

Interner Bericht  
DESY D3-47  
September 1983

|                             |                |                       |
|-----------------------------|----------------|-----------------------|
| Eigentum der<br>Property of | <b>DESY</b>    | Bibliothek<br>library |
| Zugang:<br>Accessions:      | 0 1. NOV. 1983 |                       |
| Leihfrist:<br>Loan period:  | 7              | Tage<br>days          |

STRAHLUNGSDOSEN IM HERA-TUNNEL DURCH SYNCHROTRONSTRAHLUNG

von

H. Dinter

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“

STRAHLUNGSDOSEN IM HERA - TUNNEL  
DURCH SYNCHROTRONSTRAHLUNG

Interner Bericht DESY D3 - 47

September 1983

H. Dinter

## ABSTRACT

Absorbed doses due to synchrotron radiation were calculated for a series of interesting positions in the HERA tunnel for a beam energy of 30 GeV.

## 1.0 EINLEITUNG

Beim Betrieb von HERA werden im Tunnel Strahlungsdosen auftreten, die die Lebensdauer von Materialien (z.B. Kunststoffe) und Geräten (z.B. Elektronik) infolge Strahlenschäden ernsthaft beeinflussen können. Dabei müssen 2 Strahlungskomponenten unterschieden werden:

- einmal hochenergetische Strahlung (Teilchen oder Photonen mit Energien über einigen MeV), wie sie typischerweise beim Verlust eines hochenergetischen Elektronen- oder Protonenstrahl auftritt, und
- zum anderen Synchrotronstrahlung (Photonen mit Energien unter einigen MeV), die als ständige Begleiterin hochenergetischer, zirkulierender Elektronen wohlbekannt ist.

Die hochenergetische Komponente wird bei Speicherringen nur an bestimmten Stellen mit häufiger Strahlberührung (Injektoren, Strahldump) eine Rolle spielen. Außerhalb dieser Stellen sollte der Strahlverlust gering sein, von gelegentlichen, ungewollten Wechselwirkungen abgesehen. Strahlenschäden sind hier kaum zu erwarten.

Anders ist das bei der Synchrotronstrahlung, die auch ohne Strahlverlust völlig gleichmäßig über den Beschleunigerumfang abgestrahlt wird. Im Gegensatz zur hochenergetischen Strahlung kann sie zwar mit relativ geringen Bleidicken wirksam abgeschirmt werden, aber infolge der überaus hohen Intensität der Synchrotronstrahlung (und weil man eine möglichst geringe, globale Bleiabschirmung des Beschleunigers anstrebt), ist im allgemeinen der Strahlungspegel im Tunnel immer noch hoch genug, im Laufe der Zeit Strahlungschäden hervorrufen zu können.

Für die effektive Installation von Geräten und Beschleunigerkomponenten ist es deshalb wichtig zu wissen, wie sich der nichtabsorbierte Teil der Synchrotronstrahlung nach einer oder mehreren Streuungen im Tunnel verteilt. Ferner ist zu untersuchen, wie sich die Strahlungsdosen durch Variation der Abschirmung beeinflussen lassen, und was eine zusätzliche, lokale Abschirmung bestimmter Stellen im Tunnel bewirkt.

## 2.0 RECHNUNGEN

Alle im folgenden aufgeführten Dosiswerte wurden mit Hilfe des Monte Carlo Programms EGS (Version 3) gewonnen (Lit.1).

Analoge Rechnungen wurden bereits für PETRA durchgeführt (Lit.2, 3). Ein Vergleich der Rechenergebnisse mit Messungen in dem Energiebereich, der bei PETRA zu Verfügung steht, zeigt eine Übereinstimmung innerhalb eines Faktors 2 bis 3. Diese Unsicherheit umfaßt die statistische Unsicherheit der Rechnungen (wie sie für HERA weiter unten diskutiert werden) und systematische Fehler durch ungenaue Wiedergabe der Realität durch die Rechnung.

Die berechneten Dosiswerte sind Dosen wie sie in RPL-Gläsern absorbiert werden. Diese Gläser werden im allgemeinen für Messungen an Beschleunigerstrukturen verwendet, da sie ein ähnliches Absorptionsverhalten haben wie typische Materialien (z.B. Aluminium) im Beschleunigerbereich ( $A=19 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $Z=10$ ;  $\rho=2.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Da diese Dosimeter sehr klein sind, kann mit einer Monte Carlo Methode nicht direkt die darin absorbierte Energie berechnet werden. Man berechnet deshalb die Kerma in einem Volumen, in dem die Dosis gemessen wird. Wenn Sekundärelektronengleichgewicht vorhanden ist (was näherungsweise der Fall ist), sind Kerma und absorbierte Dosis identisch. (Nähere Einzelheiten siehe Lit.2 und 4).

Zur Rechnung wurde die Geometrie des Tunnelquerschnitts einem 2-dimensionalen, rechtwinkligen Muster angepaßt, in dem (analog Lit.3) die Teilchen verfolgt werden (Abbildung 1 auf Seite 3).

Alle relevanten Daten wurden von Lit.5 entnommen. Als Standard-Geometrie wird deshalb im folgenden bezeichnet:

Vakuumkammer: Material: Kupfer; seitliche Wandstärke 5 mm.  
Abschirmung der Vakuumkammer: Blei an den Seitenflächen; Dicke 5 mm.

Alle Rechnungen wurden für eine Energie des Elektronenstrahls von 30 GeV durchgeführt.

Die Dosen wurden für 13 interessierende Stellen im Tunnelquerschnitt berechnet (Abbildung 2 auf Seite 4). Wenn die Dosen "klein" sind, d.h. wenn nur wenige Teilchen im Laufe eines Rechen-Runs in das interessierende Stelle umgebende Volumen gelangen, ist das Ergebnis mit einem großen Unsicherheitsfaktor behaftet. Das gilt für Stellen, die durch größere Absorberdicken von der Strahlungsquelle getrennt sind, oder/und

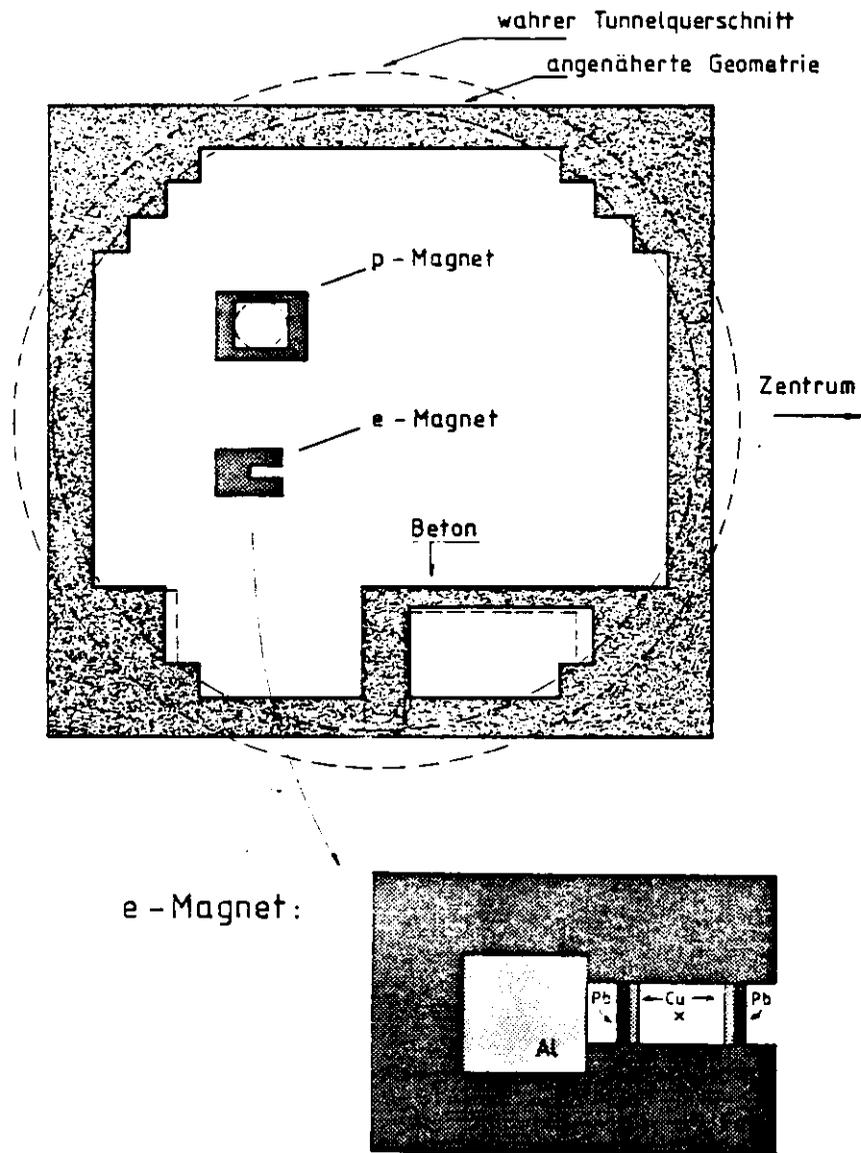


Abbildung 1. EGS-Geometrie: Rechtwinklige Näherung des HERA Tunnelquerschnitts.

die nur durch mehrere Streuvorgänge zu erreichen sind. Durch mehrfache Wiederholung des Rechengvorgangs lassen sich eine mittlere Dosis und ein Unsicherheitsintervall angeben. Letzteres kann jedoch wegen der zu Verfügung stehenden, endlichen Rechenzeit nicht immer klein genug gemacht werden.

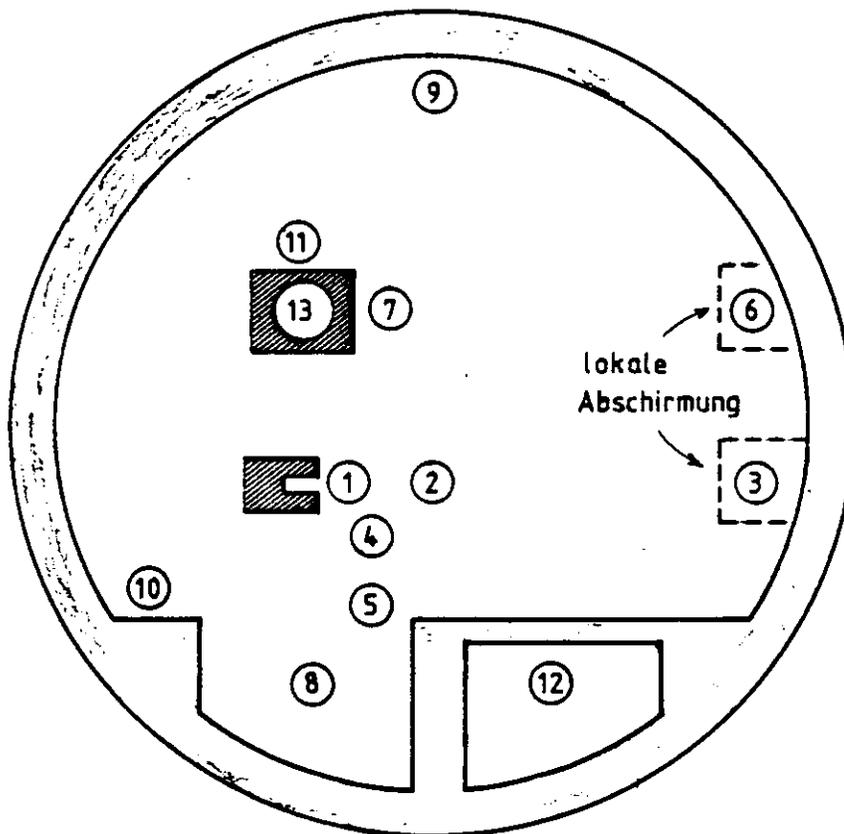


Abbildung 2. Orte der Dosisberechnung im HERA-Tunnel.

Es wurden folgende Rechnungen durchgeführt:

1. Standard-Anordnung, d.h. 5 mm Blei an beiden Seitenflächen der Vakuumkammer.
2. Keine Bleiabschirmung an der zum Ringzentrum liegenden Seite der Vakuumkammer (= "Innenseite"). Damit kann die Wirksamkeit von 5 mm Blei studiert werden.
3. Verstärkung der Bleiabschirmung an der Innenseite der Vakuumkammer auf 10 mm. (Für einige Stellen kann die Dosis dann nur noch abgeschätzt werden).
4. Standard-Anordnung mit lokaler Abschirmung von 2 Stellen an der Tunnelinnenwand, jeweils in der Höhe des Elektronen- und des Protonenstrahls, durch 5 und 10 mm Blei.

Der Aufwand an Rechenzeit (89 Langläufer mit CLASS=L) war ca. 20 Stunden CPU-Zeit (berechnet nach IBM/168).

### 3.0 ERGEBNISSE

Alle berechneten Dosen sind auf eine zirkulierende Ladung von 0,1 Ah normiert.

Die Ergebnisse für die Standard-Anordnung sind in Abbildung 3 auf Seite 7, Spalte 3, aufgelistet und in Abbildung 4 auf Seite 8 dargestellt. Die größten Werte sind erwartungsgemäß in der Höhe des Elektronenstrahls; sie nehmen in radialer Richtung etwa wie  $1/r$  ab. Die Standardabweichung dieser Dosen der einzelnen Runs liegt unter 50 %. Für Stellen, die nur durch Mehrfachstreuung zu erreichen sind, ist nur eine Genauigkeit innerhalb eines Faktors 2 bis 3 erreichbar (siehe Abbildung 3 auf Seite 7, Spalte 5); diese Dosiswerte sind auf halbe Zehnerpotenzen gerundet. Dosen an Stellen hinter weiterer Abschirmung haben eine Unsicherheit innerhalb eines Faktors 4; diese Werte sind auf ganze Zehnerpotenzen gerundet. Das bedeutet demnach, daß die Dosis im Kabelkanal unterhalb des Gehweges zwischen 0,5 und 8 rad/0,1 Ah liegen kann.

Die Berechnung der Dosen ohne Bleiabschirmung an der Innenseite der Vakuumkammer ergibt Werte, die um einen Faktor 10 bis 50 höher liegen als bei der Standard-Anordnung (siehe Abbildung 5 auf Seite 9, Spalte 3).

Wenn die Abschirmung gegenüber der Standard-Anordnung um 5 mm verstärkt wird, also 10 mm an der Innenseite der Vakuumkammer angebracht werden, werden die Dosen kleiner und damit die Ungenauigkeit der Angaben noch größer. In der Abbildung 5 auf Seite 9, Spalte 5, wurden für die Stellen, für die es gerade noch sinnvoll erscheint, Werte angegeben, deren Genauigkeit nicht größer als ein Faktor 3 sein dürfte. Auch mit diesem Vorbehalt kann man sehen, daß die Abnahme der Dosen durch diese weiteren 5 mm Blei nur noch etwa einen Faktor 2 beträgt.

Für die beiden Positionen an der Tunnelinnenseite und in der Höhe der beiden umlaufenden Strahlen wurde die Wirkung lokaler Abschirmung untersucht, in Verbindung mit der Standard-Anordnung. In beiden Fällen werden die Dosen durch 5 mm Blei um etwa 90 % reduziert. Das heißt, daß es an der Tunnelinnenseite wesentlich wirksamer ist, lokale Abschirmungen anzubringen, anstatt den gesamten Beschleunigerring stärker abzuschirmen. Der Grund dafür ist, daß die Strahlung nach einigen Steuvorgängen niederenergetischer wird, und dann wirksamer abgeschirmt werden kann.

Durch weitere 5 mm Blei lokaler Abschirmung kann die Dosis an diesen Stellen nochmals um etwa 50 % verringert werden.

| Nr. | Position                       | Dosis<br>pro<br>0,1Ah | Dosis<br>pro<br>Jahr | Genau-<br>igkeit |
|-----|--------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
| 1   | Austritt Magnetgap             | 5.7 E4                | 7.4 E7               | 50 %             |
| 2   | e-Strahlhöhe, Tunnelmitte      | 1.3 E4                | 1.7 E7               | 50 %             |
| 3   | e-Strahlhöhe, Tunnelwand       | 3.9 E3                | 5.1 E6               | 50 %             |
| 4   | Vor e-Magnet, unter Strahl     | 1.5 E3                | 2.0 E6               | * 3              |
| 5   | Vor e-Magnet, Fußboden         | 1.0 E3                | 1.5 E6               | * 3              |
| 6   | p-Strahlhöhe, Tunnelwand       | 9.0 E2                | 1.0 E6               | * 2              |
| 7   | Vor p-Magnet, Tunnelmitte      | 3.5 E2                | 4.5 E5               | * 2              |
| 8   | Unter e-Magnet, unter Fußboden | 4 E2                  | 5 E5                 | * 4              |
| 9   | Tunneldecke in Tunnelmitte     | 1.5 E2                | 2.0 E5               | * 3              |
| 10  | Hinter e-Magnet, Fußboden      | 1.5 E2                | 2.0 E5               | * 3              |
| 11  | Auf dem p-Magnet               | 4.0 E1                | 5.0 E5               | * 3              |
| 12  | Kabelkanal, unter Fußboden     | 2 E0                  | 3 E3                 | * 4              |
| 13  | Im p-Magnet                    | 3 E-1                 | 4 E2                 | * 4              |

Abbildung 3. Tabelle 1: Berechnete Dosen für die Standard-Geometrie

Will man aus den Werten der Abbildung 3 auf Seite 7, Spalte 3, Jahresdosen gewinnen, so kommt zu allen genannten Unsicherheiten noch die Unkenntnis über den kommenden Beschleunigerbetrieb hinzu. Man muß über 2 Größen Annahmen machen, deren Zutreffen sich erst in späteren Jahren herausstellt:

- eine Annahme über die Zeit, die zum Umlauf einer bestimmten Ladung (z.B. 0,1 Ah) notwendig ist und
- eine Annahme über die Anzahl der jährlichen Betriebsstunden.

Als Design-Wert für den Elektronenstrahl sind in Lit.5 maximal  $7,6 \cdot 10^{12}$  Elektronen oder 58 mA Strahlstrom bei 30 GeV angegeben. Nimmt man an, daß der mittlere Strom einer Füllung bei 40 mA liegt, und nimmt man einen über einen Tag gemittelten Strom von 35 mA (6 Füllvorgänge von je 30 min) an, so benötigt man im Mittel etwa 3 Stunden, um eine Ladung von 0,1 Ah zu beschleunigen.

Als jährliche Anzahl von Betriebsstunden wird 4000 angenommen (=170 Tage/Jahr). Damit kommt man auf eine beschleunigte Ladung von 130 Ah pro Jahr. Mit den auf 0,1 Ah normierten Dosen erhält man so die Jahresdosen, wie sie in Abbildung 3, Spalte 4, und in Abbildung 6 auf Seite 10 dargestellt sind.

Man sieht, daß an Stellen, die nicht in Elektronenstrahl-Ebene liegen und die nicht weiter abgeschirmt sind, mit Dosen zwischen  $10^6$  und  $10^8$  rad/Jahr zu rechnen ist.

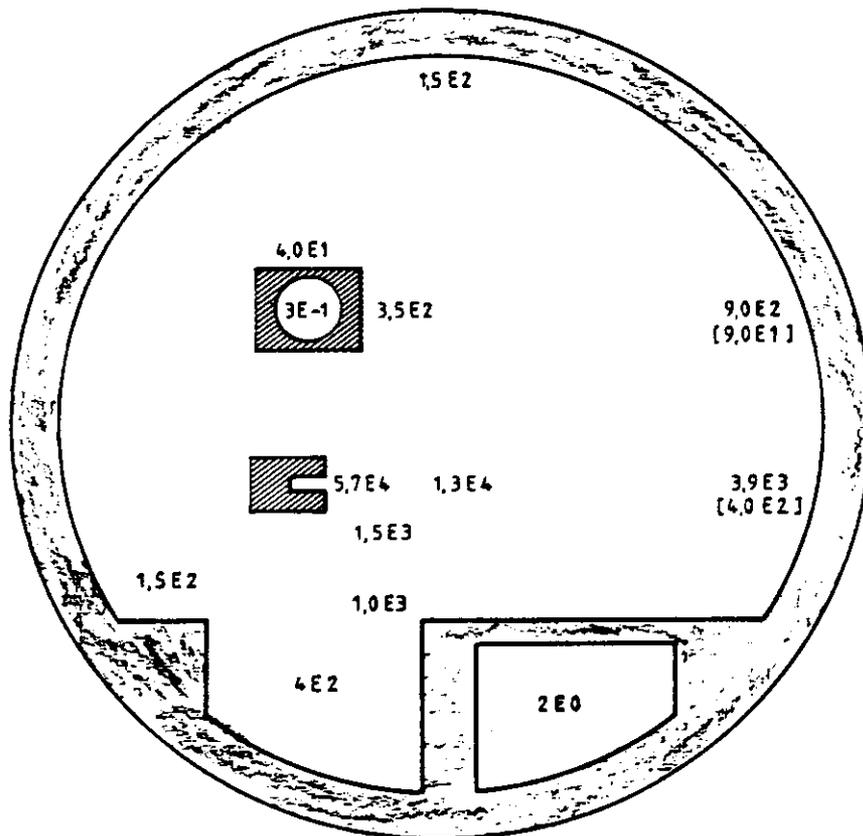


Abbildung 4. Berechnete Dosen im HERA Tunnel: Normierung: 0,1 Ah umlaufende Ladung. Standard-Geometrie. Die Werte im Klammern sind hinter 5 mm Blei lokaler Abschirmung berechnet.

| Nr. | Position                       | Dosis in rad/ 0,1 Ah |             |              |
|-----|--------------------------------|----------------------|-------------|--------------|
|     |                                | d =<br>0 mm          | d =<br>5 mm | d =<br>10 mm |
| 1   | Austritt Magnetgap             | 2.6 E6               | 5.7 E4      | 2.3 E4       |
| 2   | e-Strahlhöhe, Tunnelmitte      | 5.9 E5               | 1.3 E4      | 5.0 E3       |
| 3   | e-Strahlhöhe, Tunnelwand       | 1.7 E5               | 3.9 E3      | 2.0 E3       |
| 4   | Vor e-Magnet, unter Strahl     | 1.2 E4               | 1.5 E3      | 8.0 E2       |
| 5   | Vor e-Magnet, Fußboden         | 7.5 E3               | 1.0 E3      | 5 E2         |
| 6   | p-Strahlhöhe, Tunnelwand       | 1.3 E4               | 9.0 E2      | 9 E2         |
| 7   | Vor p-Magnet, Tunnelmitte      | 6.0 E3               | 3.5 E2      |              |
| 8   | Unter e-Magnet, unter Fußboden | 2.0 E3               | 4 E2        |              |
| 9   | Tunneldecke, Tunnelmitte       | 3.5 E3               | 1.5 E2      |              |
| 10  | Hinter e-Magnet, Fußboden      | 2.0 E3               | 1.5 E2      |              |
| 11  | Auf dem p-Magnet               | 8.5 E2               | 4.0 E1      |              |
| 12  | Kabelkanal, unter Fußboden     | 1 E1                 | 2 E0        |              |
| 13  | Im p-Magnet                    | 5 E-1                | 3 E-1       |              |

Abbildung 5. Tabelle 2: Berechnete Dosen für verschiedene Bleidicken an der Innenseite der Vakuumkammer.

ANMERKUNG: Die Praxis bei PETRA zeigt, daß die gemessenen Dosen an manchen Stellen weit über den berechneten liegen. Einer der Hauptgründe für diese Diskrepanzen ist im allgemeinen die ungenügende oder unvollständige Abschirmung des Strahlrohrs (z.B. Flansche der Faltenbälge und Löcher in der Abschirmung für Lecksuchgeräte). Für alle berechneten Dosen wird dagegen eine perfekte Abschirmung angenommen.

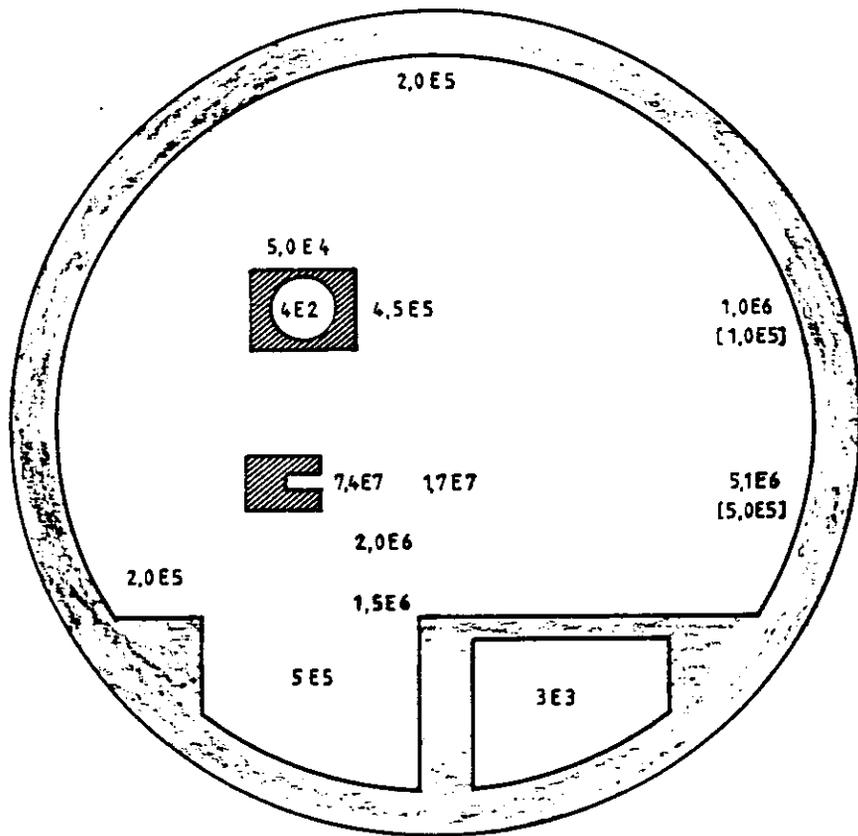


Abbildung 6. Jahresdosen im HERA-Tunnel: Berechnet mit den Annahmen von 0,1 Ah pro 3 Stunden und 4000 Betriebsstunden pro Jahr für die Standard-Anordnung. Die Werte im Klammern sind wie in Abbildung 4 auf Seite 8 hinter 5 mm Blei berechnet.

## 4.0 LITERATUR

1. R.L.Ford, W.R.Nelson:

"The EGS Code System: Computer Programs for the Monte Carlo Simulation of Electromagnetic Cascade Showers (Version 3)"

Stanford Linear Accelerator Report No. SLAC-210 (1978)

2. H.Dinter, K.Tesch, C.Yamaguchi:

"Absorbed Radiation Dose due to Synchrotron Radiation in the Storage Ring PETRA"

Nucl.Instr.and Methods 200 (1982) 437

3. H.Dinter:

"Synchrotron Radiation in the PETRA Tunnel for Beam Energies up to 30 GeV"

Internal Report DESY D3-42 (1982)

4. C.Yamaguchi:

"Comparison of Absorbed Dose to RPL Glas Dosimeter Calculated by EGS Code, and Kerma"

Nucl. Instr. and Methods 175 (1980) 40

5. HERA - A Proposal for a Large Electron-Proton Colliding Beam Facility at DESY

DESY HERA 81/10 (1981)

