

Interner Bericht
DESY D3-57
Februar 1986

Eigentum der Property of	DESY	Bibliothek library
Zugang: Accessions:	25. MRZ. 1986	
Leihfrist: Loan period:	7	Tage days

STRAHLENSCHUTZMASSNAHMEN AN LINAC 3, DESY 3 UND PETRA
FÜR DEN BETRIEB MIT PROTONEN

H. Dinter
K. Tesch

DESY behält sich alle Rechte für den Fall der Schutzrechtserteilung und für die wirtschaftliche Verwertung der in diesem Bericht enthaltenen Informationen vor.

DESY reserves all rights for commercial use of information included in this report, especially in case of filing application for or grant of patents.

“Die Verantwortung für den Inhalt dieses Internen Berichtes liegt ausschließlich beim Verfasser“

Interner Bericht
DESY D3-57
Februar 1986

Strahlenschutzmaßnahmen an
Linac 3, DESY 3 und PETRA
für den Betrieb mit Protonen

H. Dinter
K. Tesch

Inhalt:

Zusammenfassung, Summary

1. Einleitung
2. Grundlagen
 - 2.1 HERA-Füllschema
 - 2.2 Annahmen über Verluststraten
 - 2.3 Berechnung der Äquivalentdosen
 - 2.4 Vorschriften der StSverordnung
3. Zusammenfassung der Ergebnisse
 - 3.1 Linac 3
 - 3.2 DESY 3
 - 3.3 PETRA
 - 3.4 Transferkanal PETRA - HERA
4. Detailuntersuchungen
 - 4.1 Linac 3
 - 4.2 DESY 3
 - 4.3 PETRA
 - 4.4 Transferkanal PETRA - HERA

Zusammenfassung:

In diesem Bericht wird untersucht, welche Maßnahmen (Abschirmung, Interlocksystem, Strahlungsüberwachung, Strahlvernichtung) ergriffen werden müssen, um DESY 3 und PETRA sowie Linac 3 und den Transferkanal von PETRA nach HERA mit Protonen betreiben zu können. Insbesondere wird eine Liste über notwendige Änderungen in der Umgebung der bereits bestehenden Beschleunigern zusammengestellt.

Summary:

In this report it is investigated which measures (shielding, interlock system, radiation monitoring, beam abort) have to be taken to enable the operation of DESY 3 and PETRA as well as Linac 3 and the transfer channel from PETRA to HERA with protons. The necessary changes around the existing accelerators are listed.

1. Einleitung

Im diesem Bericht wird untersucht, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Beschleuniger Linac 3, DESY 3 und PETRA im Einklang mit den Strahlenschutzbestimmungen mit Protonen betreiben zu können.

Außer Linac 3 und dem Transferkanal zu HERA, die beide neu aufgebaut werden, sind die Räume der anderen Maschinen bereits vorhanden und für Elektronen- und Positronenbeschleunigung in Betrieb. Deshalb wird vor allem untersucht, in wie weit vorhandene Abschirmung und andere Sicherheitseinrichtungen für den Protonenbetrieb verwendet werden können oder modifiziert werden müssen.

Für alle relevanten Stellen, das sind solche, an denen ein erhöhter Verlust von Protonen zu erwarten ist und/oder die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen besonders groß ist, werden Dosisleistung während des HERA-Füllvorgangs und Jahresdosen, herrührend von Protonen, berechnet. Die Grundlagen, die zu diesen Werten führen, insbesondere die Annahmen über den Beschleunigerbetrieb, wie z.B. die Verlustraten an Protonen an verschiedenen Stellen, und die Methoden, mit diesen Verlustraten Äquivalentdosiswerte zu berechnen, sind in Abschnitt 2 dargestellt.

Im 3. Abschnitt sind die Ergebnisse zusammengefaßt, die im Abschnitt 4 im Detail berechnet und begründet werden. Insbesondere sind in Kapitel 3 die Punkte aufgelistet, die eine Änderung der bestehenden Abschirmung erfordern.

2. Grundlagen

2.1 HERA-Füllschema

Linac 3 produziert Protonen, die mit 50 MeV in der Synchrotron DESY 3 injiziert werden. Aus einem Linac-Puls werden in DESY 3 drei bunches gemacht, innerhalb 4 ns bis 7,5 GeV/c beschleunigt und nach PETRA transferiert. Dieser Vorgang wird 24 mal wiederholt, bis nach (24·4 ns) 96 ns PETRA mit 70 bunches gefüllt ist. Die PETRA-Füllung wird dann von 7,5 auf 40 GeV/c beschleunigt und nach HERA über-

führt. Dazu werden mindestens 70 ns benötigt. Für eine HERA-Füllung von 210 bunches muß der gesamte bisherige Vorgang 3 mal wiederholt werden. Dafür werden (3·96 ns + 3·70 ns =) 498 ns, also knapp 10 Minuten benötigt (Lit. 1, 2). Wir nehmen im folgenden für einen durchschnittlichen Füllvorgang 20 Minuten an, da die obigen Zeiten Minimalwerte darstellen.

2.2 Annahmen über Verlustraten

Während der Füllprozedur geht eine gewisse Protonenzahl verloren, die die Ursache für die entstehenden Strahlungsdosen sind.

Wir legen unseren Abschätzungen folgendes Verlustschema zugrunde:

Verlust bei einem Beschleunigungsvorgang:

20%, gleichmäßig verteilt über den gesamten Beschleunigerumfang (Linienquelle),

Verlust bei der Ejektion:

5% punktförmig am Septum und zusätzlich 10% linienförmig (über 10 m bei DESY 3 und 20 m bei PETRA) hinter dem Septum,

Verlust beim Transfer zwischen den Beschleunigern:

$3 \cdot 10^{-5}$ pro m als Linienquelle in geraden Stücken (Lit. 3), Faktor 3 mehr in Kanälen mit Ablenkung,

Verlust bei der Injektion:

5% punktförmig am Septum und zusätzlich 10% linienförmig über ca. 800 m hinter dem Septum.

In der Tabelle 1 sind die Verlustraten im einzelnen zusammengestellt.

Nach der Beschleunigung auf 820 GeV in HERA sollen noch $1 \cdot 10^{11}$ Protonen pro bunch vorhanden sein. In der Tabelle 1 sind die nach jedem Verlustvorgang noch vorhandenen Protonen angegeben, zurückgerechnet von $1 \cdot 10^{11}/b$ in HERA. Danach müssen am Linac-Ende mindestens $5,3 \cdot 10^{11}/b$ angeliefert werden. Tatsächlich liegt der Designwert (Lit. 4) des Linacs bei $4,4 \cdot 10^{12}/(3 \text{ bunches}) = 1,5 \cdot 10^{12}/b$.

2.3 Berechnung der Äquivalentdosen

Für alle relevanten Stellen werden 2 Dosiswerte angegeben: einmal die mittlere Dosisleistung während des 20 minütigen Füllvorgangs und zum andern eine akkumulierte Jahresdosis, mit der Annahme von 1000 Füllvorgängen pro Jahr (1 mSv = 100 mrem). Dazu wird für einige interessante Stellen noch die Dosis aufgeführt, die zu erwarten wäre, wenn die gesamte Füllung des jeweiligen Beschleunigers punktförmig verloren gehen würde (ohne Rücksicht auf die Realisierbarkeit).

Neutronen

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, betrachten wir in dieser Arbeit ausschließlich Punkt- oder Linienquellen und homogene Abschirmungen. Es wurde bereits in Lit. 5 gezeigt, daß in solchen Fällen die Äquivalentdosis durch hochenergetische Neutronen (und durch die mit ihnen im Gleichgewicht stehenden niederenergetischen Neutronen) hinter einer Abschirmung durch einfache analytische Ausdrücke berechnet werden kann. Die Anwendung von Monte-Carlo-Rechnungen, die für kompliziertere Absorptionsmodelle und/oder kompliziertere Abschirmungsgeometrien benötigt werden (siehe Lit. 6), ist also nicht notwendig.

Wir verwenden zur Berechnung der Neutronendosis folgende Formeln:

$$\text{Punktquelle: } H = 1,5 \cdot 10^{-14} S E_p^{0,8} \frac{e^{-\frac{d}{\lambda}}}{r^2}$$

$$\text{Linienquelle: } H = 2,8 \cdot 10^{-14} \bar{S} E_p^{0,8} \frac{e^{-\frac{d}{0,93\lambda}}}{r}$$

Hierbei sind H die Äquivalentdosis in Sv, S die Zahl der absorbierten Protonen, \bar{S} die Zahl der absorbierten Protonen pro m, E_p die Protonenenergie in GeV, d die Dicke der Abschirmung in g cm^{-2} und r der Abstand Quelle-Meßort in m. Die Werte der Abschwächungslänge λ sind:

Material	Dichte (g cm^{-3})	λ (g cm^{-2})
Sand geschüttet	1,6	107
Sand gewachsen	1,8	107
Normalbeton	2,4	107
Schwerbeton	3,7	148
Eisen	7,8	200

Die Grundlagen dieser Berechnungsmethode und die Begründung für die Parameter sind in Lit. 6 ausführlich dargestellt.

Myonen

Die Dosen, die durch Myonen erzeugt werden, wurden mit den erprobten Programmen MUSTOP (Zerfall der Pionen im Flug) und CASIMU (Kaskadenvorgänge) vom CERN bzw. FERMILAB berechnet. In einem Bericht (Lit. 7) wurden diese Programme auf Standardgeometrien angewandt und Äquivalentdosen berechnet, die auf ein primäres Proton normiert sind. Die aktuellen Dosiswerte ergeben sich dann aus diesen Ergebnissen und den Verlustraten der Tabelle 1. In Lit. 7 ist auch eine zusammenfassende Beschreibung der oben erwähnten Programme enthalten.

2.4 Vorschriften der Strahlenschutzverordnung, Festsetzung von Kontrollbereichen

Nach der StrSchV ist der untere Grenzwert der Personendosis, der einen Kontrollbereich notwendig macht, 15 mSv pro Jahr bei einem Aufenthalt von 40 Stunden pro Woche. Das entspricht bei konstanter Strahlung einer Ortadosis von 63 mSv/a. Bei Dauereinrichtungen (§54 StrSchV) muß die Abschirmung so gestaltet sein, daß eine Personendosis von 10 mSv pro Jahr bei 40 Stunden Aufenthalt pro Woche (= 42 mSv/a Ortadosis) nicht überschritten wird (also kein Kontrollbereich notwendig ist!). Die Abschirmung unserer Beschleuniger (nicht der Experimente) ist als Dauereinrichtung anzusehen. Darüberhinaus sind wir verpflichtet (§27 StrSchV), jede unnötige Strahlenexposition von Personen zu vermeiden, und "jede Strahlenexposition ... auch innerhalb der zulässigen Grenzwerte so gering wie möglich zu halten".

Es sollen deshalb nur dort Kontrollbereiche eingerichtet werden, wo eine Dosierreduktion durch Abschirmung nicht möglich ist, oder wo der Aufwand sehr groß ist, bei gleichzeitig geringer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen. Ständige Arbeitsplätze in Kontrollbereichen sollen nicht von vorneherein eingeplant werden.

Wir betrachten die angenommenen Verluste an Protonen (Tab. 1) als den "Normalfall". Der schlimmste mögliche Fall wäre der fortwährende, punktförmige Totalverlust beim Einschub in den Beschleuniger oder der punktförmige Totalverlust der gesamten Beschleunigerfüllung bei der Endenergie. Die Schutzmaßnahmen müssen jedoch nicht für diesen Fall ausgelegt werden, da er entweder überhaupt nicht realisiert werden kann, oder nur kurzzeitig auftreten kann, denn er ist sicherlich unbeabsichtigt und wird, was den Einschub anlangt, durch die Strahlenüberwachungsanlage sofort unterbunden. Auf jeden Fall ist eine Voraussage, wie oft dieser Fall pro Jahr auftreten könnte, nicht möglich. Um dennoch ein Gefühl zu erhalten, welche Dosen man erwarten müßte, wurde an verschiedenen Orten die Dosis berechnet, die beim totalen, punktförmigen Verlust einer einzigen Beschleunigerfüllung bei Endenergie auftreten würde.

Weil wir diesen pessimistischen Fall nicht zur Grundlage der Abschirmrechnungen machen, und weil die Annahmen über den "Normalfall" naturgemäß ungenau sein müssen, ist es notwendig, einen gewissen Sicherheitsabstand zu den gesetzlichen Grenzwerten einzuhalten. Deshalb soll bei Jahresdosen bis 10 mSv die Abschirmung als ausreichend angesehen werden und über 10 mSv/a muß sie entweder verstärkt werden oder Kontrollbereich eingeführt werden. Bei Orten mit geringer Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Personen oder geringer Wahrscheinlichkeit des Totalverlustes des Protonenstrahls kann diese Grenze bis 30 mSv/a hochgesetzt werden.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Kapitels 4 vorweggenommen. Er enthält eine Liste aller Änderungen an den bestehenden Abschirmungen, und Neuinstallationen von Abschirmungen und sonstiger Sicherheitseinrichtungen (teilweise bereits in Lit. 8 beschrieben).

3.1 Linac 3

Abschirmung Seite und hinten: 1,13 m Normalbeton.

Abschirmung Dach : 0,80 m Normalbeton.

Einfaches Eingangs-Labyrinth.

Strahlabsorber : 3 cm Grafit.

Strahlverschluß zum Synchrotron: 5 cm Al oder (falls der Strahlverschluß als Strahlabsorber dient) 3 cm Grafit und 2 cm Al; der Strahlverschluß arbeitet simultan mit dem Verschluß im Synchrotronbeschleuniger-Raum (s. Pkt. 3.2).

Interlocksystem (Türen): Bei internem Betrieb ist das Betreten des Bereiches hinter der Quelle voraussichtlich möglich (Kontrollbereich), zwischen RFQ und Ringmauer ist Sperrbereich.

Bei Verbundbetrieb mit DESY 3 ist der gesamte Linac-Tunnel Sperrbereich.

3.2 DESY 3

Abschirmung der Radialkanäle wie vorhanden: Kanal 2, 4, und 6: 1 m Normalbeton, Kanal 1, 3, 5, 7, und 8: 0,4 m Normalbeton; Abstände bis zum Synchrotron: Kanal 4, 6, und 8: 18 m, Kanal 1, 2, 3, 5, und 7: 45 m.

Abschirmung der Inneren Experimentierfläche:
2,4 m Normalbeton (bereits vorhanden).

Das Zentrum muß Kontrollbereich sein (wie bisher).

Abschirmung zu den Hallen 1 und 2: 2,26 m Schwerbeton (2 Maschinensteine).

Die Kragdecke in Halle 1 muß Kontrollbereich werden; möglicherweise wird sie Sperrbereich.

Der Übergang über den Ringtunnel östlich Halle 1 wird gesperrt, das Gebiet wird eingezäunt, verschlossen und als Kontrollbereich gekennzeichnet.

Der Tunnel von Bunker 2 zum Synchrotron muß Kontrollbereich werden.

Änderung eines Interlockgebietes: Das Gebiet "Strahlführung PETRA" wird bis an den PETRA-Ring erweitert (bisher bis X-Bauwerk).

Verriegelung der Protonen Ejektioneinrichtungen und der Ablenk-magnete des Protonentransportwegs zu PETRA, wenn PETRA nicht freigegeben ist.

Strahlverschluß zu Linac 3: 30 cm Blei; arbeitet simultan mit dem Strahlverschluß im Linac 3-Tunnel (s. Pkt. 3.1).

Strahlvernichtung (möglichst) im externen Absorber. Zusätzlich soll eine Strahlfalle (5 cm Kupfer) eingefahren werden.

3.3 PETRA

Abschirmungen in den Hallen:

- Seitlich vom Strahl: 1,13 m Schwerbeton;
- oberhalb des Strahls: 0,80 m Normalbeton;
- Abdeckung des Zugangs-labyrinths;
- Abdeckung der Löcher für Kabel- und Stromschienendurchführungen so gut wie möglich;
- Strahlabdeckung wird Sperrbereich.

Wall zwischen Halle 50 und Bauhof: Einzäunung und Kontrollbereich (Injektionsstelle).

Wall zwischen Halle NR und NL: Einzäunung und Kontrollbereich über der Ejektionsstelle.

Zugang von der Halle NR zum PETRA-Ring wird gesperrt und mit 1,6 m Normalbeton abgeschirmt.

Zugang von der Halle NL zum PETRA-Ring wird mit einem einfachen Labyrinth (Winkelgang) ausgestattet und mit 0,8 m Normalbeton abgeschirmt.

Zugangskanäle von den Hallen NR und NL zum PETRA-Ring: Betreten vom Wall aus verhindern durch Zaun.

Schweißhalle: Entweder 40 cm Normalbeton auf den Fußboden und den Raum als Lagerraum verwenden (kein Arbeitsplatz!) oder Abreißen.

Verriegelung der Elektronen Injektions-elemente und der Ablenk-magnete des Elektroneneinschubweges, wenn der Synchrotron-raum nicht freigegeben ist.

Verriegelung der Protonen Ejektions-elemente und der Ablenk-magnete des Protonentransportweges zu HERA, wenn HERA nicht freigegeben ist.

Strahlvernichtung mit externem Absorber; zusätzlich führt eine Strahlfalle (5 cm Cu) ein.

3.4 Transferkanal PETRA-HERA

Wall nach oben : 3 m Sand

Straßenüberführung : 1 m Schwerbeton

Ende des Zugangskanals zur Halle NL: 80 cm Normalbeton in der Halle.

Schräggang zum Transferkanal: 0,5 m Normalbeton an den Seiten und 80 cm Normalbeton am Ende; Sandabdeckung möglichst weit zum Ende hin gezogen.

4. Detailuntersuchungen

4.1 Linac 3

Die für Strahlenschutz-zwecke relevanten Betriebsdaten sind aus Lit. 4 entnommen:

Endenergie	= 50 MeV
Pulslänge	= 35 µs
Pulsstrom	= 20 mA
Wiederhol-frequenz	= 1 Hz

Daraus ergibt sich eine Teilchenrate von $4,4 \cdot 10^{12}$ p/s und eine Leistung von 33 W.

4.1.1 Abschirmung zur Halle

Die folgenden Rechnungen wurden nach der Methode durchgeführt, wie sie in Lit. 5 beschrieben ist.

Es wird angenommen, daß die stärkste Quelle der Protonenabsorber am Ende des Linac 3 ist, der bei internem Betrieb 1000 h/Jahr

beschlossen wird. Beim Einachuß in DESY 3 kann die Quelle nur schwächer sein (z.B. Verlust von 10% des Strahls in Tank (III)), braucht also nicht extra betrachtet zu werden. Als Protonenabsorber wird ein Grafit-Absorber vorgeschlagen, weil die Neutronen-Produktionsrate dabei am kleinsten ist. Als seitliche Abschirmung soll eine Wand aus Maschinensteinen (1,13 m Normalbeton) verwendet werden und als Dachabdeckung 80 cm Normalbeton.

Quelle: Aus Lit. 5, Fig. 2 und 4 folgt für ein Fe-Target:
 $6 \cdot 10^{-18} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{p}$;
 für ein C-Target ist dieser Wert um 1/4,5 kleiner =
 $1,3 \cdot 10^{-18} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2/\text{p}$.

Energie: 50 MeV; daraus folgt ein Schwächungskoeffizient von
 $\lambda = 32 \text{ g/cm}^2$ (Lit. 5, Fig. 3).

Abschirmung: 1,13 m Normalbeton für die Seite
 0,80 m Normalbeton für das Dach
 (Dichte = $2,4 \text{ g/cm}^3$).

Abstand: 3 m

Dosisleistung: 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ an der Seite und
 6,0 $\mu\text{Sv/h}$ auf dem Tunneldach.

Jahresdosis: 0,5 mSv/a an der Seite und
 6,0 mSv/a auf dem Dach.

Die seitliche Abschirmung ist etwas überdimensioniert, aber die Maschinensteine sind in ausreichender Anzahl vorhanden und haben den Vorteil, daß eine Mauer aus ihnen keine vertikalen Ritzen aufweist.

4.1.2 Interlocksystem

Es wird 2 Betriebsarten geben, analog zum Linac 2:

interner Betrieb: Der Tunnel zwischen den RFQ und dem Tunnelende ist Sperrbereich; der Raum hinter der H^- -Quelle ist voraussichtlich betretbar, jedoch Kontrollbereich; Strahlenschutzmessungen müssen zeigen, ob hier ein Aufenthalt kurzzeitiglich möglich ist.

Betrieb mit DESY 3: Der gesamte Tunnel muß Sperrbereich sein.

Die hintere Zugangstür befindet sich am Ausgang eines kleinen Labyrinths. Dazu kommen noch Interne Betriebsarten zum Testen der einzelnen Beschleunigerkomponenten.

4.1.3 Strahlverschlüsse, Strahlabsorber

Bei internem Betrieb endet der Strahl auf einem Kohlenstoffabsorber (3 cm Grafit), der Teil des Strahlverschlusses auf der Linac-seite sein kann.

Der Strahlverschluß befindet sich am Ende des Linac-Tunnels, unmittelbar vor der Durchführung zum Synchrotronring. Er besteht aus 5 cm Aluminium oder aus 3 cm Grafit und 2 cm Aluminium. Der Strahlverschluß arbeitet simultan mit dem hinter der Ringmauer im Synchrotron stehenden, der den Linac-Tunnel vor Bremsstrahlung aus DESY 2 schützt.

4.1.4 Strahlungsmonitore

In der Halle werden 2 Neutronenmonitore aufgestellt, die Teil der Strahlenüberwachungsanlage "Synchrotron" sind. Im Alarmfall werden Linac 1, Linac 2 und Linac 3 abgeschaltet. Da keine oder sehr wenige Strahlungsalarme erwartet werden, bietet sich diese vereinfachte Methode an. Die Linac 3-Monitore haben damit die gleiche Wirkung wie die der anderen beiden Linacs.

4.2 DESY 3

Die Dosiswerte werden berechnet, wie in Abschnitt 2.3 angegeben. Wir gehen davon aus, daß das Septum zum Auslenken der Protonen in Richtung PEIRA etwa an der gleichen Stelle sein wird ($\pm 1 \text{ m}$), an der sich zur Zeit das Positronenseptum (Septum 13) befindet.

4.2.1 Abschirmung des Synchrotronraumes zum Zentrum hin

Es gibt die 3 betretbaren Radialkanäle 4, 6 und 8. Kanal 4 und 6 sind mit 1 m Normalbeton, Kanal 8 mit 40 cm Normalbeton abgeschirmt. Die nicht betretbaren Kanäle 1, 3, 5 und 7 sind mit 40 cm, Kanal 2 mit 1 m Normalbeton abgeschirmt. Die 40 cm dicken Abschirmungen lassen einen gewinkelten Durchgang offen.

Quelle: Von der Linienquelle Pkt. 3 in Tab. 1 trägt an der Stelle der jeweiligen Interlocktür zur Dosis nur etwa 3,5 m bei. Deshalb wird die Quelle dieser Länge zu einer Punktquelle zusammengefaßt.

Abschirmung: Kanal 2, 4, 6 : 1 m Normalbeton
Kanal 1, 3, 5, 7, 8 : 0,4 m Normalbeton

Abstand: Kanal 4, 6, 8 : 18 m
Kanal 1, 2, 3, 5, 7 : 45 m

Dosisleistung und Jahresdosis an der jeweiligen Interlocktür:

Kanal	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
1, 3, 5, 7	4,4	1,5
2	1,2	0,36
4, 6	7,2	2,4
8	27	9,0

Punktförmiger Totalverlust einer DESY 3-Füllung bei 7,0 GeV vor Kanal 1: $H_t = 13 \mu\text{Sv}$, vor Kanal 4: $H_t = 21 \mu\text{Sv}$.

Für die Dosis im Zentrum müssen die Dosen der betretbaren Radialkanäle auf die Entfernung 45 m umgerechnet werden und die Beiträge aller Kanäle aufaddiert werden:

Zentrum : $\dot{H} = 26 \mu\text{Sv/h}$; $H_a = 8,5 \text{ mSv/a}$

Diese Dosen wären selbst ohne Kontrollbereich tolerierbar. Zentrum und Radialkanäle sind jedoch ohnehin Kontrollbereich.

4.2.2 Abschirmung der Inneren Experimentierfläche

Quelle : Pkt. 3 in Tab. 1

Abschirmung : 2,4 m Normalbeton

Abstand : 8 m

Dosen : $\dot{H} = 4,4 \mu\text{Sv/h}$; $H_a = 1,5 \text{ mSv/a}$

Damit ist die Abschirmung ausreichend.

4.2.3 Abschirmung zu Halle 1 und 2

Die Ringmauern zwischen Synchrotron und den Hallen enthalten teilweise noch die alten Durchführungen der externen Elektronen- und Gammastrahlen. Wir gehen davon aus, daß die Mauern neu aufgebaut werden und alle überflüssigen Durchführungen entfernt werden.

Quelle : Halle 1 : Pkt. 3, Tab. 1 und zusätzlich Beitrag der Ejektion (Pkt. 4, Tab. 1).

Halle 2 : Nur Pkt. 3 Tab. 1.

Abschirmung : Seitlich : 2,26 m Schwerbeton

Nach oben : 2,0 m Normalbeton

Abstand : für die Linienquelle : 5 m zur Seite und 5,5 m nach oben; für die Ejektion : 12 m zur Seite und 5,5 m nach oben.

Dosen :

	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
Halle 1 seitlich:	34	11
nach oben:	640	210
Halle 2 seitlich:	2,7	0,9
nach oben:	18	6,0

Punktförmiger Totalverlust einer gesamten DESY 3-Füllung bei 7 GeV:

Halle 1 seitlich: $H_t = 9,0 \mu\text{Sv}$

Halle 1 oben : $H_t = 25 \mu\text{Sv}$

Unmittelbar unter der Ringabdeckung in Halle 1 befindet sich die Protonenejektion und erzeugt oberhalb der Decke eine sehr hohe Dosisleistung. Da sich die Decke nicht verstärken läßt, muß sie Kontrollbereich werden (möglicherweise sogar Sperrbereich).

4.2.4 Übergänge über den Synchrotronring

Der Ring wird an insgesamt 4 Stellen überquert. An drei Übergängen wirkt nur die Linienquelle der Beschleunigung, während der Übergang östlich der Halle 1 in der Nähe der Protonenejektion quert.

Quelle : Pkt. 3, Tab. 1;

bei Übergang Halle 1 zusätzlich Pkt. 4, Tab. 1;

Abschirmung : 50 cm Normalbeton und 2,5 m Sand für die Linienquelle; 70 cm Normalbeton und 3,5 m Sand für die Punktquelle.

Abstand: 5 m für die Linienquelle und
7 m für die Punktquelle.

Dosisleistung und Jahresdosis :

Übergang Halle 1 : $\dot{H} = 380 \mu\text{Sv/h}$; $H_a = 130 \text{ mSv/a}$

sonstige Übergänge: $\dot{H} = 13 \mu\text{Sv/h}$; $H_a = 4,3 \text{ mSv/a}$.

Wenn das Septum um 5 m weiter in Richtung PETRA verschoben wird:

Übergang Halle 1 : $\dot{H} = 480 \mu\text{Sv/h}$; $H_a = 160 \text{ mSv/a}$.

Der Übergang bei Halle 1 ist nicht ausreichend abgeklärt, das Gebiet muß eingezäunt, verschlossen und als Kontrollbereich erklärt werden. An den übrigen 3 Übergängen ist die Abschirmung ausreichend.

4.2.5 Abschirmung der peripheren Gebiete

Bunker 1, Roter Kanal und X-Bauwerk können wegen ihrer großen Entfernung von der Quelle unbetrachtet bleiben.

Tunnel Bunker 2 :

Quelle : Pkt 3, Tab. 1

Abschirmung : 0,8 m Normalbeton und 1,3 m Sand

Abstand : 5 m

Dosis : 49 $\mu\text{Sv/h}$

Jahresdosis : 16 mSv/a

Punktförmiger Totalverlust einer DESY 3-Füllung bei 7 GeV: $H_t = 62 \mu\text{Sv}$.

Der Tunnel soll Kontrollbereich werden.

4.2.6 Interlocksystem

Das Iüreninterlocksystem bleibt bestehen wie bisher, mit einer Ausnahme: Das Gebiet des Transportweges zu PETRA soll bis an den PETRA-Ring ausgedehnt werden (bisher bis X-Bauwerk), um von PETRA aus mehr Abstand vom Synchrotron und eine kleine Biegung zu gewinnen; wirksame Protonenstrahlverschlüsse sind nicht einsetzbar (s.a. Lit. 8).

Um den Einschub in den jeweils angrenzenden Beschleuniger zu verhindern, wenn dieser nicht freigegeben ist, müssen alle Ejektions-elemente und die (oder einige) Transportwegmagnete abgeschaltet werden.

Das heißt:

Wenn die Freigabe von PETRA nicht vorhanden ist, müssen Hochspannung und Trigger von Septum und Kicker der Protonenejektion aus DESY 3 und die Transportwegmagnete im e^+/p -Weg synchrotronseitig abgeschaltet sein.

4.2.7 Strahlverschlüsse, Strahlabsorber

Protonenstrahlverschlüsse sind für diese Energien nicht mehr praktikabel. Ein zusätzlicher Strahlverschluß im Protonenweg Linac 3-DESY 3 ist im Synchrotronraum notwendig, um den Linacraum vor Bremsstrahlung des DESY 2 zu schützen. Dieser Strahlverschluß (30 cm Blei) arbeitet simultan mit dem im Linac-Tunnel stehenden Strahlverschluß gegen niederenergetische Protonen (s. Abschn. 4.1).

Zur Strahlvernichtung in DESY 3 bieten sich 3 Möglichkeiten an:

1. Auslenkung des Strahls in einen externen Absorber und (2. Sicherheit) Einfahren eines Strahlstoppers (z.B. 5 cm Kupfer); keine Beeinflussung des Magnetstroms.
2. Nur Einfahren eines Strahlstoppers; ebenfalls keine Beeinflussung des Magnetstroms. Ein Stopper von 5 cm Kupfer kann den Protonenstrahl von 7,5 GeV/c wirkungsvoll zerstören, ohne dabei selbst zerstört zu werden.
3. Abschalten des Magnetstroms.

Die Alternative 1 erscheint als die geeignetste Methode, da die induzierte Radioaktivität auf den Absorber beschränkt bleibt. Ferner liefert der Strahlstopper eine gute 2. Sicherheit und ein klares Signal (durch seine Endlage im eingefahrenen Zustand) für das Interlocksystem.

4.2.8 Strahlungsmonitore

Neutronenmonitore müssen in den Hallen 1 und 2 und im Zentrum installiert werden. Ihre Abschaltwirkung geht auf Linac 1, Linac 2 und Linac 3 (s.a. Abschnitt 4.1).

4.3 PETRA

Wir betrachten zunächst die Neutronendosen, wie bisher die wichtigste Strahlungskomponente. Abschätzungen der Myondosen für einige Fälle sind in Abschnitt 4.3.4 angegeben.

4.3.1 Wall zwischen Halle 50 und Halle NW

- Quellen: 1. Linienquelle der Beschleunigung: Pkt. 7 in Tab. 1;
 2. zwischen der Injektion und Halle NR zusätzlich:
 Linienquelle der Injektion: Pkt. 6b in Tab. 1;
 3. oberhalb der Injektion zusätzlich zu (1): Punktquelle der Injektion: Pkt. 6a in Tab. 1;
 4. oberhalb der Ejektion zusätzlich zu (1): Punktquelle der Ejektion: Pkt. 8a in Tab. 1.

Abschirmung: 20 cm Normalbeton und 3 m Sand; für die Linienquellen wird noch zusätzlich 15 cm Eisen der Dipol- und Quadrupolmagnete verwendet. Außerhalb der DESY-Geländegrenzen ist der Wall mindestens 4 m dick.

Abstand: 5 m; außerhalb der Geländegrenzen 6 m.

Dosisleistung und Jahresdosis:

	Quellen (s. Tab. 1)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
Wall über Injektion	6a, 6b, 7	175	58
Wall über Ejektion	6b, 7, 8a	475	160
Wall sonst	6b, 7	3,8	1,3
Wall außerhalb DESY	7	0,38	0,13

Punktförmiger Totalverlust einer PETRA-Füllung bei 40 GeV. Dosis auf dem Wall außerhalb des DESY-Geländes:
 $H_t = 92 \mu\text{Sv}$.

Die Werte über den Einschuß- und Auslenkstellen sind sehr hoch. Ein weiterer Meter Sand zur Abschirmung wäre bautechnisch möglich, bringt jedoch nur eine Dosisreduktion von 0,22. Da keine Notwendigkeit für längeren Aufenthalt an beiden Stellen besteht, wird eine Einzäunung und Errichtung eines Kontrollbereiches vorgeschlagen.

4.3.2 Übergänge über den PETRA-Ring und Schweißhalle

Es müssen die Übergänge am Bauhof und bei der Halle 50 betrachtet werden:

Quellen: Übergang Bauhof und Schweißhalle: Pkt. 6b und 7 in Tab. 1.
 Übergang zur Halle 50: Pkt. 7 in Tab. 1.

Abschirmung:

Übergang Bauhof: 20 cm Normalbeton, 1,5 m Erz-Sand-Gemisch (wird wie Schwerbeton behandelt) und 20 cm Straßendecke (wird wie Normalbeton behandelt);

Übergang Halle 50: 20 cm Normalbeton, 1,2 m Erz-Sand-Gemisch (Mittelwert) und 20 cm Straßendecke;

Schweißhalle: 20 cm Normalbeton, 80 cm Erz-Sand-Gemisch und 20 cm Straßendecke;

Zu den Linienquellen kommen noch 15 cm Magneteisen hinzu.

Abstand: Beide Übergänge: 4 m; Schweißhalle: 3,5 m.

Dosen:

	Quellen (s. Tab. 1)	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
Übergang Bauhof	6b, 7	5,8	1,6
Übergang Halle 50	7	7,8	2,6
Schweißhalle	6b, 7	46	15

Punktförmiger Totalverlust einer PETRA-Füllung bei 40 GeV. Dosis in der Schweißhalle:

$$H_t = 16 \text{ mSv.}$$

Nach den Vereinbarungen in Abschnitt 2.4 ist die Dosis in der Schweißhalle zu hoch für einen ständigen Arbeitsplatz, da wir nicht weit genug von der Grenze 42 mSv/a entfernt sind. Die Einrichtung eines Kontrollbereiches ist an dieser Stelle unerwünscht.

Es bieten sich 2 Lösungen an:

Entweder verzichtet man auf die Schweißhalle an dieser Stelle (das heißt Abriß) oder man belegt den Fußboden mit 40 cm Normalbeton (damit halbiert man etwa die berechneten Dosen) und gewinnt einen Abstellraum.

Die beiden Übergänge über den PETRA-Ring sind in Ordnung.

4.3.3 Abschirmung im Hallenbereich

Strahlabschirmung in den Hallen (ohne Hallen N)

Quellen: 1. Linienquelle der Beschleunigung: Pkt. 7 in Tab. 1;

zusätzlich für die Hallen O und NO;

2. Linienquelle der Injektion: Pkt. 6b in Tab. 1.

Abschirmung: Seiten: 1,13 m Schwerbeton;

Decke : 0,80 m Normalbeton.

Abstand: Seite : 2 m;

Decke : 3 m.

Dosisleistung und Jahresdosis:

	$\dot{H} (\mu\text{Sv/h})$	$H_a (\text{mSv/a})$
Seite Hallen O, NO	170	57
alle anderen H.	100	33
Decke Hallen O, NO	330	70
alle anderen H.	210	110

Punktförmiger Totalverlust einer PETRA-Füllung bei 40 GeV im Hallenbereich:

$$H_t = 54 \text{ mSv.}$$

Diese Werte sind relativ hoch und bedeuten nach unserer Vereinbarung in Abschnitt 2.4 die Einrichtung eines Kontrollbereiches. Eine Verstärkung der Abschirmung würde zwar die Dosiswerte nominell verkleinern, aber die Gesamtsituation in der Halle nicht in dem Maße verbessern. Denn zu den berechneten Dosen kommen noch die Beiträge von Schwachstellen in der Abschirmung hinzu, die schwer zu beseitigen sind, wie Kabel- und Rohrdurchführungen, Löcher für Stromschienen und das Zugangslabyrinth. Wir schlagen deshalb die oben angeführte Abschirmung des Strahls vor (1 Maschinenstein Schwerbeton an den Seiten und 0,80 m Normalbeton als Dach), mit der Auflage, alle sonstigen Öffnungen so gut wie möglich mit mindestens 80 cm Normalbeton abzudecken. Die Strahlbedeckung wird dann Sperrbereich und Messungen werden zeigen, ob der Rest der Halle Kontrollbereich werden muß.

Vorschlag für ein Zugangslabyrinth

Mit der in Lit. 9 angegebenen Methode kann die Äquivalentdosis am Ende von rechtwinkligen Labyrinth berechnet werden. Für die PETRA-Hallen soll nur ein einmal geknickter Zugang betrachtet werden, da wenig Platz zu Verfügung ist und eine stärkere Schwächung der Dosis durch das Labyrinth als der allgemeine Hallenuntergrund nicht sinnvoll ist.

Quelle: Für die Hallen O und NO: Pkt. 6b und 7 (Tab. 1);

für die anderen Hallen: Pkt. 7 (Tab. 1).

Dabei werden jeweils 3 m der Linienquelle zu einer Punktquelle zusammengefaßt.

Äquivalentdosis am Labyrinthanfang, etwa 1 m vom Strahl entfernt:

Aus Lit. 5 erhält man die Neutronenausbeute bis 10 GeV.

Diese Werte werden zu höheren Energien linear extrapoliert.

Dabei wird die Annahme gemacht, daß niederenergetische Neutronen unter 8 MeV dominieren. Aus Lit. 10 erhält man den Konversionskoeffizienten Fluenz-Dosis für Neutronen über 1 MeV zu $4 \cdot 10^{-10} \text{ Sv} \cdot \text{cm}^2$.

Damit ergibt sich

$\dot{H}(1 \text{ m}) = 28 \text{ mSv/h}$ für die Hallen 0 und NO,

$\dot{H}(1 \text{ m}) = 19 \text{ mSv/h}$ für die sonstigen Hallen.

Labyrinth: Das Labyrinth besteht aus einem unter 90° abgewinkelten Zugang von 1,2 m Breite und 2 m Höhe ($A = 1,2 \cdot 2 \text{ m}^2$).

Wir untersuchen ein Labyrinth mit den Abmessungen:

$r_1 = 5 \text{ m}$; $r_2 = 2,5 \text{ m}$, wobei r_1 und r_2 wie in Lit. 9 die Länge der "Labyrinthbeine" sind.

Damit ergibt sich für das Ende des Ganges:

Dosen: $\dot{H}(5 \text{ m}; 2,5 \text{ m}) = 120 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ für die Hallen 0 und NO,

$\dot{H}(5 \text{ m}; 2,5 \text{ m}) = 80 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ für sonstigen Hallen,
oder Jahresdosen:

$H_a(5 \text{ m}; 2,5 \text{ m}) = 40 \text{ mSv/a}$ für die Hallen 0 und NO,

$H_a(5 \text{ m}; 2,5 \text{ m}) = 27 \text{ mSv/a}$ für die sonstigen Hallen.

Damit ist die durch das Zugangslabyrinth diffundierende Dosis etwa gleich groß wie die durch die laterale Abschirmung dringende. Eine weitere Reduktion der Labyrinthdosis ist damit nicht sinnvoll.

Bereich außerhalb der Hallen

Zu betrachten sind die Ecken zwischen Tunnel und Halle; die Lüfterhäuschen und das Ende der Schräggänge. Die dünnsten Stellen sind die erwähnten Ecken.

Quellen: Wie innerhalb der Hallen; für die Schräggänge werden 5 m der Linienquelle zu einer Punktquelle zusammengefaßt.

Abschirmung: Ecken: 1 m Normalbeton; Lüfterhäuschen (nur Eingangsteil; der hintere Teil ist ohnehin Sperrbereich): 0,5 m Normalbeton und 1 m Sand;

Schräggänge: 0,8 m Normalbeton.

Abstand: Ecken: 3 m
Lüfterhäuschen: 4,5 m
Schräggänge: 20 m

Dosen:

	$\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$	$H_a(\text{mSv/a})$
Ecken Hallen 0, NO	210	70
alle anderen H.	130	43
Lüfterhaus 0, NO	105	35
alle anderen H.	63	21
Schräggänge 0, NO	51	17
alle anderen	31	10

Die Endabschirmung der Schräggänge erfüllen soeben die Bedingungen, die noch keinen Kontrollbereich nötig machen. Außerdem wäre eine Verstärkung der Abschirmung leicht zu realisieren. Die Lüfterhäuschen sind sowieso schon Kontrollbereich und sollen es auch bleiben. Schwieriger ist die Situation in den Hallen-Tunnel-Ecken. Die nach oben führenden Treppen sind eigentlich nur zum Betreten der Lüfterhäuser notwendig. Auch hier sollten die Ergebnisse der Messungen abgewartet werden, bevor zu Abperrmaßnahmen gegriffen wird (zusätzliche Abschirmung ist nicht möglich).

Abschirmung der Halle 50 gegenüber dem Protonen-Einschußkanal

Der geringste Abstand zum Protonen-Einschußweg hat man in der Ecke "Innen-links" der Halle 50.

Quelle: Linienquelle Pkt. 5 in Tab. 1.

Abschirmung: 50 cm Normalbeton und 1,5 m Sand.

Abstand: 3 m

Dosis: $\dot{H} = 9,9 \text{ } \mu\text{Sv/h}$; $H_a = 3,3 \text{ mSv/a}$

Punktförmiger Totalverlust einer DESY 3-Füllung bei 7 GeV:

$H_t = 72 \text{ } \mu\text{Sv}$.

Das heißt, es sind keine zusätzlichen Maßnahmen nötig.

Abschirmung in den Hallen NR und NL

In diesem Abschnitt werden nur die Abschirmungsmaßnahmen an den Zugängen zum PETRA-Tunnel untersucht. Die Abschirmung des Zugangs zum Transferkanal von Halle NL aus folgt in Abschnitt 4.4.2.

Die Kanäle zum PETRA-Tunnel müssen hallenseitig mit Normalbetonsteinen so zugestellt werden, daß ein Winkelgang entsteht, an dessen Ende sich die Interlocktür befindet. Nach oben muß die Mauer den Zugang überlappen. Mehr als 1 m Überlappung dürften nicht zu realisieren sein.

Dosis hinter der Abschirmung:

Quelle: Halle NR: Linienquelle der Beschleunigung,
Pkt. 7 in Tab 1 und
Linienquelle der Ejektion nach PETRA,
Punkt. 8b in Tab. 1;

Halle NL: Linienquelle der Beschleunigung,
Pkt. 7 in Tab. 1.

4 m der Linienquellen werden zu einer Punktquelle
zusammengefaßt.

Abschirmung: Halle NR: 1,6 m Normalbeton
Halle NL: 0,8 m Normalbeton

Abstand: Halle NR: 15,5 m
Halle NL: 14,5 m

Dosen:

	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
Halle NR	36	12
Halle NL	7,2	2,4

Dosis am Ende des Winkelgangs:

Die Dosis am Ende des Labyrinths wird genauso berechnet wie weiter oben für den Bereich der anderen PETRA-Hallen beschrieben.

Quelle: Halle NR: Pkt. 7 und Pkt. 8b in Tab. 1
Halle NL: Pkt. 7 in Tab. 1

Dosisleistung am Labyrinthanfang: Entfernung vom Strahl: 1 m

Halle NR: 800 mSv/h
Halle NL: 25 mSv/h

Labyrinth: Erstes Bein: $r_1 = 15$ m

Zweites Bein:

Halle NR: $r_2 = 3$ m

Halle NL: $r_2 = 2$ m

nach oben: $r_2 = 1$ m

Querschnitt: $A = 1,5 \cdot 2,5 \text{ m}^2 = 3,75 \text{ m}^2$

$f_2(1 \text{ m}) = 0,34$

$f_2(2 \text{ m}) = 0,11$

$f_2(3 \text{ m}) = 0,063$

Dosen:

	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
Halle NR		
Ende Lab.	450	150
oben	2400	800
Halle NL		
Ende Lab.	24	8
oben	76	25

Punktförmiger Totalverlust einer gesamten PETRA-füllung bei 40 GeV vor dem Zugangskanal zur Halle NL:

$H_t = 2,9 \text{ mSv}$.

Folgerung: Halle NL ist in Ordnung; eine erhöhte Bühne in der Nähe des Zugangs zum Tunnel muß vermieden werden oder Kontrollbereich sein. Ein Zugang von Halle NR zum Tunnel ist mit einem so einfachen Labyrinth nicht möglich. Da sich ein ausreichendes Labyrinth an dieser Stelle nur schwer realisieren läßt, ist es einfacher, den Zugang zum Tunnel zu sperren und mit 1,6 m Normalbeton abzuschirmen. Die Abschirmung muß die Öffnung des Zugangskanals auf beiden Seiten um 2 m überlappen.

Außerdem muß die unmittelbare Nähe der Zugangskanäle außerhalb der Hallen abgegrenzt werden und zum Kontrollbereich erklärt werden (evtl. Sperrbereich). Ein Betreten der Kanäle vom Wall aus darf nicht möglich sein.

4.3.4 Myonen

Die Myonendosen können an Stellen, die sehr nahe am Strahl sind, einen merklichen Beitrag zur Gesamtdosis liefern. Die betretbaren Stellen, die den geringsten Abstand zum Strahl haben sind die Ecken zwischen den Außenseiten der PETRA-Hallen und der Außenseite der Tunnelwand. Für diese Stellen wurde in Lit. 7 die Dosis pro Proton berechnet. Dabei wurde eine Strahlabschirmung in den Hallen aus Normalbeton angenommen. Weiter oben rechnen wir mit Schwerbeton, d.h. die Werte aus Lit. 7 sind etwas zu hoch.

Quelle: Beim punktförmigen Verlust von 40 GeV-Protonen tritt das Maximum der Myonenfluenz bei einem Abstand vom Strahl von etwa 2,5 m in (35 ± 2) m auf. Deshalb wird für den "Normalfall" angenommen, daß die Protonen der Linienquelle (Pkt. 7, Tab. 1), die über 5 m verloren gehen auf ein Eisentarget treffen, das 35 m vor dem Beobachtungspunkt, also 15 m vor der Halle, treffen (MUSTOP; Tunnelgeometrie).
damit ergeben sich: $6,0 \cdot 10^{10}$ p/h.

Abschirmung: 10 m Normalbeton in Flugrichtung der Myonen
(s. Lit. 7, Fig.29)

Abstand: In Strahlrichtung 35 m; senkrecht zur Strahlrichtung 3 m

Dosen: Aus Lit. 7, Tab. 3 folgt $2,0 \cdot 10^{-14}$ μ Sv/p für 40 GeV.

Damit ergibt sich:

$$\dot{H} = 1,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{Sv/h}; H_a = 0,4 \mu\text{Sv/a}$$

Das ist gegenüber der Neutronendosis vernachlässigbar wenig.

Für den aufgeschütteten Sandwall gilt die gleiche Quelle wie oben.

Abschirmung: 3 m Sand nach oben; 6,5 m Sand seitlich in Strahlhöhe. Das heißt, es braucht nur die Welloberseite betrachtet zu werden wenn sie bereits genügend kleine Dosiswerte aufweist.

Dosen: Aus Lit. 7, Fig. 23 erhält man das Maximum an Dosis pro Proton zu $1,2 \cdot 10^{-13}$ μ Sv/p.
Damit ergibt sich für den Protonenverlust des "Normalfalles":

$$\dot{H} = 7,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{Sv/h}; H_a = 2,4 \mu\text{Sv/a}$$

Das ist ebenfalls gegenüber der Neutronendosis vernachlässigbar.

4.3.5 Interlocksystem

Das Türeninterlocksystem bleibt bestehen wie bisher, mit Ausnahme der Modifikation im X-Bauwerk, wie bereits bei DESY besprochen. Eine zusätzliche Tür wird installiert werden müssen, die den Zugang zum p-Transferkanal nach HERA ermöglicht.

Um den Einschuß in die angrenzenden Beschleuniger zu verhindern, wenn diese nicht freigegeben sind, müssen Ejektions- und Injektionselemente und die (oder einige) Transportwegmagnete abgeschaltet werden.

Also:

- Wenn die Freigabe von HERA nicht vorhanden ist, müssen Hochspannung und Trigger von Septum und Kicker der Protonenejektion aus PETRA und die Transportwegmagnete im p-Kanal petraseitig abgeschaltet werden;
- wenn die Freigabe des Synchrotronraumes nicht vorhanden ist, müssen Hochspannung und Trigger von Septum und Kicker des Elektroneneinschusses und die Transportwegmagnete des e⁻-Weges petraseitig abgeschaltet werden, um einen Rückschuß der Protonen zu verhindern.

4.3.6 Strahlabsorber

Zur Strahlvernichtung wird vorgeschlagen (analog Möglichkeit 1 in DESY 3):

Auslenkung des Strahls in einen externen Absorber und anschließend Einfahren eines Strahlstoppers (5 cm Kupfer); keine Beeinflussung des Magnetstroms.

Der Strahlstopper wird als zusätzliche Sicherheit verwendet; er soll im Normalfall nicht zur Vernichtung des Strahls verwendet werden. Beim Durchgang des vollen Strahls erwärmt sich das Kupfer an der heißesten Stelle um etwa 50°. Dabei verliert jedes Proton im Mittel 300 MeV. Wenn die Energieunschärfe von PETRA 1% beträgt, können im ungünstigen Fall die Protonen ein zweites mal den Stopper passieren, d.h. eine Erwärmung bis 100° lokal ist möglich. Im Rahmen der Unsicherheit solcher Abschätzungen ist es deshalb nicht sinnvoll, den Strahlstopper zur Strahlvernichtung zu verwenden. Er ist aber als zusätzliche Sicherheit verwendbar, da er im Falle des Versagens der Ejektion zum Absorber, den Strahl vernichtet, ohne dabei selbst zerstört zu werden.

4.3.7 Strahlungsmonitore

Es sind zusätzliche Neutronenmonitore in den Hallen notwendig. Insbesondere müssen die Hallen NL, NR damit ausgerüstet werden. Im Fall von "Alarm" werden die Ejektionselemente in DESY 3 abgeschaltet (die Transportwegmagnete werden nicht abgeschaltet).

4.4 Transferkanal PETRA-HERA

Der Transferkanal beginnt ebenerdig zwischen den PETRA-Hallen NR und NL und fällt ab Richtung HERA-Halle W. Er ist nach oben mit mindestens 3 m Sand abgedeckt (in der PETRA-Nähe als Wall), mit der Ausnahme der Straßenüberquerung, wo 1 m Schwebeton vorgesehen ist.

4.4.1 Abschirmung nach außen (Wall, Straßenüberführung)

Neutronen

Quelle: Linienquelle Pkt. 9 in Tab. 1

Abschirmung: 20 cm Normalbeton der Tunneldecke und 3 m Sand beim Wall oder 1 m Schwebeton unter der Straße; zusätzlich werden noch 15 cm Eisen der Strahlführungsmagnete berücksichtigt

Abstand: Wall 5 m; Straße 3 m.

Dosisleistung und Jahresdosis:

	\dot{H} ($\mu\text{Sv/h}$)	H_a (mSv/a)
Auf dem Wall	5,6	1,9
Straßenüberfö.	51	17

Der Wall ist demnach unkritisch. Für die Straßenüberführung ist der Wert akzeptabel.

Für die Ecke der Halle NL, die am nächsten zum p-Kanal liegt, gelten die gleichen Abschirm- und Abstandswerte wie für den Wall. Der Aufenthalt dort ist demnach unproblematisch.

Myonen

Die kritischste Richtung ist eine Tangente an den petraseitigen Bogen, die in Richtung Halle NL zielt, so daß sie durch einen Teil des Zugangslabyrinths führt. Die Tangente endet etwa 3,5 m unter dem Hallenfußboden.

Quelle: Da die Bahnkrümmung der Protonen klein ist und Myonen im wesentlichen in Vorwärtsrichtung emittiert werden, wird für den normalen Verlust die Linienquelle eines 20 m langen Bogenstücks als punktförmige Quelle verwendet. (Backstop-Geometrie mit einer Driftstrecke von 7 m).

Abschirmung: 34 m Sand

Abstand: seitlicher Abstand von der Tangente: 3,5 m

Dosen: Mit dem Umrechnungsfaktor von Myonenfluenz zu Äquivalentdosis von $3,2 \cdot 10^{-14} \text{ Sv} \cdot \text{m}^2$ (Lit. 7) ergeben sich:

$$\dot{H} = 3,7 \cdot 10^{-9} \mu\text{Sv/h} \approx 0$$

Das braucht also nicht berücksichtigt zu werden.

4.4.2 Zugänge zum Transferkanal

Zugang von Halle NL

Den Zugang von der Halle NL betrachten wir als einfaches Labyrinth. Die Dosen am Ende des Ganges, also in der Halle, lassen sich dann nach Lit. 9 berechnen.

Quelle: Pkt. 9 in Tab. 1; eine Länge von 5 m der Linienquelle wird zu einem Punkt zusammengefaßt. Das ergibt $6,9 \cdot 10^{10}$ p/h

Äquivalentdosis am Labyrintheingang, etwa 1 m vom Strahl entfernt: Aus Lit. 5 erhält man die Neutronenausbeute für 40 GeV von 280 n/p; aus Lit. 10 erhält man den Konversionskoeffizienten von Fluenz in Äquivalentdosis für Neutronen über 1 MeV zu $4 \cdot 10^{-14}$ Sv·m². Damit ergibt sich

$$\dot{H}(1 \text{ m}) = 61 \text{ mSv/h.}$$

Das Labyrinth hat die Abmessungen:

$$r_1 = 6 \text{ m}; \quad r_2 = 11 \text{ m}; \quad A = 1,5 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}$$

(die Abweichung von der 90° Anordnung der beiden Labyrinthbeine bleibt unberücksichtigt).

Am Ende des Ganges ergibt sich:

$$\dot{H}(6 \text{ m}, 11 \text{ m}) = 5,3 \text{ } \mu\text{Sv/h oder } H_a = 1,8 \text{ mSv/a.}$$

Abschirmung: 80 cm Normalbeton bewirken eine Schwächung von $e^{-0,058 \cdot 80} = 9,7 \cdot 10^{-3}$ (Lit. 11).

Damit hat man in der Halle:

$$\dot{H} = 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ } \mu\text{Sv/h oder } H_a = 17 \text{ } \mu\text{Sv/a.}$$

Das ist vernachlässigbar wenig. Der Knick des Zugangs nach unten ist dabei noch unberücksichtigt.

Schräggang

Für den Zugang durch den Schräggang wird die gleiche Quelle wie für den Labyrinthgang angenommen.

Abschirmung: 80 cm Normalbeton am Ende des Schrägganges.

Abstand: 25 m

Dosisleistung und Jahresdosis:

$$\dot{H} = 5,4 \text{ } \mu\text{Sv/h}; \quad H_a = 1,8 \text{ mSv/a}$$

Das ist in Ordnung. Der hintere Teil des Schrägganges, ab der Stelle, an der er aus dem Erdwall tritt, sollen die Seitenwände 50 cm dick sein.

4.4.3 Interlocksystem

Wenn der Transferkanal von beiden Enden aus betretbar ist, wird er aus 2 Interlockgebieten bestehen, die etwa in der Mitte durch eine Drahtgittertür getrennt sind. Jedes der beiden Gebiete wird dann ein Teilinterlockgebiet des jeweils angrenzenden Beschleunigers sein.

Wenn der Kanal nur von der PETRA-Seite aus begehbar ist, (Nolaustieg an der HERA-Seite?) gibt es nur 1 Interlockgebiet, das dann zu beiden Beschleunigern gehört.

4.4.4 Strahlungsmonitore

In der Halle NL muß der Zugang zum Transferkanal mit einem Neutronenmonitor überwacht werden. Dieser Monitor ist Teil der HERA-Strahlenüberwachungsanlage, das heißt im Alarmfall werden die Ejektionselemente aus PEIRA abgeschaltet.

Erklärungen zu Tabelle 1

\bar{E}_p = mittlere Protonenenergie

P = Punktquelle

L = Linienquelle

1) Nach Lit. 4 Kann Linac 3 $4,4 \cdot 10^{12}$ Protonen pro Puls liefern. Da aus einem Puls in DESY 3 3 bunche gemacht werden, liefert er $1,5 \cdot 10^{12}$ Protonen pro bunch, während nach diesem Schema nur $5,3 \cdot 10^{11}$ benötigt werden.

2) UD = Umfang DESY 3 = 317 m

3) UP = Umfang PETRA = 2300 m

4) UH = Umfang HERA = 6340 m.

Tabelle 1

Protonen - Verlustschema

Nr.	Ort	\bar{E}_p	AN/N	Quelle	verlorene Prot.		Rest		Bem.
		GeV			Z	/bunch	/(b·m)	/bunch	
1	Ende Linac 3	0.05	20	P	1.1	+11	5.3	+11	1)
2a	Injektion in DESY 3	0.05	10	L = UD	4.2	+10	4.2	+11	2)
b			20	L = UD	7.6	+10	2.4	+8	2)
3	Beschleunigung in DESY 3	3.5	5	P	1.5	+10	2.9	+11	
4a	Ejektion aus DESY 3	7.0	10	L = 10 m	2.9	+10	2.8	+9	
b			5	L = 180 m	1.3	+9	1.1	+7	
5	Transfer DESY 3 -> PETRA	7.0	0.5	L = 800 m	1.3	+10	3.0	+7	
6a	Injektion in PETRA	7.0	5	P	1.3	+10	2.4	+11	
b			10	L = 800 m	2.4	+10	3.0	+7	
7	Beschleunigung in PETRA	23.5	20	L = UP	4.4	+10	1.9	+7	3)
8a	Ejektion aus PETRA	40.0	5	P	9.0	+9	1.7	+11	
b			10	L = 50 m	1.7	+10	3.4	+8	
9	Transfer PETRA -> HERA	40.0	3	L = 330 m	4.5	+9	2.1	+7	
10a	Injektion in HERA	40.0	5	P	7.5	+9	1.4	+11	
b			10	L = 800 m	1.4	+10	1.8	+7	
11	Beschleunigung in HERA	200.	20	L = UH	2.4	+10	3.9	+6	4)

Literatur

1. HERA, A Proposal for a Large Electron-Proton Colliding Beam Facility at DESY
DESY HERA 81/10 (1981).
2. Mitteilungen von MIN und MTH (Nov. 1985).
3. G.W. Bennett, G.S. Levine, W.H. Moore: Source Functions and Transport Losses for a 28-GeV External Proton Beam
Part. Accel. 2 (1971) 251
4. U. Timm (ed.): Project Study for the 50 MeV HERA Linac as H⁻Injector for DESY III
DESY HERA 84-12 (1984).
5. K. Tesch: A Simple Estimation of the Lateral Shielding for Proton Accelerators in the Energy Range 50 to 1000 MeV
Rad. Prot. Dosimetry 11 (1985) 165.
6. K. Tesch and H. Dinter: Estimation of Radiation Fields at High Energy Proton Accelerators
(to be published).
7. C. Yamaguchi: Neutron and Muon Shielding Calculations for Storage Rings HERA and PETRA
Int. Report DESY 03-45 (1983).
8. H. Dinter, K. Tesch: Zur Personensicherheit gegenüber Strahlung beim zukünftigen Verbundbetrieb der Beschleuniger.
Laborbericht 03-29 (1985).
9. K. Tesch: The Attenuation of the Neutron Dose Equivalent in a Labyrinth through an Accelerator Shield
Part. Accel. 12 (1982) 169

10. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 21, 1973
11. K. Tesch: Data for Simple Estimates of Shielding Against Neutrons at Electron Accelerators
Part. Accel. 9 (1979) 201.

