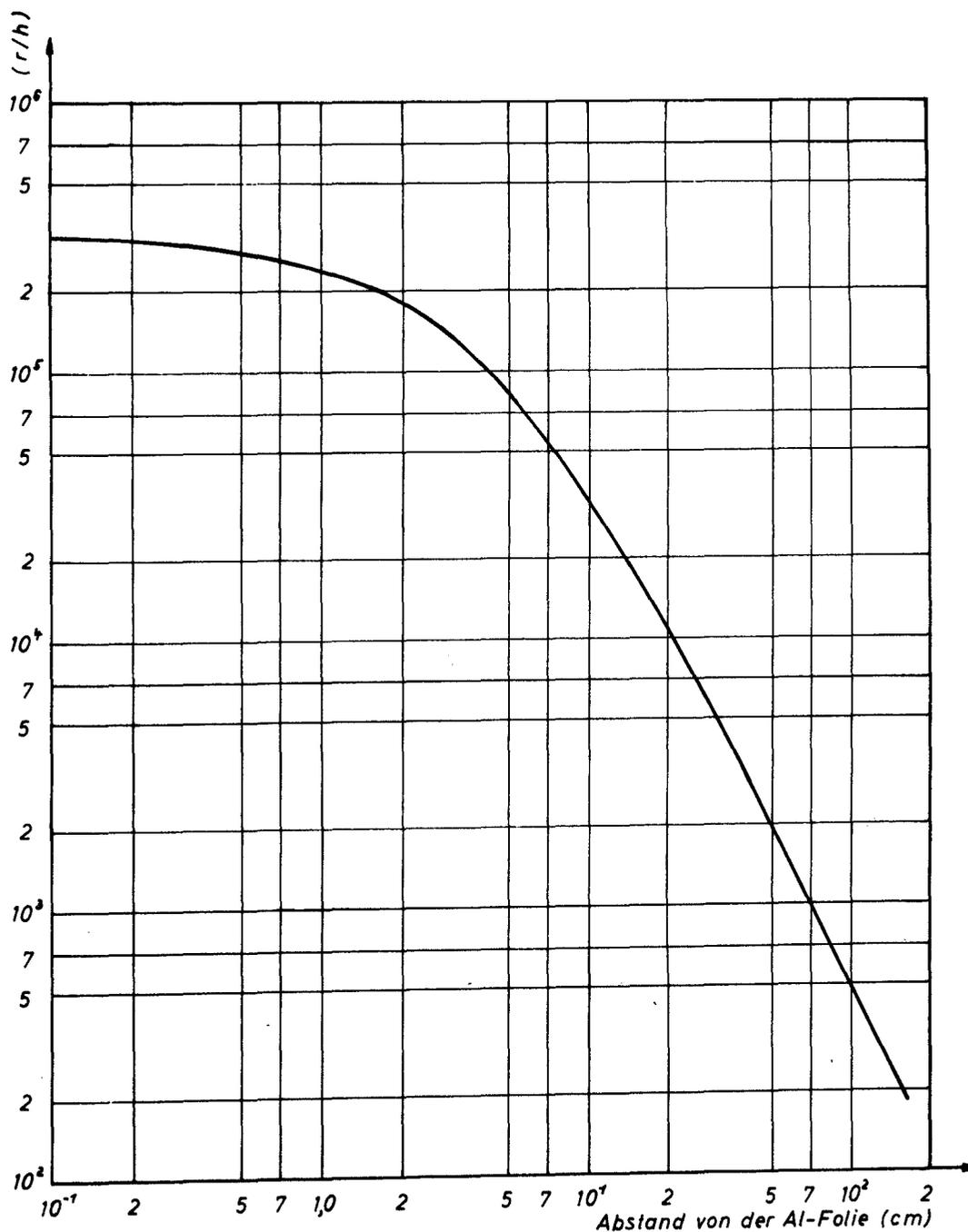


Abb. 9 Dosisleistung als Funktion des Abstandes (am 18.5.1961)

## 4.2 Dosisleistung mit Tuben

Tabelle 2 zeigt die Dosisleistung in r/min und die für 100 r benötigte Strahlungszeit bei Benutzung der verschiedenen Tuben. Die Werte gelten jeweils für die Mitte des Bestrahlungsfeldes in Höhe der Tubus-Vorderkanten. Die Messungen erfolgten mit dem Philips-Dosimeter.

Tabelle 2:

Tubus Nr.	Tubuslänge	Dosisleistung	Bestrahlungszeit für 100 r
1	15 cm	336,1 r/min	17,9 s
1	20 cm	225,0 r/min	26,7 s
2	15 cm	340,3 r/min	17,7 s
2	20 cm	223,0 r/min	26,9 s
3	27 cm	118,7 r/min	50,6 s
3	35 cm	74,4 r/min	80,7 s
3	50 cm	34,9 r/min	172,0 s
4	27 cm	119,6 r/min	50,2 s
4	35 cm	74,4 r/min	80,7 s
4	50 cm	34,9 r/min	172,0 s
5	15 cm	342,0 r/min	17,6 s
5	20 cm	226,0 r/min	26,5 s
6	15 cm	336,7 r/min	17,9 s
6	20 cm	223,0 r/min	26,9 s
7	27 cm	117,3 r/min	51,2 s
7	35 cm	72,1 r/min	83,3 s
7	50 cm	33,3 r/min	180,2 s
8	27 cm	119,9 r/min	50,0 s
8	35 cm	74,0 r/min	81,2 s
8	50 cm	35,1 r/min	171,0 s
9	15 cm	182,7 r/min	35,0 s
9	20 cm	155,7 r/min	38,6 s
10	15 cm	337,2 r/min	19,0 s
10	20 cm	223,1 r/min	26,9 s
11	27 cm	115,8 r/min	51,8 s
11	35 cm	69,8 r/min	86,0 s
11	50 cm	32,4 r/min	185,3 s
12	27 cm	119,4 r/min	50,2 s
12	35 cm	74,2 r/min	80,8 s
12	50 cm	35,9 r/min	167,1 s

Aus Abb. 10 kann man die Korrekturfaktoren entnehmen, mit denen man in den nächsten Jahren die in Tabelle 2 angegebenen Bestrahlungszeiten multiplizieren muß, um die Dosis 100 r zu bekommen.

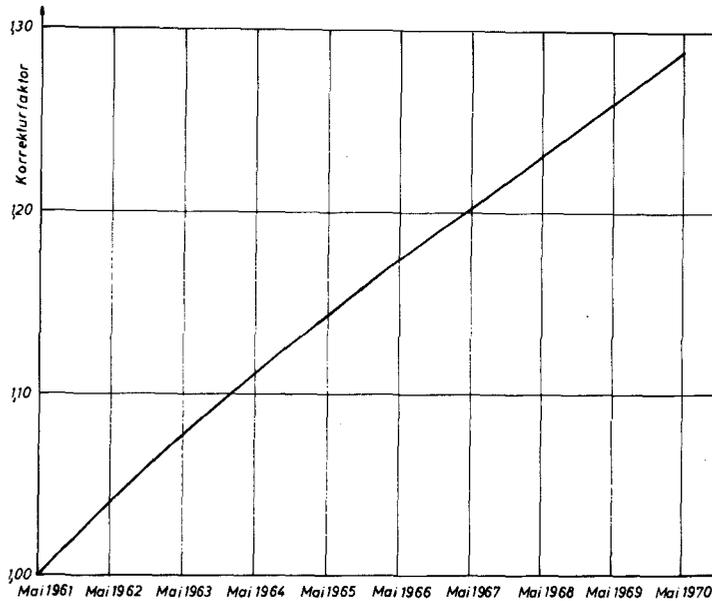


Abb.10 Korrekturfaktoren zu Tabelle 2

#### 4.3 Verteilung der Dosisleistungen im Strahlungskanal

Abb. 11 zeigt die Dosisleistungsverteilung im Strahlungskanal an der äußeren Öffnung des massiven Tubushalters. Der Durchmesser dieser Öffnung beträgt 10,2 cm. Sie läuft konisch auf das Al-Filter zu. Der Abstand vom Al-Filter zum äußeren Tubushalterrand beträgt 5,7 cm. In dieser Entfernung vom Al-Filter erfolgten die Messungen (Meßbedingungen wie in 4.1).

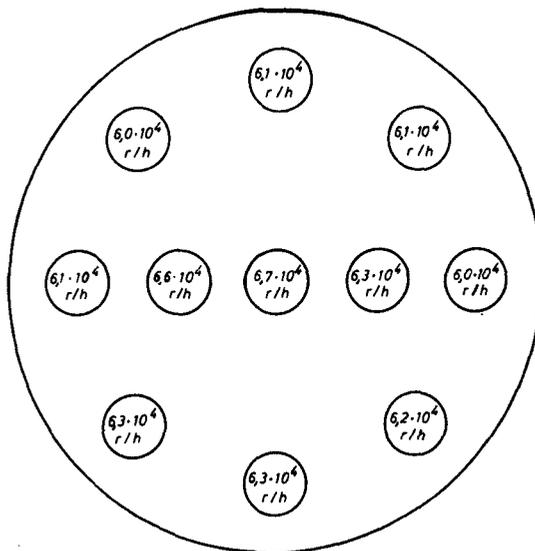


Abb.11 Dosisverteilung im Strahlungskanal (Abstand vom Al-Filter 5,7cm)

#### 4.4 Horizontale Dosisverteilung im Bestrahlungsraum

Die horizontale Verteilung der Dosisleistung im Bestrahlungsraum ist in Abb. 12 aufgezeichnet. Sie wurde folgendermaßen gemessen:

Die Quellenposition und die Strahlrichtung waren dieselben wie in 4.1. Die Dosisleistungen wurden in 3 Achsenpunkten in 25, 50 und 100 cm Entfernung vom Al-Filter und senkrecht zur Achse in gleicher Höhe in verschiedenen Abständen von den 3 Achsenpunkten gemessen. Die Richtungsbezeichnungen "rechts" und "links" in Abb.12 sind dabei so zu verstehen, daß die Blickrichtung parallel zur Achse auf die Quelle gerichtet ist.

#### 4.5 Dosisleistung in 10 cm Entfernung von der Oberfläche des Strahlerkopfes (Quelle in Sicherheitsposition)

Die Messungen wurden mit dem Dosisleistungsmeßgerät Rato C der Firma Bertold durchgeführt.

In 10 cm Entfernung vom Al-Filter betrug die Dosisleistung 48 mr/h, in 10 cm Entfernung von allen anderen Teilen des Strahlerkopfes maximal 22 mr/h.

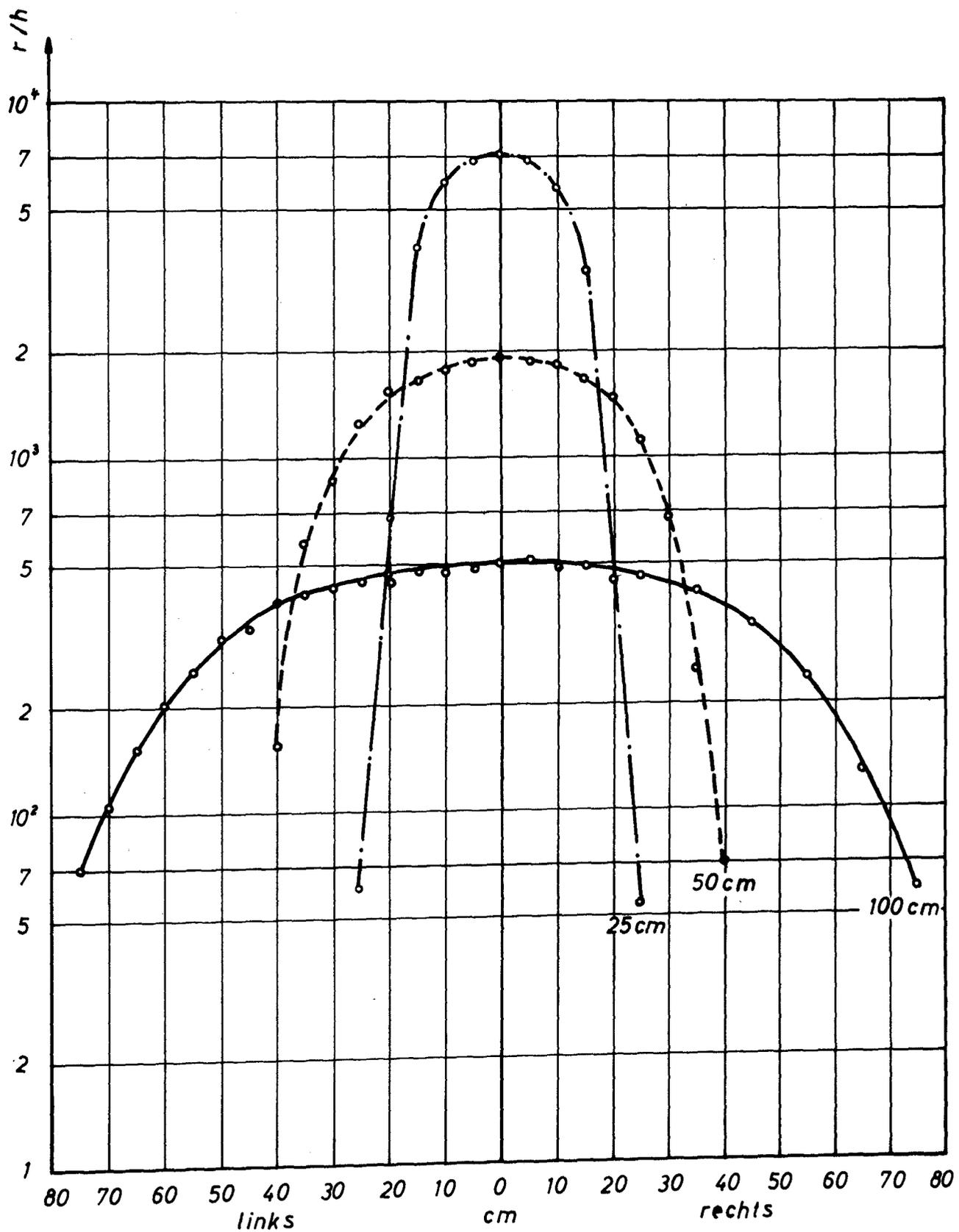


Abb.12 Horizontale Verteilung der Dosisleistung im Bestrahlungsraum

#### 4.6 Dosisleistung in den umliegenden Räumen

Zu diesen Messungen wurde die Quelle in Bestrahlungsposition gebracht. Ohne Tubus und bei höchster Stellung des Strahlerkopfes wurden die strahlenschutzmäßig ungünstigsten Einstellungen gewählt.

Einstellung A: Vor dem Therapieraumfenster, Strahlrichtung zum Hof

Einstellung B: An der Vorraumwand, Strahlrichtung zum Vorraum

Einstellung C: An der Treppenwand, Strahlrichtung zum Vorraum

Es wurden folgende Maximalwerte gemessen (Abb.13, Tab.3):

Tabelle 3:

	Einstellung A	Einstellung B	Einstellung C
(1) Vor der Tür zum Vorraum	50 $\mu\text{r/h}$	700 $\mu\text{r/h}$	400 $\mu\text{r/h}$
(2) An der Therapieraumwand im 2. Flur	40 $\mu\text{r/h}$	90 $\mu\text{r/h}$	100 $\mu\text{r/h}$
(3) Auf der Treppe zum Hof	50 $\mu\text{r/h}$	60 $\mu\text{r/h}$	50 $\mu\text{r/h}$
(4) Auf dem Hofe, hinter der Antitron-Abschirmung	50 $\mu\text{r/h}$	30 $\mu\text{r/h}$	30 $\mu\text{r/h}$
(5) Hof, auf dem Kies	60 $\mu\text{r/h}$	50 $\mu\text{r/h}$	55 $\mu\text{r/h}$
(6) Hof, am Lüftungsrohr des Therapieraums	3 $\text{mr/h}$	50 $\mu\text{r/h}$	50 $\mu\text{r/h}$
Erdgeschoß, Toilettenraum	70 $\mu\text{r/h}$	100 $\mu\text{r/h}$	150 $\mu\text{r/h}$
Erdgeschoß, Flur vor Toilettenraum u. Teeküche	55 $\mu\text{r/h}$	50 $\mu\text{r/h}$	50 $\mu\text{r/h}$
Krankenzimmer gegenüber Toilettenraum	30 $\mu\text{r/h}$	30 $\mu\text{r/h}$	30 $\mu\text{r/h}$

Die angegebenen Meßwerte enthalten noch den Nulleffekt, der überall etwa 20  $\mu\text{r/h}$  betrug.

Von den angegebenen Örtlichkeiten gilt die nächste Umgebung des Lüftungsrohres auf dem Kies der Abschirmung im Hof bei Bestrahlung in Einstellg.A (Dosisleistung 3  $\text{mr/h}$ ) als Kontrollbereich. Das Betreten der Kiesabschirmung bei Bestrahlungen ist deshalb ohne Personendosimeter verboten.

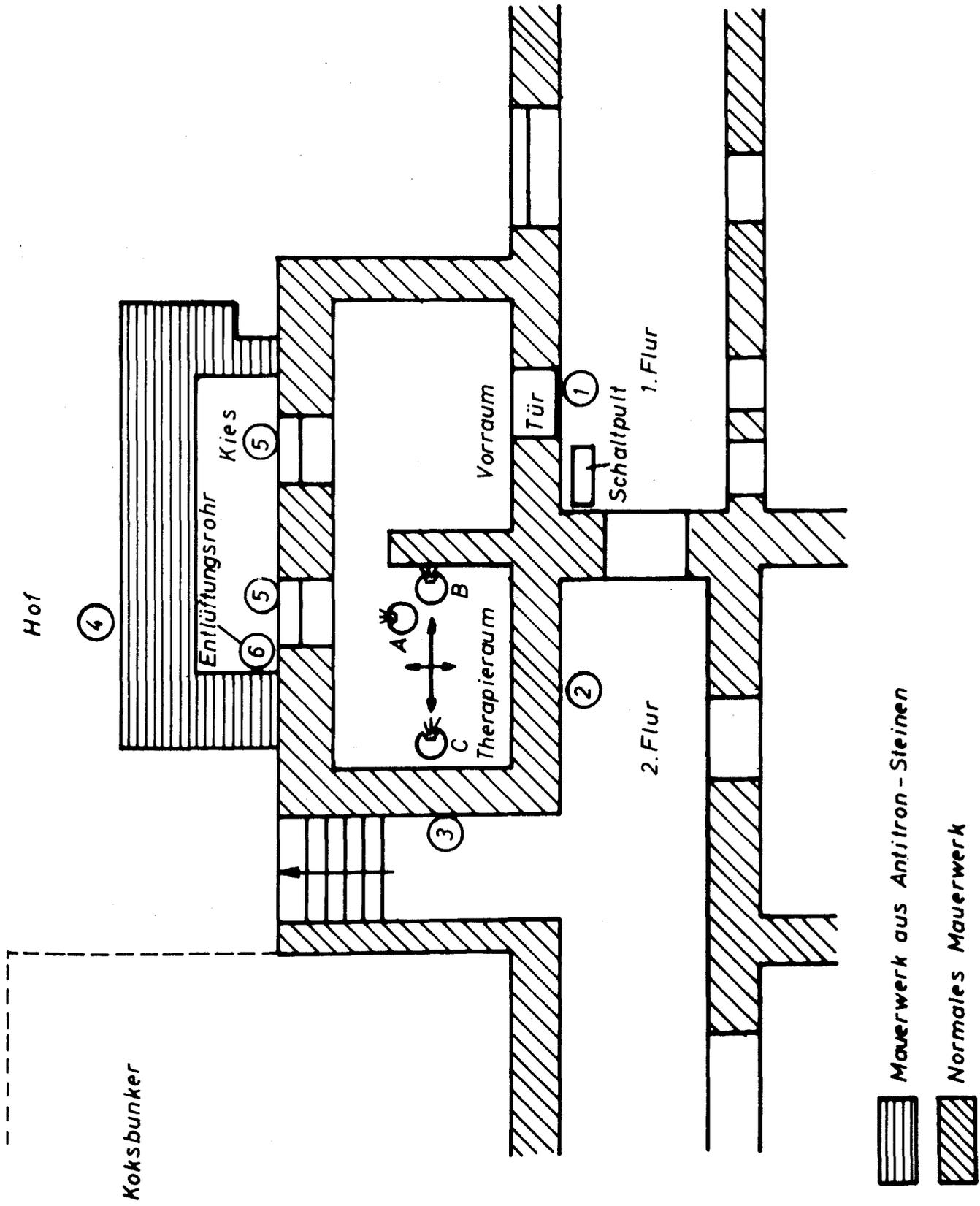


Abb.13 Lageplan

## 5. BEDIENUNGSANLEITUNG

### 5.1 Einschalten

1. Hauptschalter (main) links unten auf dem Schaltpult bei "on" drücken. Oben rechts auf dem Schaltpult, über der Vorraumtür und im Vorraum selbst leuchten grüne Lichter auf und zeigen an, daß die Netzspannung eingeschaltet ist und daß sich die Quelle in Sicherheitsposition befindet.
2. Strahlerkopf und zu bestrahlendes Objekt in Bestrahlungsposition bringen.  
Die Vertikaleinstellung des Strahlerkopfes erfolgt motorisch durch Bedienen eines Hebels an der rechten Strahlerkopfhalterung. Die Horizontaleinstellung und die Einstellung der Neigung des Strahlerkopfes werden manuell vorgenommen. Durch Schalter in der rechten Strahlerkopfhalterung werden die Einstellungen arretiert.
3. Bestrahlungsraum verlassen und Vorraumtür fest schließen.
4. Bestrahlungszeit an der Uhr auf dem Schaltpult vorwählen.
5. Schalter unten rechts an der Vorwähluhr auf dem Schaltpult auf "on" stellen.
6. Spezialschlüssel in das Schloß (shutter) am Schaltpult stecken.
7. Schlüssel nach rechts drehen.

Dadurch wird die Quelle in Bestrahlungsposition gebracht. Die grünen Lichter oben rechts auf dem Schaltpult über der Vorraumtür und im Vorraum erlöschen. Neben ihnen leuchten rote Warnlichter auf. Das Warnlicht auf dem Schaltpult erscheint periodisch und wird von einem akustischen Signal begleitet. Die Quelle ist in Betrieb.

### 5.2 Ausschalten

1. Automatisch nach Ablauf der vorgewählten Zeit oder
2. durch Stellen des Uhrsalters auf "off" oder
3. durch Drücken des Notschalters (emergency) oder
4. durch Öffnen der Vorraumtür oder
5. durch Drücken des Hauptschalters (main) bei "off".

In allen 5 Fällen wird die Quelle automatisch in Sicherheitsposition gebracht. Im Normalfall werden die Möglichkeiten 1 und 2 benutzt. Falls wegen eines Defektes die Quelle durch keine der genannten 5 Möglichkeiten ausgeschaltet wird, muß sie durch Dre-

hen des Handrades auf der Oberseite des Strahlerkopfes in Sicherheitsposition gebracht werden.

## 6. STRAHLENSCHUTZ - AUFLAGEN

Die Cs-Therapiequelle der KFA Jülich gilt nicht als Gerät, Anlage oder Vorrichtung, deren Betrieb nach § 14 der Strahlenschutzverordnung nach Zulassung der Bauart keiner Genehmigung bedarf, denn sie ist

1. zu Heilzwecken bestimmt und hat
2. im Abstand von 0,1 m von der berührbaren Oberfläche eine höhere Dosisleistung als 0,1 mrem/h.

Bezug, Besitz und Verwendung der Anlage sind deshalb genehmigungspflichtig. Die Genehmigung ist unter der Nr. Is/183/60 am 27. Juli 1960 vom Bundesminister für Atomenergie und Wasserwirtschaft erteilt worden.

Um den Strahlenschutz zu gewährleisten, müssen folgende Bestimmungen eingehalten werden:

1. Die Unversehrtheit der Umhüllung des Quellenmaterials ist in regelmäßigen Abständen zu überprüfen.  
Die Prüfung darf nur in Gegenwart eines Beauftragten der Abteilung Strahlenschutz der KFA vorgenommen werden.
2. Als Strahlrichtung ist nur die Richtung auf den Fußboden, auf die Vorraumwand und auf die Hofwand zugelassen. Die Rotation des Strahlerkopfes um die Horizontalachse muß auf  $90^{\circ}$  beschränkt bleiben.
3. Die an der Anlage Arbeitenden gelten als beruflich strahlenexponierte Personen nach § 24 der Strahlenschutzverordnung.

Im übrigen gelten die in der 2. Auflage des Einsatzplanes für die Cs-137-Therapieanlage niedergelegten und über dem Schaltpult ausgehängten Bestimmungen.

## 7. L I T E R A T U R

1. Murray, R.L.  
Einführung in die Kerntechnik, 1959
2. Strominger, D., J.M. Hollender, G.T. Seaborg  
Rev. mod. Phys. 30, 715 (1958)
3. Mellnik, J.H.  
Atompraxis 4, 211 (1958)
4. Private Mitteilung der Firma PICKER
5. Wilson, C.W.  
Am.Journ. Roentgenol. 65, 26 (1951)
6. Devisson, C.H., R.D. Evans  
Rev. mod. Phys. 24, 79 (1952)