

Interner Bericht
DESY D3/9
April 1972

DESY-Bibliothek
12. MAI 1972

DESY-Bibliothek
12. MAI 1972

Messung der Dosisleistung, die während des Betriebes im
Raum des Elektronensynchrotrons auftritt

von

K. Tesch



B E R I C H T I G U N G

Interner Bericht DESY D3/9

Im Internen Bericht DESY D3/9 "Messung der Dosisleistung, die während des Betriebes im Raum des Elektronensynchrotrons auftritt", müssen die Bildunterschriften folgendermaßen lauten:

- Fig.1 Dosisleistungen [rem/h] bei der Ejektion eines Elektronenstrahls, normiert auf 30 GeV mA.
- a) Dosisleistungen der elektromagnetischen Komponente in der Strahlebene (obere Ziffer) und unterhalb der Strahlebene (untere Ziffer)
 - b) Dosisleistung der Neutronen im Bereich von thermischer Energie bis 10 MeV.
- Fig.2 Dosisleistungen [rem/h] bei der internen Erzeugung eines γ -Strahls, normiert auf 30 GeV mA.
- a) und b) wie Fig.1.



Messung der Dosisleistung, die während des Betriebes im
Raum des Elektronensynchrotrons auftritt

K. Tesch

Deutsches Elektronensynchrotron DESY, Hamburg

Abstract

The mean dose rates at 30 positions inside the ring tunnel of the synchrotron and in the room of the 40-MeV linac are measured during the operation of the accelerator. From the data obtained in a running period of 7000 hours the dose rates for two typical working conditions are deduced: the ejection of an electron beam and the internal production of a γ -beam. The results are normalized to 30 GeV mA. The electromagnetic component (being the most important dose component) is measured by means of glass dosimeters in the beam's plane and below it; the suitability of their usual calibration for the considered situation and the dependence of the dose from the depth of tissue are discussed. The neutron dose rates are measured in 3 energy intervals: thermal energy, thermal energy to 10 MeV, and 3 MeV to 70 MeV.

1. Zweck und Umfang der Messung

Wie die meisten hochenergetischen Beschleuniger sind auch am DESY der Ring des Synchrotrons und die Einschubbeschleuniger von einer dicken Abschirmung umgeben, die alle Strahlungskomponenten total absorbiert. Während des Betriebes wird ein Zutritt durch ein Interlocksystem verhindert. Der tatsächlich beim Betrieb im Beschleunigerraum auftretende Strahlungspegel ist daher nicht von unmittelbarem Interesse und bei den meisten Beschleunigern auch völlig unbekannt. Dennoch gibt es Gründe, die es ratsam erscheinen lassen, wenigstens größenordnungsmäßig über die Dosisleistung im Beschleunigerraum Bescheid zu wissen. Einige davon sind folgende:

1. Es kann nicht völlig ausgeschlossen werden, daß einmal eine Person im Beschleunigerraum zurückbleibt. Nach einem solchen Vorfall ist es wichtig, die empfangene Dosis abzuschätzen, um schnell die richtigen Maßnahmen treffen zu können.
2. Abschirmmaßnahmen an Durchführungen, Winkelgängen usw. können besser beurteilt werden.
3. Soll einmal zusätzlich zu den üblichen Personendosimetern ein Unfalldosimeter getragen werden (wie z.B. an manchen Reaktorstationen), ist die Kenntnis der wichtigsten Strahlenkomponenten notwendig.

Es wurden daher an den Stellen im Beschleuniger, an denen sich möglicherweise Personen aufhalten könnten, sowie entlang der Innenseite der Abschirmung Dosismessungen während des Betriebes durchgeführt. Nicht untersucht sollen mit diesen Messungen das Problem der Dosis in einem γ - oder Elektronenstrahl sowie das Problem von Strahlenschäden an Materialien; alle Meßpositionen sind vom zirkulierenden Strahl oder von externen Strahlen mindestens 20 cm entfernt und befinden sich nicht an der Oberfläche der Vakuumkammer oder an den Magnetspulen, wo Strahlenschäden zu erwarten sind. Über die in einem Strahl auftretende Dosis existieren bereits Untersuchungen ¹⁾.

Der Strahlungspegel im Beschleunigerraum ist sehr stark von den gewollten und ungewollten Betriebsbedingungen abhängig. Die Messungen wurden daher über insgesamt 7000 Betriebsstunden an 33 Positionen im Ring des Synchrotrons und im 40-MeV-Linearbeschleuniger durchgeführt, die integrierenden Dosimeter

wurden nach jeweils 12 Tagen ausgewertet. Aus der Menge der Daten konnten Mittelwerte für zwei typische Betriebszustände, interne γ -Strahl-Erzeugung und Ejektion des Elektronenstrahls, gewonnen werden. Die Werte wurden auf das Produkt von Endenergie und mittlerem umlaufenden Strom normiert und sind damit auch auf andere Elektronenbeschleuniger ähnlichen Energiebereichs anwendbar.

In einem Elektronenbeschleuniger stellt natürlich die elektromagnetische Strahlung die wichtigste Dosiskomponente dar. Da sie stark vom Abstand von der Strahlebene abhängt, wurde sie in Strahlhöhe und ca. 1 m unter der Strahlebene gemessen. Da bei dieser Komponente zunächst nicht klar ist, ob die Tiefendosis eine Rolle spielt, wurde die Oberflächendosis und die Dosis hinter 10 cm Paraffin gemessen. Die nächstwichtigste Komponente sind die Neutronen. Die Neutronendosis wurde in 3 Energiebereichen gemessen: thermische Energie; thermische Energie bis 10 MeV; 3 MeV bis 70 MeV. Die übrigen Komponenten können für das vorliegende Problem vernachlässigt werden.

2. Meßmethode

Als Meßgeräte kommen wegen der zahlreichen Meßpositionen und der langen Meßzeit nur integrierende Dosimeter in Frage, die leicht und billig zu duplizieren sind. Eine besondere Genauigkeit ist nicht erforderlich, da nur Mittelwerte über die stark schwankenden Betriebszustände des Beschleunigers gewonnen werden sollen.

a) Dosismessung der elektromagnetischen Komponente

Die einfachsten Verfahren zur Dosismessung sind die Phosphatglas-Dosimetrie oder die Thermolumineszenz-Dosimetrie. Wir wählten das erstgenannte Verfahren mit Glasdosimetern der Dimension 1 mm \varnothing x 6 mm, da man auf diese Weise den wegen der langen Integrationszeit benötigten Meßbereich von 1 rad bis 10^7 rad erreicht²⁾.

Nun ist der Einsatz von Glasdosimetern im Beschleunigerraum etwas problematisch, wenn damit die Dosis von Elektronen und Photonen in einem sehr großen Energiebereich gemessen werden soll. Die übliche Eichung mit einem Co^{60} -Präparat gilt für Photonen von 0,3 bis 3 MeV. Für kleinere Energien (0,02 bis 0,2 MeV) ist das Glas stark überempfindlich (bis zu einem Faktor 5), ebenso für thermische Neutronen. In einem Vorversuch wurde daher das Verhältnis der Dosisanzeige eines Gläschens zu der eines zweiten, mit 0,8 mm starkem Kadmiumblech umkleideten Gläschens gemessen. Diese Umhüllung kompensiert ungefähr die Überempfindlichkeit gegen niederenergetische Photonen und absorbiert thermische Neutronen. Das über viele Positionen im Beschleunigerraum gemittelte Verhältnis ist $1,2 \pm 0,3$, die Überempfindlichkeit ist also zu vernachlässigen.

Für γ -Energien oberhalb von 10 MeV wird das Glas überempfindlich, da der Wirkungsquerschnitt für Paarbildung in Glas schneller mit der Energie steigt als im Gewebe. Außerdem müßte das Gläschen umkleidet werden, um Strahlungsgleichgewicht zu erhalten. Dazu treten bei noch höheren Energien Kaskadeneffekte auf.

Für Elektronen ist das verwendete Gläschen unterhalb von 0,5 MeV unempfindlich. Oberhalb von 2,5 MeV ist die Reichweite größer als seine größte Dimension. Für diese Elektronenenergien sollte der aus der Eichung mit Co^{60} gewonnene Eichfaktor ebenfalls näherungsweise stimmen, wie man folgendermaßen abschätzen kann: Nimmt man an, daß bei einer γ -Energie von 1 MeV die Compton-Elektronen im Gläschen absorbiert werden, so wird mit dem Eichfaktor neben der Lichtausbeute die unterschiedliche Zahl von Elektronen/cm³ berücksichtigt.

Sie beträgt bei Glas $5,8 \times 10^{23} \text{cm}^{-3}$ und im Gewebe $3,1 \times 10^{23} \text{cm}^{-3}$ (eine Zusammensetzung $(\text{C}_{50} \text{H}_{40} \text{O}_{18} \text{N}_n)$ angenommen), das Verhältnis ist 1,9. Das Verhältnis der Energiedepositionen pro cm Weglänge im Glas und im Gewebe beträgt für Elektronen etwa 2,2 (für Energien von 0,5 bis 50 MeV). Bezüglich des primär Energie-deponierenden Prozesses hat man also etwa denselben Eichfaktor.

Da zunächst nicht bekannt war, ob aus Gründen des Strahlungsgleichgewichtes oder wegen Kaskadeneffekten die Oberflächendosis oder die Dosis in größerer Gewebetiefe überwiegt, wurde in einem Vorversuch mit Glasdosimetern die Dosis an der Oberfläche und in der Mitte einer Paraffinkugel von 20 cm \varnothing gemessen. Es zeigte sich, daß ausserhalb der Strahlebene das Verhältnis von Oberflächendosis zu Tiefendosis 6 ± 3 beträgt (gemittelt über viele Meßpositionen). Offenbar rührt hier die Dosis zu einem beträchtlichen Teil von Photonen unter 0,5 MeV sowie niederenergetischen Elektronen her. Ähnliches kann bei der Streustrahlung um Experimentiergebiete herum beobachtet werden³⁾. In der Strahlebene sind die Verhältnisse erwartungsgemäß komplizierter. In der Nähe eines externen γ -Strahls haben wir für das genannte Verhältnis etwa 0,2 gefunden, was auf Aufschauierung der hochenergetischen Komponenten zurückzuführen ist; sonst ergab sich je nach Abstand vom Beschleuniger etwa 1,5 bis 5.

Im folgenden geben wir als γ -Dosis stets die Oberflächendosis an. Wir nehmen an, daß mit den Gläschen die maximale Dosis der elektromagnetischen Komponente bis auf einen Faktor 2 genau gemessen wird, sofern die γ -Energie oberhalb von 0,01 MeV und die Elektronenenergie oberhalb von 1 MeV liegt.

b) Messung der Neutronendosis

Im mittleren Energiebereich sind die gebräuchlichsten Neutronendosimeter Detektoren für thermische Neutronen, die von einem speziell konstruierten Moderator umgeben sind. Die bekanntesten Geräte dieser Art wurden von Andersson und Braun⁴⁾ sowie von Leake⁵⁾ angegeben. Als integrierende Detektoren sind Aktivierungs sonden üblich. Smith⁶⁾ hat für lange Integrationszeiten die Reaktion $^{181}\text{Ta} (n, \gamma) ^{182}\text{Ta}$ angegeben (Halbwertszeit 115 Tage). Er zeigte, daß am Beschleuniger hochenergetische Reaktionen im Tantal zu vernachlässigen sind, wenn man sich bei der gammaspektroskopischen Ausmessung auf einen bestimmten Energiebereich beschränkt. Wir kombinierten

diese Aktivierungsmethode mit dem Moderator von Leake und erhielten ein integrierendes Dosimeter für den Bereich von thermischer Energie bis 10 MeV. Das aktivierte Tantalblech ($4 \times 4 \times 0,1 \text{ cm}^3$) wird direkt auf einen $3'' \text{ } \varnothing \times 3''$ NaJ-Kristall gelegt und die Zählrate im Bereich 1,04 MeV bis 1,34 MeV gemessen. Werden in diesem Bereich in der Zeit t_m I Impulse registriert, so ergibt sich bei einer Aktivierungszeit t_1 und einer Wartezeit t_2 die Dosis (rem) zu

$$D(t_1) = C \cdot \left(\frac{I(t_1, t_2)}{t_m} - U \right) \cdot \frac{\lambda t_1 \cdot e^{-\lambda t_2}}{1 - e^{-\lambda t_1}},$$

wobei die Neutronenflußdichte als konstant angenommen ist. U ist der Untergrund, er beträgt bei einem mit 5 cm Blei abgeschirmten NaJ-Kristall ohne Koinzidenzeinrichtung ca. 50 min^{-1} . Die Eichkonstante C wird mit einer Am-Be-Quelle bestimmt. Rechnet man die damit bestimmte Konstante mit Hilfe der bekannten Empfindlichkeitskurve des Moderators auf eine mittlere Energie um, so erhält man $C = 0,32 \text{ rem min.}$

Da für die zahlreichen Meßpositionen nicht genügend Geräte mit dem von Leake angegebenen Moderator vorhanden waren, wurden die Messungen tatsächlich mit einem einfachen Paraffinmoderator ($15 \text{ cm } \varnothing$, umkleidet mit Kadmiumblech) durchgeführt. Diese Geräte wurden dann auf den verschiedenen Positionen gegen den Leake-Detektor geeicht. Das über alle Positionen gemittelte Verhältnis der Zählraten von Tantal mit Leake-Moderator zu Tantal mit Paraffinmoderator betrug $0,15 \pm 0,03$. Durch den einfacheren Moderator erhält man also auch eine höhere Empfindlichkeit. Die Eichkonstante beträgt für das im Beschleunigerangetroffene Neutronenspektrum im Bereich von thermischer Energie bis 10 MeV $C = 0,048 \text{ rem min.}$ Diese Dosismessung dürfte etwa bis auf einen Faktor 1,5 genau sein. Die kleinste meßbare Dosis ist etwa 500 mrem. Im Bedarfsfall kann dieser Wert durch Verdopplung der Tantalmenge und Reduzierung des Untergrundes der β -Spektroskopie auf etwa 250 mrem gesenkt werden.

Daß der Eichwert von 0,048 rem min plausibel ist, erkennt man, wenn man die Tantal-Paraffin-Anordnung direkt mit einer Am-Be-Quelle eicht und diesen Eichwert mit Hilfe der ungefähr bekannten Empfindlichkeitskurve⁽⁷⁾ von der mittleren Energie der Quelle auf etwa 0,5 MeV umrechnet. Es ergibt sich eine Eichkonstante von 0,037 rem min.

Mit der geschilderten Meßmethode wird sicherlich der wichtigste Energiebereich erfaßt. Um aber auch den Dosisbeitrag von Neutronen mit etwa zehnmal höheren Energien abzuschätzen, wurde ebenfalls die Tantalmethode benutzt, diesmal in Verbindung mit einem Polyäthylen-Moderator von 18" Durchmesser. Die Empfind-

lichkeitskurve bezüglich der Fluenz für diesen Moderator wurde von McGuire⁸⁾ berechnet. Sie zeigt, daß die Empfindlichkeit bei 4,1 MeV etwa gleich der mittleren Empfindlichkeit für den Bereich 3 MeV bis 70 MeV ist. Die Eichkonstante für eine Fluenz-Messung kann daher mit einer Am-Be-Quelle gewonnen werden. Da aber nach Shaw et al.⁹⁾ das Verhältnis von Fluenz zu Dosis im betrachteten Energieintervall konstant ist, erhält man damit auch eine Eichkonstante für die Dosismessung: $C = 0,22 \text{ rem min.}$

Die Dosis von thermischen Neutronen ist in der zuerst genannten Dosis-komponente enthalten. Sie kann auch getrennt gemessen werden durch Tantalsonden ohne Moderator; durch Vergleich mit einer Indium-Aktivierung ergab sich eine Eichkonstante von $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ rem min.}$

c) Normierung

Die integrierten Dosen der meisten Meßpositionen werden auf das zeitintegrierte Produkt von mittlerem umlaufenden Strom im Synchrotron und Endenergie normiert. Dabei liegt die Annahme zugrunde, daß die Dosen im wesentlichen am Ende des Beschleunigungszyklus erzeugt werden, was die Ergebnisse auch bestätigen. Da es sich praktisch ausschließlich um die Wirkung von aufgeschauerten Elektronen- oder γ -Strahlen handelt, ist die Dosis der elektromagnetischen Komponente und die Neutronen-Produktionsraten in allen betrachteten Energiebereichen der Endenergie proportional. Nach Division durch die Aktivierungszeit erhält man aus den integrierten Dosen die mittlere Dosisleistung, normiert auf einen bestimmten Wert des Produktes von Endenergie und mittleren Maschinenstrom.

Die Werte der Meßpositionen im Raum des Einschlußbeschleunigers und in der Injektionszone wurden nicht normiert, da es sich hier um Streustrahlung vom 40-MeV-Strahl handelt.

3. Ergebnisse

Die aus den integrierten Dosen erhaltenen mittleren Dosisleistungen zeigten sehr starke Schwankungen, da die Messungen während des normalen Beschleunigerbetriebes mit häufig wechselnden Betriebszuständen durchgeführt wurden. Sie wurden daher auf einen Wert von 30 GeV mA für das Produkt von Endenergie und mittleren umlaufenden Strom normiert. Dieser Wert entspricht einer Strahlleistung von 1,5 kW, wenn der Strahl zu 100% ejiziert wird. Es zeigte sich dann, daß man der Menge der Daten charakteristische Werte für die 2 typischen Betriebszustände, Ejektion des Elektronenstrahls und interne Erzeugung eines γ -Strahls, entnehmen kann. Diese Werte schwankten nach der Normierung dann im Mittel nicht mehr als um einen Faktor 2, sie sind in Fig. 1 und 2 angegeben. Fig. 1 zeigt die Dosisleistungen bei Ejektion eines Elektronenstrahls, Fig. 2 die bei γ -Strahlerzeugung.

Fig. 1a und 2a zeigen die Dosisleistungen der elektromagnetischen Komponente. Da sie erwartungsgemäß in der Strahlebene besonders hoch ist, werden stets 2 Werte angegeben: die obere Ziffer gibt die Dosisleistung in der Strahlebene, die untere Ziffer den Wert in einem Abstand von 0,5 bis 1,5 m unter der Strahlebene. Das Verhältnis von Dosisleistung in Strahlebene zu Dosisleistung unter der Strahlebene ist im Injektionsgebiet, an der Innenwand und außerhalb der Ejektionszone auch an der Außenwand etwa 1 bis 3, kann aber nahe den geraden Stücken im Ejektionsbereich und nahe einem ejizierten γ -Strahl mehrere Zehnerpotenzen betragen. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Dosis im γ -Strahl nicht gemessen wurde; sie ist natürlich sehr viel höher.

In Fig. 1b und 2b sind die Neutronendosisleistungen aus dem Energiebereich thermische Energie bis 10 MeV eingetragen. Es zeigte sich, daß die Dosis aus dem Bereich 3 bis 70 MeV etwa 30% dieser Dosis ausmacht und deshalb nicht extra aufgeführt zu werden braucht. Die Dosis thermischer Neutronen ist völlig zu vernachlässigen (ca. 2,5%). Wie man sieht, spielt die Neutronendosis insgesamt kaum eine Rolle. Im Verhältnis zur Dosis der elektromagnetischen Komponente unterhalb der Strahlebene beträgt sie auf der Ringinnenseite 10 bis 80%, sonst ca. 5%.

Im Raum des Einschubbeschleunigers ist die Dosisleistung bemerkenswert klein. Im anschließenden Injektionsgebiet wird sie vorwiegend durch die Energieblenden des Injektionssystem erzeugt. In diesen Bereichen sowie

in dem Gebiet des Synchrotrons, das "vor" der Ejektionszone liegt, ist kaum ein Unterschied zwischen den beiden oben genannten Betriebszuständen zu bemerken, es wurden in Fig. 1 und 2 hier die gleichen Werte eingetragen. Die höchsten Dosisleistungen erhält man im Ejektionsbereich. Im Falle des aus dem geraden Stück vor Magnet 20 ejizierten Elektronenstrahles hat man Spitzenwerte schon 2 Magnete vor dieser Stelle, da im geraden Stück 18 der Regenerator und im geraden Stück 19 der Ejektor sitzt. Ist der Strahl in das Transportsystem ejiziert, treten in seiner Umgebung keine besonders hohen Dosen mehr auf. Anders verhält es sich bei der internen Erzeugung von γ -Strahlen. Die höchste im ganzen Beschleuniger gemessene Dosisleistung wurde nahe dem γ -Target gefunden, und von dieser Stelle ab bis hin zur "ruhigen Zone" um Magnet 35 sind alle Dosen im Ring erheblich höher als im Falle des Elektronenstrahls.

* * *

Frau E. Peters danke ich für die Durchführung der Messungen und für ihre Hilfe bei der Auswertung der zahlreichen Daten.

Literatur

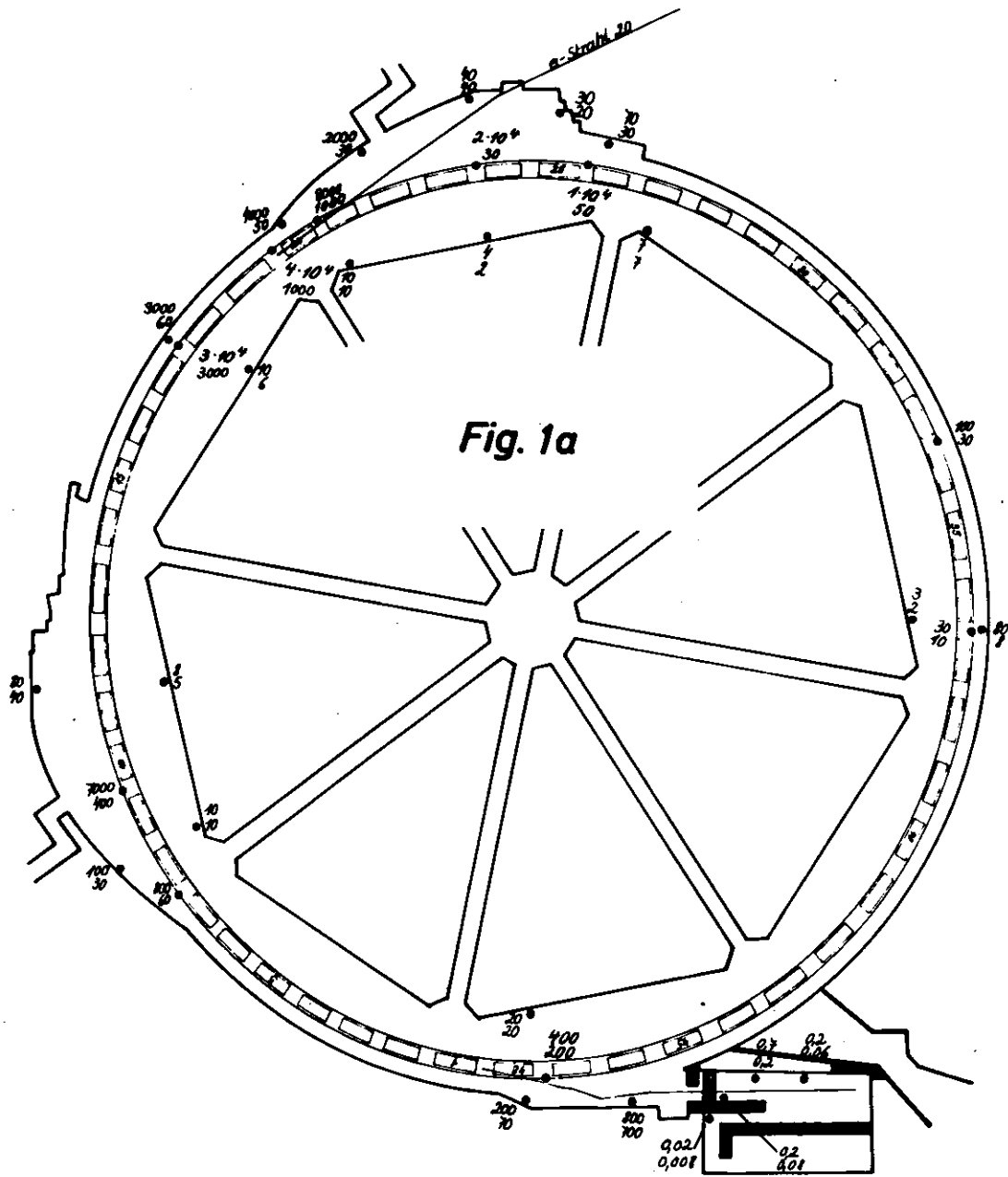
1. K. Tesch, Nukleonik 8 (1966) 264
H.L. Beck, Nucl. Instr. Meth. 78 (1970) 333
2. E. Freytag, Health Physics 20 (1971) 93
3. K. Tesch, 2. Intern. Conf. Acc. Dosim. Experience, Stanford, 1969
4. I.Ö. Andersson and J. Braun, AE-132, Aktiebolaget Atomenergi, Stockholm 1964
5. J.W. Leake, Nucl. Instr. Meth. 63 (1968) 329
6. A.R. Smith, UCRL - 17051, Berkeley 1966
7. G. Bathow, E. Freytag und K. Tesch, Nucl. Physics B 2 (1967) 669
8. S.A. McGuire, LA-3435, Los Alamos, 1965
9. K.B. Shaw, G.R. Stevenson und R.H. Thomas, Health Physics 17 (1969) 459

Fig. 1. Dosisleistungen bei der Ejektion eines Elektronenstrahls, normiert auf 30 GeV mA.

- a) Dosisleistungen der elektromagnetischen Komponente in der Strahlebene (obere Ziffer) und unterhalb der Strahlebene (untere Ziffer)
- b) Dosisleistung der Neutronen im Bereich von thermischer Energie bis 10 MeV

Fig. 2. Dosisleistungen bei der internen Erzeugung eines γ -Strahls, normiert auf 30 GeV mA.

- a) und b) wie Fig. 1



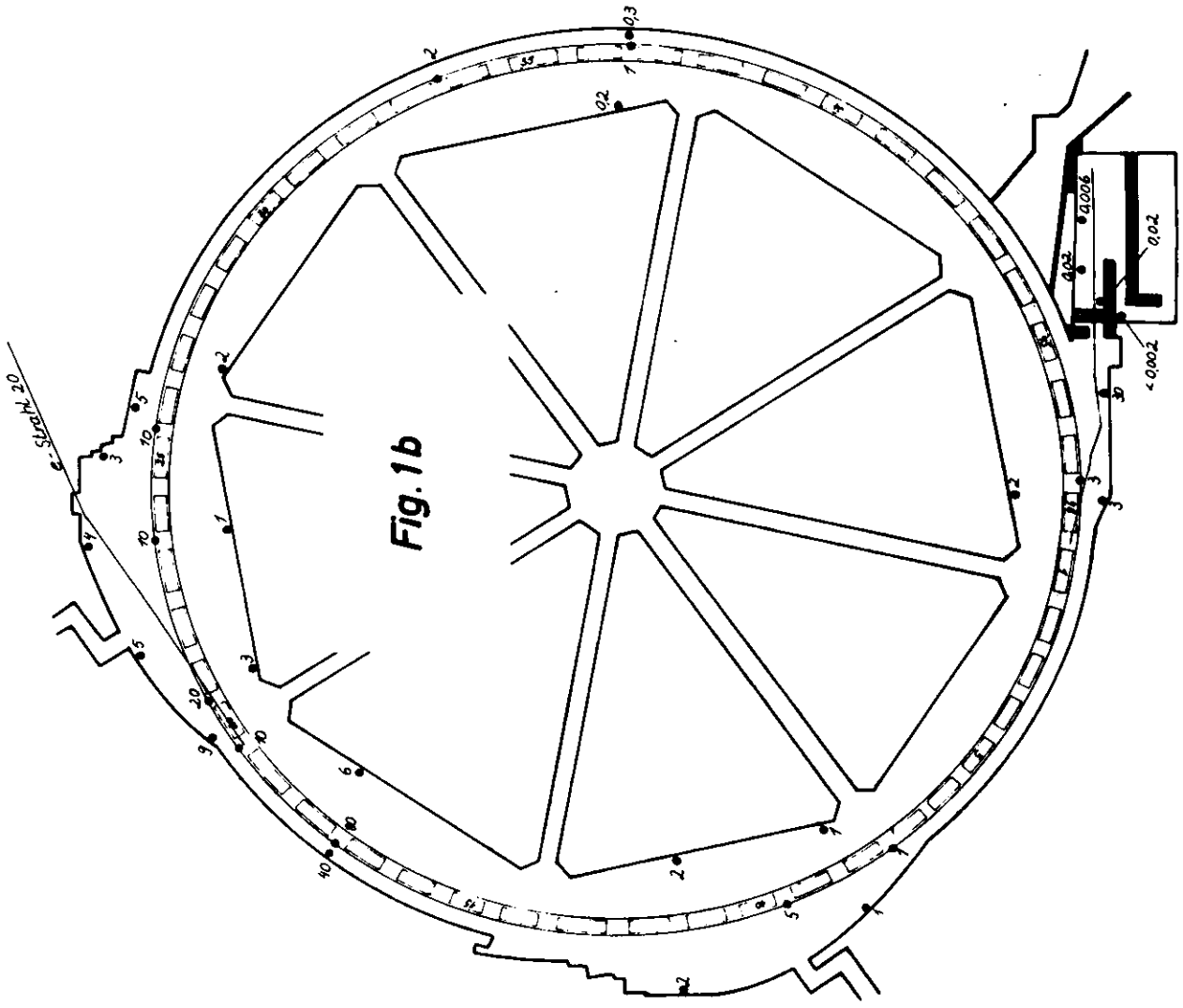


Fig. 1b

