

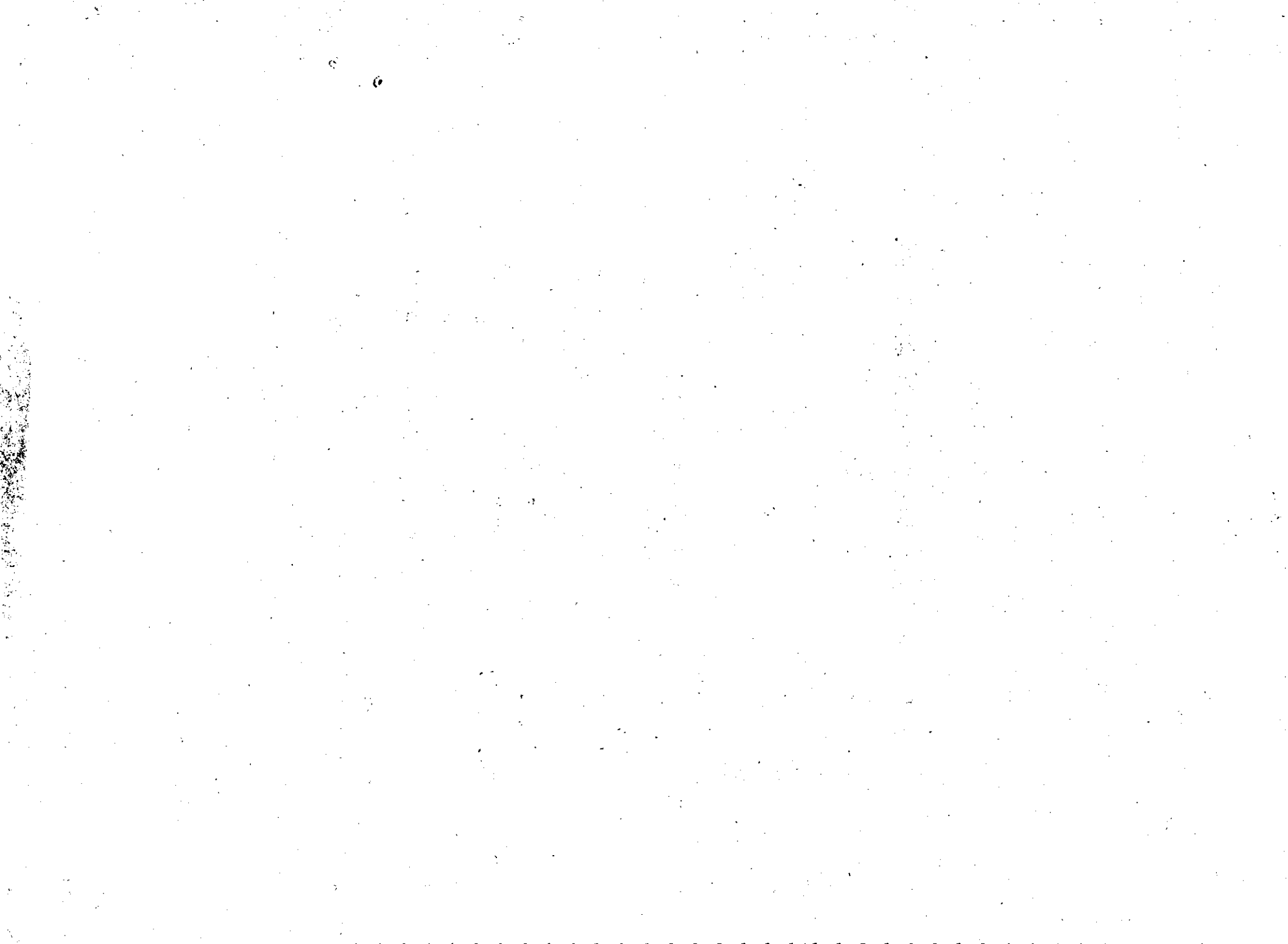
Interner Bericht
DESY D3/19
März 1975

DESY-Bibliothek
20. MAI 1975

Die Strahlenschutzmaßnahmen für den Speicherring PETRA

von

H. Dinter und K. Tesch



1. Allgemeines

Seit einigen Jahren kommt in der Hochenergiephysik den Speicherringanlagen eine ständig wachsende Bedeutung zu. Es war daher naheliegend, die auf dem Gelände vorhandenen Anlagen, nämlich zwei Linearbeschleuniger, das Synchrotron DESY und den Speicherring DORIS, durch einen neuen Speicherring für hohe Energien zu ergänzen. Das neue Projekt PETRA stellt ebenso wie der Speicherring DORIS keinen Beschleuniger im üblichen Sinne dar, in dem in schneller Folge Teilchen von der Ruheenergie auf hohe Energien beschleunigt werden und dann am Ende eines jeden Beschleunigungszyklus absorbiert werden müssen. Es wird vielmehr der Speicherring PETRA mit bereits hochenergetischen Positronen und Elektronen gefüllt. Sie werden in PETRA nachbeschleunigt, können aber dann über viele Stunden als ständig kreisender Strom in dem Vakuumrohr gehalten werden.

Dieser Unterschied zwischen konventionellen Beschleunigern und Speicherringen ist für die zu treffenden Strahlenschutzmaßnahmen sehr wesentlich. Die folgenden Zahlen sollen dies verdeutlichen. Im Synchrotron werden typischerweise 10 mA (oder $3,1 \cdot 10^{12}$ Elektronen/s bei einer Beschleunigungsrate von 50 Hz) bis zu 7 GeV beschleunigt. Nach einer Betriebszeit von 10 Stunden wird auf diese Weise eine Strahlenergie von 35 kWh freigesetzt, die durch Wechselwirkung mit Materie teils im Beschleunigerraum, teils im experimentellen Aufbau wieder absorbiert werden muß. Bei einem Speicherring dagegen kann man damit rechnen, daß der einmal eingeschossene Strahl eine Lebensdauer von beispielsweise 10 Stunden hat. Wenn man bei PETRA mit einer maximalen Stromstärke von 100 mA bei 15 GeV rechnet und annimmt, daß beim Einschub 50% des Strahls eingefangen wird, so bedeutet das eine Freisetzung von 0,006 kWh Strahlenergie. Dieser Unterschied zwischen konventionellem Beschleuniger und Speicherring macht sich z.B. dadurch praktisch bemerkbar, daß nach dem Abschalten des DESY die Restaktivität im Beschleunigertunnel besondere Vorsichtsmaßnahmen erfordert, während DORIS nach dem Abschalten nicht einmal als Kontrollbereich klassifiziert zu werden braucht, sondern frei zugängliches Gebiet wird.

Das Projekt PETRA stellt eine Erweiterung des existierenden Speicherrings DORIS hin zu höheren Energien dar. Während in DORIS z.Zt. Endenergien von 3 GeV (später 5 GeV) erreicht werden, sollen in PETRA die Teilchen auf etwa 20 GeV beschleunigt werden. Vom Standpunkt des Strahlenschutzes ist der Unterschied zwischen den beiden Anlagen nicht wesentlich. Dies wird verständlich, wenn man die Art der Wechselwirkung von Elektronen und Photonen mit Materie größerer Dicke betrachtet. Schon nach wenigen Zentimetern bildet sich in der Abschirmung die elektromagnetische Kaskade aus, wobei kaskadenartig eine sehr große Anzahl von niederenergetischen Elektronen und Photonen gebildet wird. Nachdem auf diese Weise die Information über die Primärenergie restlos verloren gegangen ist, wird die Abschirmwirkung der Wand von diesen niederenergetischen Teilchen bestimmt, und die Dosisleistung hinter der Wand hängt nicht mehr von der Primärenergie, sondern nur noch von der Strahlleistung ab. Der zu betrachtende Maximalwert dieser Größe ist aber, wie wir in Abschnitt 3 zeigen werden, für beide Anlagen gleich groß.

Die gleichen Überlegungen gelten für die zweitwichtigste Strahlungskomponente, die Riesenresonanz-Neutronen. Sie werden als niederenergetische Neutronen von etwa 1 MeV in der Riesenresonanz, von Photonen aus der elektromagnetischen Kaskade mit Energien von 20 MeV erzeugt, ihre Produktionsrate ist damit ebenfalls nicht der Primärenergie des Strahls, sondern der Strahlleistung proportional.

Näherungsweise gilt dies auch für höherenergetische Neutronen im Bereich 10 bis 100 MeV, die dritte Strahlungskomponente, die wir zu betrachten haben. Zwar ist das Spektrum der Neutronen in diesem Energiebereich nicht mehr völlig unabhängig von der Primärenergie, doch ist eine Bevorzugung höherer Energien stets mit einer Bevorzugung kleinerer Erzeugungswinkel gekoppelt, die bei der Berechnung von seitlichen Abschirmungen keine Rolle spielen.

Allein bei der vierten zu betrachtenden Strahlungskomponente, den Myonen, ist die Primärenergie maßgebend. Wir werden aber in Abschnitt 4 zeigen, daß bei der Konfiguration von PETRA die Myonen keine Rolle spielen.

Damit kommen wir zu dem Schluß, daß die für DORIS getroffenen Strahlenschutzmaßnahmen direkt auf PETRA übertragen werden können. Ferner können wir die während des Betriebsjahrs 1974 an DORIS gesammelten Erfahrungen, insbesondere die Ergebnisse der Strahlungsmessungen, übernehmen.

2. Die Strahlenschutzmaßnahmen

Aus dem vorherigen Abschnitt geht hervor, daß die Strahlenschutzmaßnahmen an einem Speicherring sehr einfach sind. Außerdem haben Speicherringe stets eine einfache Konfiguration, einen geschlossenen Ring mit zwei Einschußkanälen, jedoch keine hochenergetischen externen Strahlen, da die Experimentierzonen Bestandteile des Rings sind.

Wie schon bei DORIS soll auch bei PETRA der Ring "dick" abgeschirmt werden durch einen Sandwall, sofern der Ring nicht bereits tief genug unter der Erdoberfläche verläuft. Sand ist auf dem Gelände das wirtschaftlichste Abschirmmaterial. Dicke Abschirmung bedeutet, daß die maximal zu erwartende Dosis an der Wolloberfläche so klein ist, daß ein Monitorsystem, welches im Bedarfsfall den Betrieb unterbricht, überflüssig wäre.

In den Experimentierhallen, die den Wall unterbrechen, wäre eine dicke Abschirmung um die Experimentieranordnungen herum sehr unhandlich und teuer. Wie bei DORIS wird hier eine "dünne" Betonabschirmung gewählt in Verbindung mit Strahlungsmonitoren, die im Interlocksystem der Anlage liegen und bei einer einstellbaren Dosisleistung den Betrieb unterbrechen.

Die Dosisleistung bzw. Dosis hinter den genannten Abschirmungen ist für 2 Betriebszustände zu berechnen:

a) Einschußfall. Hier nehmen wir an, daß der Strahl mit maximaler Strahlleistung (siehe Abschnitt 3) eingeschossen wird, jedoch infolge einer Fehleinstellung ständig an einer Stelle im Ring verloren geht. Kann der Fehler nicht sofort korrigiert werden, wird dieser Zustand eine gewisse Zeit andauern. Die Dosisleistung während dieser Zeit ist zu berechnen.

b) Speicherfall. Nach Abschluß des Einschusses hat der gespeicherte Strahl normalerweise eine Lebensdauer von mehreren Stunden, der allmähliche Strahlverlust wird etwa gleichmäßig um den Ring verteilt sein. Wir nehmen jedoch an, daß ein gespeicherter Strahl der maximal möglichen Strahlenergie an einer Stelle im Ring verloren geht. Die dadurch entstehende (von der Zeitdauer des Strahlverlustes unabhängige) Dosis außerhalb der Abschirmung ist zu berechnen.

Die Wirksamkeit der Abschirmungen wird von der Strahlenschutzgruppe regelmäßig mittels transportabler Meßgeräte kontrolliert. Ferner werden fest installierte Meßstationen eingerichtet, die insbesondere an der Geländegrenze die Strahlungsdosen messen. Die Stationen werden mit Festkörperdosimetern bestückt, die sich im Vergleich zu elektronischen Geräten durch besonders hohe Zuverlässigkeit und große Empfindlichkeit auszeichnen.

3. Maximalwerte für Einschub und Speicherung

Zur Berechnung der Dosisleistung für den ersten der in Abschnitt 2 genannten Betriebszustände (erfolgloser Einschub) ist die Strahlleistung während des Einschusses zu bestimmen. Wir betrachten im folgenden nur die Speicherung von Elektronen. Hier können wir annehmen, daß im DESY 10 mA umlaufender Strom zur Verfügung steht, damit kann normalerweise die Speicherung in PETRA in weniger als 1 Minute abgeschlossen werden. Der Positronenstrom in DESY beträgt maximal 0,5 mA, diese Strahlleistungen brauchen daher nicht betrachtet zu werden; für eine Positronenfüllung rechnet man etwa 10 Minuten.

Der Einschub in PETRA im Tandembetrieb ist im PETRA-Vorschlag (Lit. 1) ausführlich dargestellt. Wir wollen ihn schematisch angeben, um die auftretende Strahlleistung beim Einschub in PETRA mit einer Energie von 7 GeV zu bestimmen:

Fall a) Gespeichert werden soll 1 Bunch, so daß sich eine mittlere Stromstärke von $35 \text{ mA} \hat{=} 1,68 \cdot 10^{12} \text{ e}$ ergibt.

In DORIS: 30 Bunche besetzt, mittlerer Strom 280 mA.

Die Bunche werden einzeln ejiziert, Abstand jeweils 140 ms.

Transferdauer: $30 \cdot 0,14 \text{ s} = 4,2 \text{ s}$

Im Synchrotron: $10 \text{ mA}, 50 \text{ Hz} \hat{=} 3,12 \cdot 10^{12} \text{ e/s}$ in 480 Bunchen.

Transfer DESY→DORIS: $3,12 \cdot 10^{12} \cdot 30/480 = 1,95 \cdot 10^{11} \text{ e/s}$

Dauer: 8,7 s

Ergibt für ständigen Einschub in PETRA:

$1,68 \cdot 10^{12} \text{ e}/(8,7 + 4,2)\text{s} = 1,30 \cdot 10^{11} \text{ e/s} \hat{=} \underline{146 \text{ W}}$ bei 7 GeV

Eine Speicherung von 4 Bunchen könnte etwa folgendermaßen ablaufen:

Fall b) 4 Bunche mit $120 \text{ mA} \hat{=} 5,76 \cdot 10^{12} \text{ e}$.

In DORIS: 30 Bunche, mittlerer Strom 960 mA.

Die Bunche werden einzeln ejiziert.

Transferdauer: 4,2 s

Transfer DESY→DORIS: $1,95 \cdot 10^{11} \text{ e/s}$

Dauer: 29,5 s

Ergibt für ständigen Einschub in PETRA:

$5,76 \cdot 10^{12} \text{ e}/(29,5 + 4,2)\text{s} = 1,71 \cdot 10^{11} \text{ e/s} \hat{=} \underline{190 \text{ W}}$ bei 7 GeV

Bei einer späteren Ausbaustufe können höhere Stromstärken in einem 40-Bunch-Betrieb erreicht werden, folgendes Einschubschema wäre möglich:

Fall c) 40 Bunche mit $300 \text{ mA} \hat{=} 1,44 \cdot 10^{13} \text{ e}$.

1/8 des Umfanges von PETRA wird mit dem Inhalt von DORIS gefüllt.

In DORIS 5 Bunche mit $1,8 \cdot 10^{12} \text{ e}$ ($\hat{=} 300 \text{ mA}$)

Transfer DESY→DORIS: $3,25 \cdot 10^{10} \text{ e/s}$

Dauer: 55 s

Ergibt für den ständigen Einschub in PETRA:

$1,8 \cdot 10^{12} \text{ e}/55 \text{ s} = 3,2 \cdot 10^{10} \text{ e/s} \hat{=} \underline{37 \text{ W}}$ bei 7 GeV

Man könnte annehmen, daß es möglich wäre, die 10 mA aus dem Synchrotron direkt nach PETRA zu ejizieren, was bei 7 GeV einer Strahlleistung von 3500 W entspricht. Dies ist jedoch technisch nicht möglich, da die Ejektoren, die im Synchrotron zur Ejektion nach PETRA eingebaut werden, folgende Eigenschaften haben:

1. Die maximale Pulsfolge beträgt 10 Hz.
2. Sie werden betrieben mit schnellen Sinuspulsen der Basisbreite 1,5 μ s; die zur Ejektion richtige Pulshöhe wird nur während etwa 0,2 μ s erreicht, so daß höchstens 1/5 der Synchrotron-Füllung ejiziert werden kann.

Damit ist die Strahlleistung für den direkten Einschub vom Synchrotron nach PETRA ohne DORIS als Zwischenspeicher stark begrenzt. Bei einem angenommenen Wert von 10 mA im Synchrotron ergibt sich für die Ejektion der maximale Wert von

$$1,25 \cdot 10^{11} \text{ e/s} \hat{=} \underline{140 \text{ W}} \text{ bei } 7 \text{ GeV.}$$

Aus den aufgezählten Fällen ergibt sich, daß wir als maximalen Wert für die Strahlleistung beim Einschubfall mit 300 W ($\hat{=} 2,7 \cdot 10^{11} \text{ e/s}$ bei 7 GeV) rechnen müssen. Dieser Wert ist genau der gleiche, der auch unseren Abschirmberechnungen für den Speicherring DORIS (Lit. 2) zugrunde lag.

Für den in PETRA gespeicherten und nachbeschleunigten Strahl wollen wir 250 mA $\hat{=} 1,2 \cdot 10^{13}$ Elektronen und eine Endenergie von 15 GeV annehmen. Diese Stromstärke wird allerdings erst in einer späteren Ausbaustufe maximal möglich sein, wenn eine HF-Leistung von 8 MW zur Verfügung steht.

4. Die Strahlungskomponenten und ihre Abschirmung

Wie in den vorhergehenden Abschnitten dargelegt, sind als Strahlenschutzmaßnahmen für PETRA ein Abschirmwall aus Sand entlang des Ringes und eine Betonabschirmung in Verbindung mit abschaltenden Strahlungsmonitoren in den Hallen vorgesehen. Die Wirkung dieser Abschirmungen ist für die beiden diskutierten Betriebszustände zu berechnen.

Für Abschirmberechnungen haben wir schon in Lit. 2 ein besonders einfaches Verfahren gewählt, das sich von den an Protonenmaschinen üblichen Berechnungsverfahren grundlegend unterscheidet. Letztere kann man stichwortartig etwa folgendermaßen charakterisieren:

1. Eingangsdaten: Abschätzung des Strahlverlustes.
2. Quellterm: Winkel- und Energieverteilung aller sekundären Teilchen (Ranft-Trilling-Formel).

3. Transport durch die Abschirmung: Lösung der dreidimensionalen Transportgleichung (R.G. Alsmiller und Mitarbeiter, Oak Ridge) oder Monte-Carlo-Rechnung (J. Ranft, CERN).
4. Dosisberechnung: Konversion von Flußdichte in Dosisleistung.

Offensichtlich liegt die größte Unsicherheit in Punkt 1. Es ist schwer, auch nur die Größenordnung des Strahlverlustes entlang des Beschleunigers abzuschätzen, statt dessen ist man auf a posteriori gewonnene Erfahrungswerte angewiesen. Wir sehen eine gewisse Diskrepanz in der großen Unsicherheit bei Punkt 1 einerseits und dem großen mathematischen und rechnerischen Aufwand von Punkt 3 andererseits, zumal ohnehin alle Rechnungen später am laufenden Beschleuniger durch Messungen verifiziert werden müssen.

Unsere einfachen Abschirmrechnungen für Elektronenbeschleuniger stützen sich auf Experimente, die folgendermaßen zu charakterisieren sind:

1. Die Quellterme werden für verschiedene Targetgeometrien gemessen. An diese Targetanordnungen sind 2 Anforderungen zu stellen:
 - a) Sie müssen einfach sein, damit sich die Resultate auf andere Situationen übertragen lassen,
 - b) sie müssen typisch sein für die in der Praxis vorkommenden Fälle.
2. Die Abschirmwirkung von praktisch wichtigen Materialien wird gemessen durch Variation der Wandstärke. Es stellt sich heraus, daß sich die Abschwächung in sehr guter Näherung durch eine einfache Exponentialfunktion darstellen läßt, so daß die Abschirmwirkung im wesentlichen durch eine einzige Zahl, den Abschwächungskoeffizienten, bestimmt wird.
3. Zur Messung werden direkt die Dosis anzeigende Geräte verwendet.

Nach diesem Rezept wird für die wichtigste Komponente, die elektromagnetische Kaskade und die von ihr herrührende niederenergetische Streustrahlung unter großen Winkeln, z. Zt. bei DESY ein Abschirmexperiment durchgeführt (Lit. 3). Damit brauchen wir nicht wie in Lit. 2 auf die erstmals am SLAC gemessenen Quellterme zurückzugreifen. Das Experiment befindet sich noch in der Auswertung, doch können die für den vorliegenden Zweck wichtigen Daten bereits angegeben werden. Tab. 1 zeigt aus der großen Menge der gewonnenen Daten einige Quellterme für einige charakteristische Targetgeometrien, die das Auftreffen eines Strahls auf einen Magneten oder den streifenden Einfall auf das Vakuumrohr bei einer fehlerhaften Injektion in PETRA simulieren.

Ein Beispiel für die Bestimmung des Abschwächungskoeffizienten gibt die Fig. 1, die die Dosis pro $1 \cdot 10^{11}$ e in 2 m Abstand als Funktion der Dicke einer Normalbetonabschirmung angibt. Für alle 5 gemessenen Abschirmmaterialien sind die gefundenen Abschwächungskoeffizienten für einige Targetgeometrien in Tab. 2 zusammengefaßt und mit dem Minimum-Absorptionskoeffizienten und mit früheren Messungen verglichen. Die Werte werden in Lit. 3 noch genauer diskutiert werden; für die Rechnungen verwenden wir die in der letzten Spalte angegebenen Bestwerte.

Die gemessenen Abschwächungskurven legen es nahe, die Dosis hinter einer gegebenen Abschirmung der Dicke t durch den Ausdruck

$$D = S \cdot A \cdot e^{-\lambda t}$$

zu berechnen, wobei der Quellterm S und der Koeffizient λ bereits diskutiert wurden und der Faktor A die Absorption der beobachteten sehr niederenergetischen Komponente in den ersten Schichten des Materials berücksichtigt. Sie sind am kleinsten für sehr dünne Targets und nähern sich dem Wert 1 für dicke Targets, bei denen bereits ein Teil der sehr weichen Komponente im Target selbst absorbiert wird. Für einige Targetgeometrien wurden die zugehörigen Faktoren gemessen, für andere können sie abgeschätzt werden, siehe Tab. 3. Sie sind näherungsweise unabhängig vom Abschirmmaterial.

Bezüglich der beiden bereits in Abschnitt 1 genannten Neutronenkomponenten haben sich in der letzten Zeit keine neuen Informationen ergeben, so daß wir auf Lit. 2 verweisen, in der die angenommene Targetgeometrie, der Quellterm, die Abschwächungskoeffizienten und die Fluenz-Dosis-Faktoren angegeben sind.

Für die vierte betrachtete Komponente, die Myonen, brauchen keine Abschirmrechnungen angestellt zu werden, wie folgende Überlegungen zeigen. Myonen sind nur in Betracht zu ziehen, wenn sie in Strahlhöhe etwa tangential zum Ring produziert werden. Bei einer angenommenen Walldicke von allseitig 3 m (siehe Abschnitt 5) und einem Böschungswinkel von 40° beträgt die Walldicke in Strahlhöhe radial 6,2 m und die tangential durchschossene Walldicke 41 m (bei einem Abstand Vakuumrohr - Ringwand von 0,8 m). Dies entspricht der Reichweite von 13-GeV-Myonen (Dichte

des Sandes $\approx 1,6 \text{ g cm}^{-3}$). Damit würde auch für den Speicherfall allein der Sandwall vermutlich eine hinreichende Abschirmung darstellen. Hinzu kommt aber noch die Wirkung der Eisenjoche der bei PETRA besonders dicht aufgestellten Magnete. Eine weitere Absorptionsstrecke von 5 m Eisen entspräche insgesamt der Reichweite von 20-GeV-Myonen.

5. Ergebnisse

Die minimale Dicke der Sandabschirmung für den PETRA-Ring wurde in Analogie zu DORIS auf 3 m festgesetzt.

In den Experimentierhallen können wir für die aus beweglichen Steinen aufgebauten Mauern, die die Apparaturen an der Wechselwirkungszone von dem Rest der Halle trennen, eine Dicke von 80 cm Normalbeton vorsehen. Die Wechselwirkungszone werden nach oben offen bleiben; dies ist im Gegensatz zu DORIS problemlos, da die PETRA-Hallen keine oberen Stockwerke oder Galerien haben und auch der Kran nur von unten bedient wird.

Für diese beiden Abschirmungen sind die maximal zu erwartenden Dosisleistungen bzw. Dosen für die erwähnten Betriebszustände in Tab. 4 und 5 angegeben. Einige Sonderfälle wie ein Straßenübergang über den Ring oder die Schweißhalle, wo der Abstand für 3 m Sand zu gering ist und die Abschirmung dafür als Erz-Sand-Gemisch ausgeführt werden soll, werden hier nicht weiter diskutiert; die Rechnungen können in ähnlich einfacher Weise ausgeführt werden.

Betrachten wir zunächst die Werte an der Wall. Die höchsten Dosisleistungen ergeben sich bei einem lokal begrenzten streifenden Einfall auf ein relativ dickes, im Ring nicht weiter abgeschirmtes Target. Es ist fraglich, ob eine solche Situation im PETRA-Ring gegeben ist. Jedenfalls ist der größte Teil der Vakuumkammer von den dicht aneinander stehenden Magneten umgeben, die eine zusätzliche Schwächung etwa um den Faktor 5 bringen. Der Elektroneneinschuß ist normalerweise in weniger als 1 Minute beendet. Wir wollen vorsichtigerweise annehmen, daß im Jahresmittel während einer Stunde pro Woche ein eingeschossener Strahl mit der hohen Leistung von 300 W lokal an einer Stelle verloren geht. Zieht man die Werte aus Tab. 4 zu ca. 3 mrem/h zusammen, kommt man dann auf eine Dosis von 50 bis 150 mrem pro Jahr auf der Wallkrone. In Strahlhöhe beträgt wegen des

Böschungswinkels von etwa 40° die Sanddicke ca. 6 m, wodurch sich die Werte um mehr als einen Faktor 100 verringern. Damit ist hier die Strahlung zu vernachlässigen.

Beim Verlust des gespeicherten Strahls hatten wir einen umlaufenden Strom von 250 mA vorausgesetzt, der in der ersten Ausbaustufe noch nicht erreicht werden kann. Auf jeden Fall setzt er einen gut funktionierenden Speicherring voraus, was bedeutet, daß der Strahlverlust z.B. durch Streuung am Restgas etwa gleichmäßig um den ganzen Ring verteilt ist. Nehmen wir pro Jahr vorsichtigerweise 200 lokal begrenzte Strahlverluste von 250 mA an, so erhalten wir auf der Wallkrone 5 bis 15 mrem pro Jahr.

In den Experimentierhallen haben wir nur eine dünne Abschirmung in Verbindung mit Strahlungsmonitoren, die bei Überschreitung einer Dosisleistungsschwelle den Einschub unterbrechen. So wird bei 10 mrem/h der Einschubbeschleuniger innerhalb von 40 s, bei 100 mrem/h innerhalb von 4 s abgeschaltet, sofern die Schwelle kleiner als die genannten Dosisleistungswerte gewählt wird. Tatsächlich zeigen aber die nahe den Wechselwirkungszonen von DORIS aufgestellten Kammern für 1974 (Lit. 4), daß sowohl beim Einschub als auch für den gespeicherten Strahl ein Strahlverlust nahe dem Wechselwirkungspunkt außerordentlich unwahrscheinlich ist. Im Jahre 1974 haben die Monitore 18mal den Einschub unterbrochen. Offenbar handelte es sich hier um sehr kurzzeitige Exkursionen des Strahls, da die aufsummierte Dosis vom Untergrund kaum zu unterscheiden ist. (Wegen eines Kontrollpräparates beträgt der Untergrund an den Monitoren ca. 0,15 mrem/h.) Die von DORIS herrührende Dosis ist jedenfalls sowohl unten in der Experimentierhalle als auch oben auf den Galerien kleiner als 200 mrem pro Jahr. Dies Verhalten eines Speicherrings ist verständlich, da es gerade das Hauptanliegen bei der Dimensionierung der Strahloptik ist, die Strahltaile nahe dem Wechselwirkungspunkt möglichst klein zu halten. Bei einer Prüfung der DORIS-Abschirmung hatte sich herausgestellt, daß es den Operateuren tatsächlich erhebliche Mühe macht, einen merklichen Teil des Strahl an einer Wechselwirkungszone verloren gehen zu lassen. Daher können wir voraussehen, daß in den Experimentierhallen auch unmittelbar hinter der Abschirmmauer kein Kontrollbereich eingerichtet zu werden braucht, daß also dort die Jahresdosis erheblich kleiner als 1500 mrem sein wird.

Literatur

1. PETRA - Ein Vorschlag zur Erweiterung der Speicherringanlagen bei DESY zu hohen Energien (November 1974)
2. H. Dinter und K. Tesch, Berechnung der Abschirmung für den Speicherring DORIS.
Interner Bericht DESY D3/10 (1972)
3. H. Dinter, F. Peters, F. Schwickert und K. Tesch
Abschirmung der elektromagnetischen Streustrahlungskomponente an hochenergetischen Elektronenbeschleunigern (wird veröffentlicht)
4. Orts- und Personendosen 1974.
Interner Bericht DESY D3/20 (1975)

Tabelle 1

Dosis pro $1 \cdot 10^{11}$ Elektronen der Energie 7 GeV in 1 m Abstand von einem Eisentarget der Dicke d und der Länge 70 cm, das unter einem Winkel φ zum Strahl aufgestellt ist, beobachtet unter verschiedenen Winkeln θ .

d (cm)	φ (Grad)	Dosis (rad)		
		$\theta = 30^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 150^\circ$
0,2	1	20	2,2	0,28
	2	10	1,2	0,19
	5	1,1	0,14	0,023
	12	0,14	0,019	0,004
1	2	25	5,0	0,95
	5	12	2,1	0,36
10	12	0,45	0,4	0,23
	90	3,8	0,53	0,08

Tabelle 2

Absorptionskoeffizient λ gemessen bei verschiedenen Geometrien und verglichen mit dem Minimum - Absorptionskoeffizient und mit früheren Messungen. Die letzte Spalte gibt die Bestwerte an.

Abschirmmaterial	Dichte ρ g cm^{-3}	λ (cm^{-1})					Bestwert
		$d=0,2 \text{ cm}; \varphi=2^\circ$ $\theta = 90^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$d=10 \text{ cm}; \varphi=90^\circ$ $\theta = 90^\circ$	Minim.- abskoeff.	andere Messung	
Blei	11,3	0,47	0,46		0,47		0,47
Eisen	7,8	0,23	0,23		0,23		0,23
Schwer- beton	3,7	0,086	0,085	0,089	0,093	0,065.. ..0,075 (DESY 64)	0,08
Normal- beton	2,4	0,056	0,061		0,048	0,050 (Kirn, Kennedy)	0,055
Sand	1,6	0,031			0,032		0,031

Bedeutung von d , φ und θ wie Tab. 1

Tabelle 3

Abschirmfaktoren A für verschiedene Targetgeometrien.

d (cm)	φ (Grad)	A		
		$\theta = 30^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 150^\circ$
0,2	1 ... 12	0,03	0,005	0,005
1	2 ... 5	0,1	0,02	0,02
10	12	1	0,2	0,2
	90	0,3	0,05	0,05

Bedeutung von d, φ und θ wie Tab. 1

Tabelle 4

Dosisleistungen (mrem/h) bei Einschub von $2,7 \cdot 10^{11}$ Elektronen/s bei 7 GeV (\cong 300 W) auf verschiedene Targets. Streuwinkel $\sim 90^\circ$.

Komponente und Target Abstand und Abschirmung	e - γ - Komponente								Riesen- Resonanz- Neutronen	Hoch- energetische Neutronen
	d = 0,2 cm				d = 1 cm		d = 10 cm		Dickes Target	Dickes Target
	$\varphi = 1^\circ$	$\varphi = 2^\circ$	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 12^\circ$	$\varphi = 2^\circ$	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 12^\circ$	$\varphi = 90^\circ$		
3 m Sand und 25 cm Normalbeton Abstand 5 m	0,10	0,054	0,007	0,0008	0,89	0,38	0,71	0,23	0,001	2,3
80 cm Normalbeton Abstand 4 m	83	45	6	0,7	740	310	590	190	290	140

Bedeutung von d, φ und θ wie Tab. 1

Tabelle 5

Dosis (mrem) bei Verlust von $1,2 \cdot 10^{13}$ Elektronen ($\hat{=} 250 \text{ mA}$) bei 15 GeV an verschiedenen Targets.
 Streuwinkel $\sim 90^\circ$.

Komponente und Target Abstand und Abschirmung	e - γ - Komponente								Riesen- Resonanz Neutronen	Hoch- energetische Neutronen
	d = 0,2 cm			d = 1 cm			d = 10 cm		Dickes Target	Dickes Target
	$\varphi = 1^\circ$	$\varphi = 2^\circ$	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 12^\circ$	$\varphi = 2^\circ$	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 12^\circ$	$\varphi = 90^\circ$		
3 m Sand und 25 cm Normalbeton Abstand 5 m	0,003	0,001	0,001	0,001	0,023	0,010	0,018	0,006	0,001	0,061
30 cm Normalbeton Abstand 4 m	2,2	1,2	0,16	0,02	20	8,2	16	5,0	7,6	3,6

Bedeutung von d, φ und θ wie Tab. 1

Dosis in 2m Abstand vom Target →

$10^1 \text{ rad}/10^{11} \text{ e}$

Normalbeton, $\rho = 2,4 \text{ g cm}^3$

Target: $d = 0,2 \text{ cm}$

$\varphi = 2^\circ$

$\theta = 30^\circ$

$\theta = 90^\circ$

10^{-5}

10^{-4}

10^{-3}

10^{-2}

10^{-1}

10^0

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Absorberdicke →



cm

