

Vorläufige Berechnung der zu erwartenden Strahlendosen

Für größere Entfernung vom Ring wurden die zu erwartenden Dosen für niederenergetische Neutronen und Elektronen unter Berücksichtigung der vorgesehenen Strahlenschutzmaßnahmen sowie für den Katastrophenfall berechnet. Die Überlegungen lehnen sich an Ausführungen von Panofsky und Williams an. Die in die Rechnung eingehenden Werte wurden zum Teil nachgerechnet, zum andern in der Konferenz on Shielding of High-Energy Accelerators veröffentlichten Tabellen entnommen, ohne daß eine Nachprüfung bis jetzt möglich war. Die Notiz wird im folgenden durch weitere Arbeiten vervollständigt und durch Ausarbeitung der zugrunde liegenden Theorien untermauert werden. An allen Stellen wurde eine ungünstige Abschätzung vorgenommen.

1. Folgendes Modell liegt allen Betrachtungen zugrunde:

Ein hochenergetischer Elektronenstrahl trifft auf Materie (Abschirmung oder Target), erzeugt schnelle Neutronen von Energien im Bereich 800 bis 100 MeV und 100 bis 1 MeV. Der Elektronenstrahl muß in der Materie absorbiert werden. Die Neutronen bilden eine punktförmig angenommene Quelle für skyshine und direkte Neutronenstrahlen.

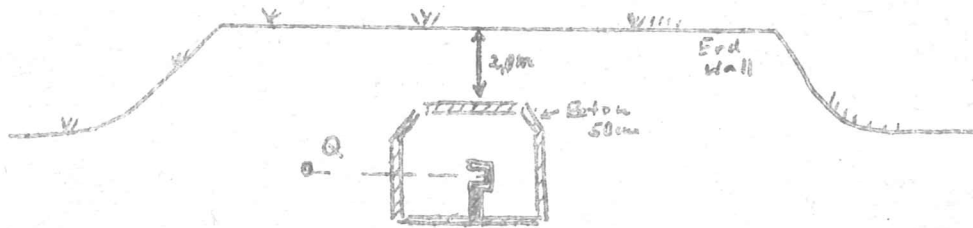


t = Strahlungslänge

Aus der Struktur der Maschine heraus ergeben sich die folgenden Neutronenquellen:

- (1) An Einschußpunkt des Synchrotrons erzeugt durch 40 MeV Elektronenstrom
- (2) Entlang dem Ring erzeugt durch die beim Einfangen verlorengegangenen Elektronen von ca. 40 MeV.

- (3) Entlang dem Ring maximal durch Strahlungsentdämpfung erzeugte Elektronen von ca. 7,5 GeV.
 - (4) Die bei der Auslenkung des γ -Strahls am Target entstehenden Neutronen.
 - (5) Die im Experimentiertarget entstehenden Neutronen.
 - (6) Die in der Strahlenfalle erzeugten Neutronen.
2. Für die Neutronenquellen (1) bis (4) wurde eine Abschirmung von 2 m Erde und 50 cm Beton angesetzt.



Für die Neutronenquelle (5) (Target) wurden nacheinander die folgenden Annahmen gemacht: Mit 30 cm Beton abgeschirmtes Target, dickes unabgeschirmtes Target, dünner langer Targetstab, in dem alle zu erwartenden Neutronen entstehen können. Der letzte Fall wurde mit der Erzeugungsrate von Panofsky (3 Neutronen pro 7,5 GeV-Elektronen) sowie den Annahmen von Williams (15 Neutronen pro 7,5 GeV-Elektronen) berechnet.

Der gesamte Neutronenfluß errechnet sich nach der Formel:

$$\Phi = \frac{q e^{-\Sigma_0 r}}{4\pi r^2} + \frac{q e^{-k_0 r}}{4\pi D r}$$

$$k_0 = 0,38 \cdot 10^{-4} \text{ [1/cm]}$$

$$D = 0,5 \cdot 10^4 \text{ [cm]}$$

$$\Sigma_0 = 0,75 \cdot 10^{-4} \text{ [1/cm]}$$

q = Neutronenquellstärke

Der erste Term gibt den Anteil des direkten Neutronenflusses wieder, der zweite den skyshine. In der Tabelle wurde nur der skyshine aufgeführt. Alle Quellen liegen unter der Erdoberfläche. Direkte Strahlung ist nur in einem Winkel zur Erdoberfläche größer als 30° zu erwarten, außerdem nimmt der Anteil der direkten Strahlung mit r^2 ab. Für den skyshine wurde angenommen, daß die Neutronenquelle sich auf der Erdoberfläche befindet. Die abgeschirmten Neutronenquellen wurden entsprechend

der Abschirmwirkung reduziert. In der beiliegenden Karte wurden einmal die addierten Werte für die laufende Maschine mit abgeschirmtem Target eingetragen, zum andern die Werte für ein nichtabgeschirmtes dickes Target. Multipliziert man die letztgenannten Werte mit dem Faktor 100, so erhält man die Werte für einen dünnen, langen Stab, in dem alle von der Kaskade erzeugbaren Neutronen entstehen, für die von Panofsky angegebene Erzeugungsrate für Neutronen (3 Neutronen/Elektron). Entsprechend mit einem Faktor 500 multipliziert erhält man die Werte mit der Williamschen Neutronenerzeugungsrate von 15 Neutronen/Elektron.

3. Die Abnahme der Elektronen in der Materie wurde nach der Kaskadentheorie abgeschätzt. Die Zunahme des Strahldurchmessers mit Hilfe der Formel für den mittleren Winkel:

$$\theta = \frac{21 \sqrt{E}}{E [\text{MeV}]}$$

errechnet. Unter Berücksichtigung der Strahlintensitäten die in der Tabelle aufgeführt wurden, errechnen sich die zu erwartenden Dosen nach Durchgang des Strahls durch einen 10 m dicken Erdwall:

für die Ringquelle	: $4 \cdot 10^{-4}$ e/cm ² sec
für das Ringtarget	: $5 \cdot 10^{-2}$ e/cm ² sec
für die Strahlenfalle	: $1 \cdot 10^{-2}$ e/cm ² sec

Der Strahldurchmesser nach 10 m Laufstrecke berechnet sich zu 30 cm. Die sich ergebenden Dosen liegen weit unter der Toleranzdosis. Da die Maschine an allen Stellen unter der Erde liegt, bestehen keine Schwierigkeiten, die Abschirmung genügend hoch zu machen. Zur Abschirmung eines an die Oberfläche geführten Elektronenstrahls wäre eine ca. 1,30 m starke Eisenplatte als Äquivalent für 10 m Erde notwendig.

4. Die in der Tabelle aufgeführten Neutronenwerte sowie die in der Karte eingezeichneten Werte sind ebenso wie die erhaltenen Elektronenzahlen unter 3. mit den Toleranzdosen (siehe Anlage) zu vergleichen. Die errechneten zulässigen Toleranzdosen sind Mittelwerte. Für Laborarbeiter betragen sie das 36-fache

der natürlichen Strahlungsbelastung, wobei eine mittlere Strahlungsbelastung von $0,46 \cdot 10^{-8}$ rem/sec zugrunde gelegt wurde. Die Umrechnungen für die sich aus der zulässigen Dosis ergebenden Teilchenzahlen wurden dem obengenannten Bericht entnommen. Alle Werte sind in der Anlage zusammengestellt.

5. Es ist zu erwarten, daß die sich in der Praxis ergebenden Werte durchweg weit unter den in der Karte eingetragenen Dosen liegen, denn nicht berücksichtigt wurde, daß: die erzeugten Neutronen in den vollen Raumwinkel gestrahlt werden (nur bei dem dünnen Stab wurde ein Faktor $1/3$ eingesetzt); das Hallendach zur Abschirmung beiträgt; die im Mittel wirksame Abschirmung in den Fällen (1) bis (5) größer als 2,50 m bzw. 30 cm ist; die Intensität des angenommenen Elektronenstrahls optimistisch nach oben abgeschätzt ist; die höchste in der Literatur angegebene Erzeugungsrate für Neutronen angenommen wurde.
6. Für den Betrieb der Maschine ist der zulässige f -bzw. Elektronenstrom auf verschiedene Targets bei verschiedenen Abschirmungen unter Einhaltung der zulässigen Toleranzdosen an den Geländegrenzen wichtig. Tab. 2 enthält die Neutronendosen, die vom skyshine an der der Maschine am nächsten gelegenen Grenze des Geländes, einmal mit pessimistischen Annahmen zum andern mit realistischen Abschätzungen entsprechend 5., zu erwarten sind.
7. In der beiliegenden Karte wurden zusätzlich die sich bei voller Targetleistung von $9 \cdot 10^{10}$ Neutronen/sec ergebenden Dosen beim Betrieb des Van-de-Graaff eingezeichnet. Hier wurde die Direktstrahlung und der skyshine berücksichtigt, da die Quelle oberhalb der Erdoberfläche liegt. Hinter der Schutzwand zum Staatsinstitut wurden nur die Werte für den skyshine eingezeichnet.
8. Es wird in der Nähe der Quellen eine Meßvorrichtung vorgesehen, die während des Betriebes den Neutronenfluß fortlaufend kontrolliert und bei Überschreiten der zulässigen Dosen die Anlage ausschaltet.

23.10.58
Jo/Pa/Schw.

$$0,46 \cdot 10^{-8} \frac{\text{rem}}{\text{sec}}$$

$$0,46 \cdot 10^{-8} \cdot 60 \cdot 60 \frac{\text{rem}}{\text{h}}$$

$$0,46 \cdot 36 \cdot 10^{-6}$$

$$18 \cdot 10^{-6} \frac{\text{rem}}{\text{h}}$$

$$6,018 \frac{\text{mrem}}{\text{h}}$$

Strahlenschutz
Toleranzdosen

Gesamte mittlere natürliche Strahlungsdosis aus Gestein und kosmischer Strahlung (örtlich verschieden)

$$0,0028 \text{ rem/Woche} = 0,46 \cdot 10^{-8} \text{ rem/sec}$$

Zulässige Toleranzdosis für Laborpersonal (Mindestalter 18 Jahre)

$$5 \text{ rem/Jahr} = 0,1 \text{ rem/Woche} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ rem/sec}$$

das ist das 36-fache der natürlichen Strahlung.

Zulässige Toleranzdosis für unbeteiligte Bevölkerung. Nach verschiedenen Vorschlägen.

Für Landbevölkerung: bis zu 1/10 der Toleranzdosis für Laborpersonal

Für Stadtbevölkerung: bis zu 1/50 der für Laborpersonal zugelassenen Toleranzdosis bzw. bis zur Dosis der kosmischen Strahlung.

Hieraus ergeben sich für die verschiedenen Teilchen ungefähr die folgenden Zahlen:

für Laborarbeiter: 7 Elektr./cm² sec min. Ionisation
 20 Neutr. /cm² sec
 4000 MeV γ -Strahlen/cm² sec

für unbeteiligte Bevölkerung: 0,14 Elektr./cm² sec min. Ionisation
 0,6 Neutr. /cm² sec
 80 MeV γ -Strahlen/cm² sec

Die Zahlen werden im folgenden mit den gesetzlichen Bestimmungen ständig verglichen werden.