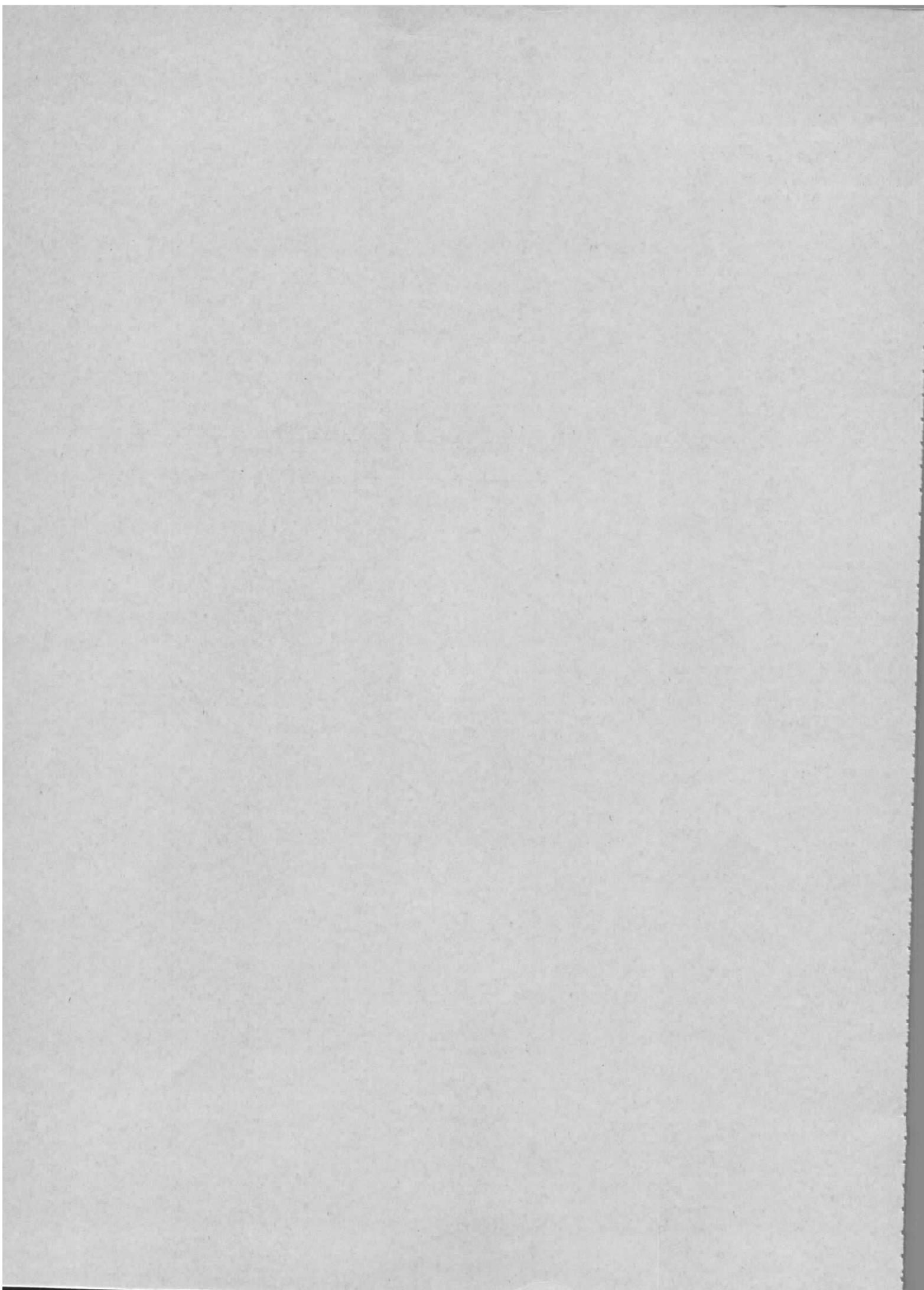


Interner Bericht  
DESY H3-77/02  
April 1977

**DESY-Bibliothek**  
10. AUG. 1977

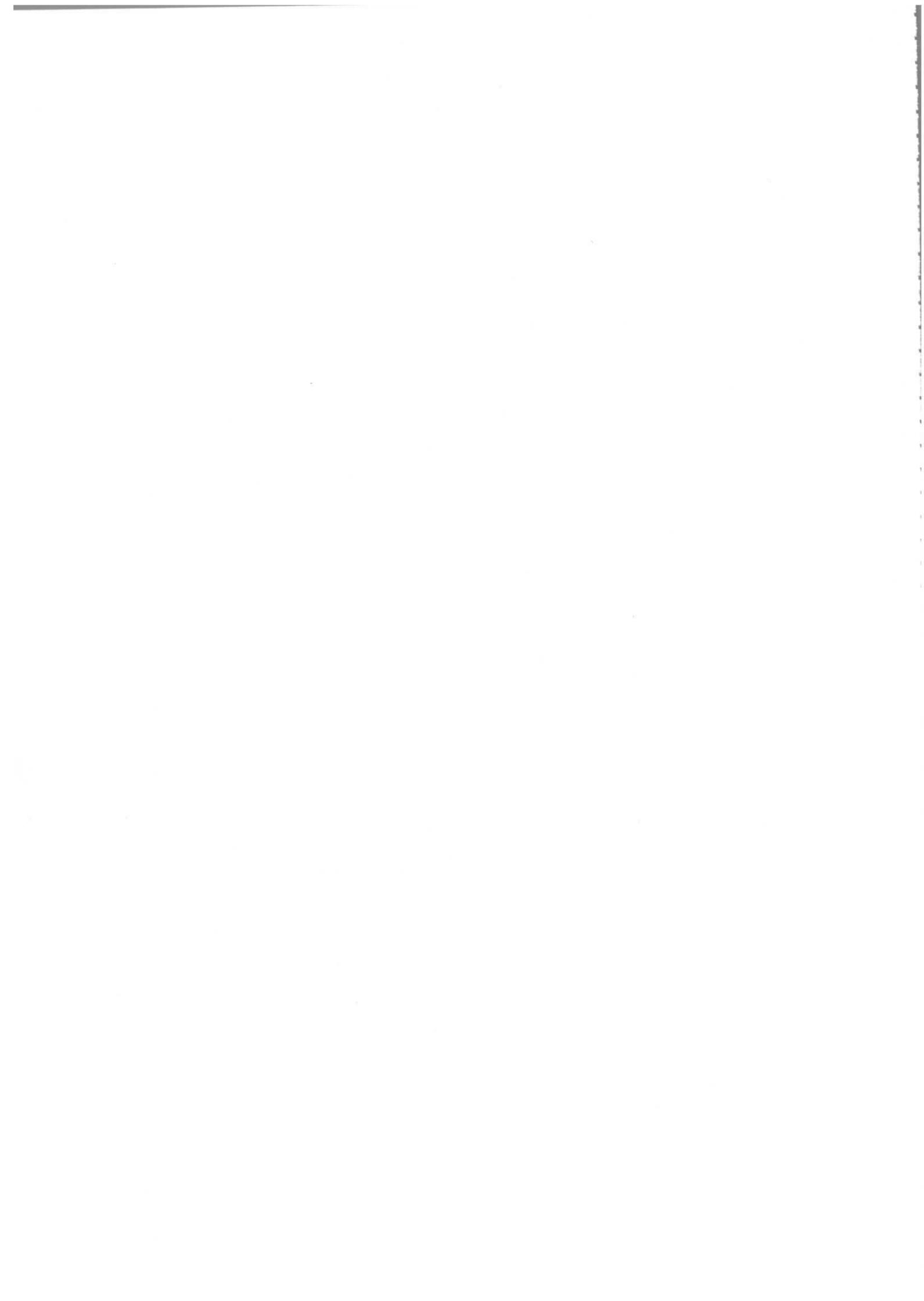
Argon-Glimmentladungen zur Oberflächenreinigung des Vakuumsystems  
von Elektronenspeicherringen

L. Hipp



## Übersicht

	Seite
1. Einleitung	1
2. Synchrotronstrahlung	3
3. Desorptionsmechanismus	4
4. Belastung des Vakuumsystems durch Synchrotronstrahlung	6
5. Experimentelle Bestimmung der Elektronenstoßdesorption	8
6. Technische Experimente	16
7. Zusammenfassung	19
Literatur	21
Anhang	22



## 1. Einleitung

Bei dem im Bau befindlichen Beschleuniger PETRA (Positron-Elektron-Tandem-Ringbeschleuniger-Anlage)<sup>1,2)</sup> sollen Elektronen und Positronen bis zu je 80 mA im Energiebereich zwischen 5 GeV und 19 GeV für Perioden von einigen Stunden gespeichert werden. Dabei entsteht in den Bögen des Ringes bis zu 4 MW Synchrotronstrahlung, die sich auf ca. 2000 m Länge der Vakuumstruktur verteilt. Diese Strahlung hat ein kontinuierliches Spektrum bis hin in den Bereich der harten Röntgenstrahlung.

Druckbestimmend in einem Elektronenspeicherring ist neben der thermischen Gasdesorption hauptsächlich die durch die Synchrotronstrahlung induzierte Gasdesorption.<sup>3)</sup> Die Photonen des Synchrotronlichtes erzeugen auf den Kammerwänden des Vakuumsystems Photoelektronen, die dann auf der Oberfläche adsorbierte Moleküle freisetzen. Der große Krümmungsradius der Maschine (192.05 m) bewirkt, daß die Synchrotronstrahlung die Kammerwände unter einem sehr kleinen Glanzwinkel trifft ( $\sim 20$  mrad). Dieser streifende Einfall verursacht eine hohe Photoelektronenproduktion und damit eine starke Gasdesorption.

Um Strahllebensdauern von einigen Stunden zu gewährleisten, muß der Betriebsdruck im PETRA-Vakuumsystem unterhalb  $10^{-8}$  mbar liegen.<sup>1,2)</sup> Zum Erreichen dieses Druckbereiches müssen die Innenoberflächen des PETRA-Vakuumsystems besonders gereinigt werden. Die PETRA-Vakuumkammern sind hauptsächlich aus stranggepressten Aluminiumprofilen gefertigt und können bis max. 150°C ausgeheizt werden. Bei dieser Ausheiztemperatur können nur locker an der Innenoberfläche gebundene Moleküle desorbiert werden, dagegen bleiben die mit hoher Bindungsenergie chemisorbierten Moleküle auch nach dem Ausheizen an der Oberfläche, da die thermische Energie nicht zum Bruch der Bindung ausreicht.<sup>4)</sup> Gerade diese Moleküle werden durch die Synchrotronstrahlung desorbiert. Diese Desorption ist bei der Inbetriebnahme des Speicherringes nach jeder Belüftung des Vakuumsystems so hoch, daß nur ein geringer Strom in der Maschine gespeichert werden kann. Durch den kontinuierlichen Betrieb reinigt sich die Innenoberfläche der Vakuumkammern, so daß nach einer gewissen Zeit die erforderliche Oberflächenreinheit

erreicht wird. Diese Reinigungsprozedur dauert bei existierenden Speicherringen (z.B. DORIS) erfahrungsgemäß einige Wochen nach jeder Belüftung der Maschine. Da die Oberfläche des PETRA-Vakuumsystems um etwa einen Faktor 5 größer ist als die des DORIS-Vakuumsystems, wird bei PETRA die Oberflächenreinigung mit Synchrotronstrahlung entsprechend länger dauern. Dadurch würden erhebliche Betriebskosten und Zeitverlust beim Betrieb der Maschine entstehen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, andere Reinigungsverfahren zu erproben, die die Startbetriebskosten und die erforderlichen Reinigungszeiten für das Vakuumsystem wesentlich herabsetzen. Bernadini und Malter<sup>5)</sup> haben zu diesem Zweck eine Argonglimmentladung vorgeschlagen. Laborversuche bei CERN<sup>6)</sup> zeigten, daß Argonglimmentladungen erfolgreich zur Reinigung eines Vakuumsystems eingesetzt werden können. Dort wurde die Glimmentladung mittels einer in der Kammermitte gespannten Elektrode durchgeführt. Um die Elektrode zu entfernen und die Kammern in den Speicherring einzubauen, mußten die so gereinigten Kammern belüftet werden, was die Reinigung weitgehend rückgängig gemacht hat. Bei Probeversuchen in DORIS<sup>7)</sup> wurden die vorhandenen Ionenabsaugelektroden erfolgreich als Glimmentladungselektroden eingesetzt. In beiden Fällen wurde die Glimmentladung nur bei Vakuumkammern aus Edelstahl angewandt.

Für diese Arbeit wurde zuerst die erforderliche Oberflächenreinheit der Aluminiumkammern für den PETRA-Betrieb errechnet und die dazu notwendige Glimmentladungsdosis mit Hilfe von Elektronenstoßdesorptionsexperimenten bestimmt. Diese Messungen wurden außer für Aluminium auch für Edelstahloberflächen durchgeführt, da ein großer Teil der Vakuumkammern in den Wechselwirkungszonen von PETRA aus Edelstahl gefertigt wird. Ferner wurde die Realisierung der Glimmentladung in den PETRA-Vakuumkammern mit Hilfe der Anoden der integrierten Ionenzerstäuberpumpen erprobt, sowie der Einfluß der Glimmentladung auf die Pumpen und deren Keramikisolatoren getestet. Zum Schluß wurden die erforderlichen Daten eines Netzgerätes für die Glimmentladung ermittelt, und direkt an einer PETRA-Prototypkammer der Reinigungseffekt der Glimmentladung gemessen.

## 2. Synchrotronstrahlung

Nach den Gesetzen der klassischen Elektrodynamik emittiert jede elektrische Ladung elektromagnetische Strahlung, wenn sie eine Beschleunigung erfährt. Dies tritt bei Elektronenspeicherringen in den Ablenkmagneten auf, wo der Teilchenstrahl senkrecht zur Flugrichtung abgelenkt wird. Die Synchrotronstrahlung wird tangential zur Elektronenbahn in einen sehr kleinen Raumwinkel um die Bahnebene ausgestrahlt. Dadurch wird die Kammerwand auf einem sehr schmalen Bereich belastet (kleiner als 1 mm) und muß dort wassergekühlt werden.

Das Synchrotronlicht umfaßt ein kontinuierliches Spektrum, welches bei der Umlauffrequenz der Teilchen beginnt und bis zur harten Röntgenstrahlung reichen kann. Abb. 1 zeigt die spektrale Verteilung des Synchrotronlichtes für verschiedene Strahlenergien in PETRA. Das Leistungsspektrum  $\frac{dw}{dy}$  der Synchrotronstrahlung in Watt pro gespeichertem Strahlstrom in mA ist durch folgende Gleichung gegeben<sup>8)</sup>:

$$\frac{dw}{dy} = 54,86 \frac{E^4}{R} y \int_y^\infty K_{5/3}(x) dx$$

E : Strahlenergie in GeV,

R : Krümmungsradius in den Ablenkmagneten in m,

$y = \frac{E}{\epsilon_c}$ ,  $\epsilon_c$  : Photonenenergie in eV,  $\epsilon_c$  : kritische Energie in eV,

$K_{5/3}$  : modifizierte Besselfunktion 2. Art von der Ordnung 5/3.

Die kritische Energie  $\epsilon_c$  ist eine Normierungsenergie der Spektralverteilung der Synchrotronstrahlung und sie ist gegeben durch<sup>8)</sup>:

$$\epsilon_c = \frac{2,218 \cdot 10^3 \cdot E^3}{R}$$

Das Maximum in dem Leistungsspektrum der Synchrotronstrahlung liegt bei Photonenenergien in der Nähe von  $\epsilon_c$ . Für kleinere Photonenenergien

gilt für die abgestrahlte Leistung der Synchrotronstrahlung folgende Näherungsformel<sup>8)</sup>:

$$\frac{dw}{dy} = 1,179 \cdot 10^2 \frac{E^4}{R} y^{1/3}$$

Für größere Photonenenergien als  $\epsilon_c$  fällt die Leistung der Synchrotronstrahlung exponentiell ab. Für diesen Fall kann das Verhalten näherungsweise durch die folgende Gleichung beschrieben werden<sup>8)</sup>:

$$\frac{dw}{dy} = 68,756 \frac{E^4}{R} y^{1/2} e^{-y}$$

Abb. 2 zeigt  $\frac{dw}{dy}$  als Funktion von y.

Die Anzahl der Photonen der Synchrotronstrahlung pro eV, sec und mA-Strahl ist gegeben durch<sup>9)</sup>:

$$\frac{d^2N}{d\epsilon dt} = \frac{6,95 \cdot 10^{13} \cdot R}{E^2} \int_y^\infty K_{5/3}(x) dx \quad (1)$$

Durch numerische Integration von Gl. (1) wurde für PETRA die Anzahl der Photonen berechnet und in Abb. 1 dargestellt.

## 3. Desorptionsmechanismus

Beim Betrieb eines Elektronenbeschleunigers und insbesondere eines Elektronenspeicherringes wird bei jeder ersten Elektronenspeicherung nach Belüftung des Vakuumsystems ein erheblicher Druckanstieg im Vakuumsystem beobachtet. Dieser Druckanstieg ist proportional zu dem Strom des gespeicherten Strahls und nimmt bei längerem Betrieb der Maschine ab<sup>10)</sup>.

Es wurde beobachtet, daß durch die Synchrotronstrahlung hauptsächlich  $H_2$ , CO und  $CO_2$ , jedoch kein  $H_2O$  desorbiert wird. Nach intensivem Ausheizen bis auf Temperaturen von  $250\text{ }^\circ\text{C}$  wurde keine wesentliche Verminderung der Desorptionsraten beobachtet.<sup>10)</sup>

Die auf die Kammerwände bzw. Absorberoberflächen auftreffenden Photonen des Synchrotronlichtes, können prinzipiell Gasmoleküle direkt durch Photodesorption desorbieren. Zusätzlich erzeugen sie aber Photoelektronen, die beim Austritt und Wiedereintritt in die Kammeroberfläche Gasmoleküle durch Elektronenstoßdesorption desorbieren. Sowohl die Photodesorption als auch die Elektronenstoßdesorption erfolgt durch Anregungsprozesse mit den Elektronen des adsorbierten Moleküls bzw. mit den Bindungselektronen zwischen dem Metall und dem adsorbierten Molekül<sup>11)</sup>. Ein Bruch der Bindung durch Energieübertragung mittels eines direkten elastischen Stoßes zwischen dem Elektron bzw. dem Photon und dem Gasmolekül ist wegen der großen Massenunterschiede unwahrscheinlich<sup>11)</sup>. Da die Desorptionsquerschnitte für Elektronen etwa um einen Faktor  $10^4$  größer sind als für Photonen<sup>12)</sup>, ist die Photoelektronenstoßdesorption der dominierende Prozeß<sup>3)</sup>.

Nach diesem Modell kann das Synchrotronlicht bzw. die Photoelektronen nur chemisorbierte Moleküle von der Oberfläche desorbieren, da sie nur mit Elektronen wechselwirken können. Physisorbierte Moleküle, wie z.B.  $H_2O$ , die durch Van der Waals-Kräfte und nicht über ein Bindungselektron an die Oberfläche gebunden sind, können daher nicht desorbiert werden. Da beim Ausheizen bis zu  $250\text{ }^\circ\text{C}$  hauptsächlich die schwachen Bindungen von physisorbierten Molekülen unterbrochen werden, ist der beobachtete geringe Einfluß des Ausheizens auf die Synchrotronstrahlungsdesorption verständlich. Bei längerem Betrieb der Maschine werden die chemisorbierten Moleküle langsam durch die Photoelektronen abgebaut, was zu der beobachteten Verringerung der Gasdesorption führt. Bei einer Belüftung des Vakuumsystems bilden sich neue chemisorbierte Schichten auf den Oberflächen, die die anfängliche hohe Gasdesorption bei Speicherung eines Elektronenstrahls wiederherstellen.

Die selektive Desorption von  $H_2$ , CO und  $CO_2$  wird dadurch verständlich, daß bei der Desorption außer der Elektronenanregung noch andere Parameter,

wie z.B. die Form des Bindungspotentials, eine Rolle spielen<sup>11)</sup>.

#### 4. Belastung des PETRA-Vakuumsystems durch Synchrotronstrahlung

Die Anzahl der durch die Synchrotronstrahlung erzeugten Photoelektronen ist abhängig von der Energie der Photonen, vom Einfallswinkel der Photonen und von dem Material, in dem die Photoelektronen erzeugt werden.

Der Photoelektronenemissionskoeffizient für Al bei senkrechtem Einfall der Photonen für Photonenenergien zwischen  $10$  und  $10^6$  eV ist in Abb. 3 dargestellt. Photonen mit kleineren Energien als  $10$  eV erzeugen keine Photoelektronen mehr, die energetisch genug sind, um ein Molekül zu desorbieren<sup>5)</sup>. In den Bereichen zwischen  $200 - 1100$  eV und  $3 \cdot 10^4 - 10^6$  eV gab es in der Literatur keine Meßwerte für den Photoelektronenemissionskoeffizienten. Hier wurde aus dem gemessenen Photoabsorptionskoeffizient  $\mu$  (Abb. 4) und der Photonenenergie  $\epsilon$  der Photoelektronenemissionskoeffizient nach folgender Relation extrapoliert<sup>13)</sup>:

$$\text{Photoelektronenemissionskoeffizient} = \mu \cdot \epsilon$$

Diese Relation beschreibt auch die gemessenen Werte für den Photoelektronenemissionskoeffizienten recht gut.

Der Krümmungsradius von PETRA ist in den Ablenkmagneten sehr groß ( $192,05$  m), so daß die Synchrotronstrahlung unter einem sehr kleinen Glanzwinkel auf die Kammerwände auftrifft. Abb. 5 zeigt seine Werte für eine geometrische Periode in PETRA. Der Mittelwert des Glanzwinkels beträgt  $20$  mrad. Die Photoelektronenproduktion bei einem Glanzwinkel  $\phi$  zwischen  $10^\circ$  und  $90^\circ$  zeigt eine  $1/\sin \phi$  - Abhängigkeit. Für kleinere Winkel als  $10^\circ$  steigt die Photoelektronenproduktion nicht so stark an, wie es dieser Zusammenhang angibt<sup>13)</sup>. Für diese Arbeit wurde angenommen, daß dieser Zusammenhang auch bis zu Winkeln von  $20$  mrad gilt. Daraus ergibt sich, daß in PETRA die Photoelektronenproduktion um einen Faktor  $50$  höher liegt, als bei senkrechtem Einfall der Photonen. Diese Annahme stellt sicher eine Überschätzung der tatsächlichen Photoelektronenproduktion dar.

Die Anzahl  $N$  der Photoelektronen für senkrechten Photoneneinfall pro eV, pro sec. und pro mA-Strahl erhält man durch Multiplikation des Photoelektronenemissionskoeffizienten aus Abb.3) mit der Spektralverteilung der Synchrotronstrahlung aus Abb. 1) und Integration über das gesamte Energiespektrum.

Die spezifische Photoelektronenbelastung  $N_{sp}$  der PETRA - Vakuumkammern ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$N_{sp} = \frac{2 \cdot 50 \cdot N \cdot (I_+ + I_-)}{2000} \quad [\text{mA/m}] .$$

Der Faktor 2 berücksichtigt, daß die Photoelektronen die Kammerwände je einmal beim Austritt und Wiedereintritt treffen. Der Faktor 50 berücksichtigt die erhöhte Photoelektronenproduktion durch den kleinen Glanzwinkel. Die Gesamtlänge der von der Synchrotronstrahlung getroffenen Kammerwand wurde mit 2000 m angenommen.  $I_+$  und  $I_-$  sind die gespeicherten Elektronen- und Positronenströme in mA. Abb. 6) zeigt den gespeicherten Strom ( $I_+ + I_-$ ) als Funktion der Strahlenergie. Abb. 7) zeigt die Photoelektronenbelastung in PETRA in [mA/m] in Abhängigkeit von der Strahlenergie. Das Maximum beträgt 500 mA/m und liegt bei 14 GeV.

Der Druckanstieg  $\Delta p_g$  (abs) in [ mbar ] für ein Gas  $g$ , der in einem Vakuumssystem mit installiertem Saugvermögen  $S_g$  in [ 1/sec ] durch Elektronenbombardement mit einem Strom  $I$  in [ A ] an einer Oberfläche mit Desorptionskoeffizienten  $\eta_g$  in [ Moleküle/Elektron ] entsteht, läßt sich durch folgende Gleichung ausdrücken (Kap. 4) :

$$\Delta p_g = \frac{I}{6,97} \cdot \frac{I}{S_g} \eta_g \quad (2) .$$

Der Elektronenstoßdesorptionskoeffizient  $\eta_g$  in [Moleküle/Elektron] hängt sehr stark von der Oberflächenbedeckung ab, und kann für verschiedene Vakuumssysteme zwischen  $10$  und  $10^{-7}$  Moleküle/Elektron variieren.

Für PETRA ist das lineare Saugvermögen der integrierten Ionenzerstäuber-pumpen für  $CO$ ,  $CO_2$  und  $CH_4$  als Funktion der Strahlenergie (Magnetfeld) in Abb. 8 angegeben. Das Saugvermögen für  $H_2$  liegt etwa um den Faktor 2 höher<sup>14)</sup>.

Der erwartete Druckanstieg  $\Delta p_g$  (abs) in [mbar] im PETRA-Vakuumssystem ist in Abb. 9) für 4 Werte von  $\eta_g$  zwischen  $10^{-4}$  und  $10^{-7}$  Moleküle/Elektron dargestellt. Die entsprechenden Werte für  $I$  und  $S_g$  wurden aus den Kurven der Abb. 7) und 8) entnommen. Aus Abb. 9) geht hervor, daß der Druckanstieg in PETRA während des Betriebs unterhalb  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar gehalten werden kann, wenn der Reinheitsgrad der Kammeroberflächen so gut ist, daß weniger als  $10^{-5}$  Moleküle pro Photoelektron desorbiert werden.

Bei dieser Rechnung wurde stillschweigend angenommen, daß die Desorptionwirkung der Photoelektronen unabhängig von der Energie der Photoelektronen ist. Die Energie der meisten Photoelektronen liegt bei 20 - 30 eV<sup>5)</sup>. Die Desorptionwirkung steigt mit der Energie bis auf ein flaches Maximum oberhalb 100 eV und fällt dann oberhalb 500 eV mit steigender Energie wieder ab. Die Abhängigkeit von der Energie ist jedoch sehr viel kleiner als die Abhängigkeit von der Oberflächenbedeckung und wurde deshalb vernachlässigt.

#### 5. Experimentelle Bestimmung der Elektronenstoßdesorption an verschiedenen behandelten Oberflächen

In mehreren Meßreihen wurde an Aluminium- und Edeltstahlflächen der Zusammenhang zwischen dem Desorptionskoeffizienten  $\eta_g$  für  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$  und  $CO_2$  und der Elektronendosis, mit der diese Oberflächen beschossen wurden, experimentell untersucht. Diese Untersuchungen erlauben Aufschlüsse darüber, wie sich die Kammeroberflächen verhalten werden, wenn sie im Speicherring der Synchrotronstrahlung ausgesetzt sind. Weiter wurde untersucht, wie man den Desorptionskoeffizienten durch eine Argon-Glimmentladung so weit senken kann, daß bei Speicherung eines Strahls in der Maschine der Druckanstieg im Vakuumssystem in akzeptablen Grenzen bleibt.

Die Versuche wurden an einer PETRA-Standardvakuumkammer aus Aluminium und an einer runden Edelstahlkammer durchgeführt. Beide Kammern hatten eine Länge von 0,5 m. In der Mitte der Kammern wurde ein 12,5 cm langer Heizfaden aus Wolfram mit einem Durchmesser von 0,25 mm installiert. Die durch Heizen dieses Fadens emittierten Elektronen wurden durch eine zwischen dem Faden und den Kammerwänden angelegten Spannung gegen die Kammerwände beschleunigt. Als beschleunigende Spannung wurden 300 V gewählt. Der maximal erreichbare Elektronenstrom betrug etwa 100 mA. Die von den Elektronen beschossene Fläche betrug bei der Aluminiumkammer  $340 \text{ cm}^2$  und bei der Edelstahlkammer  $562 \text{ cm}^2$ . Beide Kammern wurden während der Versuche wassergekühlt.

Die untersuchten Kammern wurden durch eine Ionenzerstäuberpumpe mit einem nominalen Saugvermögen von 400 l/sec. und eine Ti-Verdampferpumpe über eine Meßblende gepumpt. Der Leitwert der Meßblende mit einem Durchmesser von 1 cm betrug 9,27 l/sec. für  $\text{N}_2$ . Die Ionenzerstäuberpumpe und der Teil der Apparatur, in dem die Meßgeräte installiert waren, war bis  $300^\circ \text{C}$  ausheizbar. Nach jeder Belüftung wurde dieser Teil der Apparatur für etwa 15 h bei ungefähr  $300^\circ \text{C}$  ausgeheizt. Das erste Evakuieren der Apparatur wurde mit einer Turbomolekularpumpe durchgeführt, die die Apparatur auch während des Ausheizens pumpte. Abb. 10) zeigt ein Schema des experimentellen Aufbaus.

Der Gesamtdruck in den Kammern wurde mittels eines geeichten Ionisationsmanometers (Vg/TCS.5) gemessen, Partialdrücke wurden mit einem Quadrupol-Massenspektrographen (Balzers, QMG-111A) bestimmt. Der Massenspektrograph wurde für  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  und Ar relativ zum Ionisationsmanometer geeicht. Dies geschah durch einzelnes Einlassen dieser Gase in die Apparatur, dabei wurde der Anstieg des Ionenstromes  $\Delta I$  im Massenspektrographen und der dazugehörige Anstieg des Gesamtdruckes  $\Delta p$  in  $\text{N}_2$ -Äquivalent beobachtet;  $\Delta p/\Delta I$  gibt dann die Empfindlichkeit des Massenspektrographen in  $\text{N}_2$ -Äquivalent für die einzelnen Gase an.

An den betrachteten Oberflächen wurde der Desorptionskoeffizient  $\eta$  für Elektronenstoßdesorption gemessen. Der Desorptionskoeffizient  $\eta$  ist definiert als :

$$\eta = \frac{\Delta Q}{I/e} \quad \left[ \text{Moleküle/Elektron} \right]$$

$\Delta Q$  ist die Zahl der desorbierten Moleküle,  
 $I$  ist der Elektronenstrom in A,  
 $e$  ist die elektrische Ladung des Elektrons.

Wenn die Apparatur für ein Gas  $g$  die Pumpgeschwindigkeit  $S_g$  in [l/sec.] hat und der Anstieg des Partialdruckes für dieses Gas während der Desorption  $\Delta p_g$  (abs) in [mbar] ist, dann kann man die Gleichung für  $\eta$  wie folgt schreiben<sup>15)</sup>:

$$\eta = \frac{6,97}{I} \sum_g S_g \cdot \Delta p_g(\text{abs}) ,$$

wobei über alle desorbierten Gase summiert wird. Den Faktor 6,97 erhält man durch Umrechnung von  $\Delta Q$  in [Moleküle/sec.] nach  $S_g \cdot \Delta p_g$  (abs) in [mbar l/sec] und durch Einsetzen der elektrischen Ladung  $e$ .

Zur Bestimmung von  $\Delta p_g$  (abs) kann man schreiben:

$$\Delta p_g(\text{abs}) = \Delta p_g(\text{N}_2\text{-Äquivalent}) \cdot K_g ,$$

wobei  $K_g$  die Ionisationswahrscheinlichkeit für das Gas  $g$  ist. Weiter gilt:

$$\Delta p_g(\text{N}_2\text{-Äquivalent}) = F_g \Delta p_{\text{gesamt}}(\text{N}_2\text{-Äquivalent}) .$$

$\Delta p_{\text{gesamt}}(\text{N}_2\text{-Äquivalent})$  ist der gemessene Anstieg des Gesamtdruckes während der Desorption.  $\Delta p_g(\text{N}_2\text{-Äquivalent})$  ist der mit dem Massenspektrographen gemessene Anstieg des Partialdruckes des Gases  $g$ .  $F_g$  gibt also den Bruchteil des gesamten Druckanstieges an, der von dem Gas  $g$  herrührt. Mit diesen Beziehungen läßt sich der Desorptionskoeffizient  $\eta_g$  für ein Gas  $g$  schreiben als<sup>15)</sup> :

$$\eta_g = \frac{6,97}{I} \Delta p_{\text{gesamt}}(\text{N}_2\text{-Äquivalent}) \cdot F_g \cdot S_g \cdot K_g .$$

An beiden Kammern wurden nacheinander die gleichen Messungen durchgeführt. Um Veränderungen der Oberfläche durch die Messung zu vermeiden, wurden die Elektronenstoßdesorptionsmessungen mit einem möglichst kleinen Strom durchgeführt.

Die Kammern wurden, ohne sie Auszuheizen, evakuiert. Nach einigen Stunden Pumpzeit betrug der Druck in den Kammern einige  $10^{-7}$  mbar. Der Desorptionskoeffizient wurde gemessen und dann mit dem Elektronenbombardement begonnen. Die gesamte Dosis betrug bei jeder Messreihe etwa  $1 \cdot 10^{-2}$  Ah/cm<sup>2</sup>. Das Elektronenbombardement wurde mit einem Strom von 10 µA begonnen, dieser Strom wurde sukzessiv bis zum maximalen Strom von 100 mA erhöht. Die Dauer des Elektronenbombardements betrug etwa 2 Tage. Die Wasserkühlung an den Kammern verhinderte eine erhöhte thermische Gasdesorption von den Oberflächen. Während des Elektronenbombardements wurden die Ionenströme der einzelnen Gase im Massenspektrographen registriert. Am Ende des Elektronenbombardements wurde der Desorptionskoeffizient noch einmal gemessen. Bei abgeschaltetem Heizfaden betrug der Druck in den Kammern dann einige  $10^{-9}$  mbar.

Die Apparatur wurde danach für einen Tag mit Laborluft belüftet, anschließend wurde das oben beschriebene Experiment wiederholt. Hiermit sollte der Einfluß einer Belüftung auf die durch das Elektronenbombardement gereinigten Kammern festgestellt werden.

Der gleiche Versuch wurde nach einer Ausheizung der beiden Kammern gemacht. Es wurde der Einfluß des Ausheizens auf die Anfangswerte und auf den späteren Ablauf der Reinigung durch ein Elektronenbombardement beobachtet.

Zum Schluß wurden die Kammern, ohne sie Auszuheizen, durch eine Argon-Glimmentladung gereinigt. Die Ionendosis betrug etwa  $3 \cdot 10^{-4}$  Ah/cm<sup>2</sup>, was ungefähr  $8 \cdot 10^{18}$  Ionen/cm<sup>2</sup> entspricht. Die Glimmentladung wurde bei einem Druck von einigen  $10^{-3}$  mbar mit reinem Argon durchgeführt. Während der Glimmentladung wurde das Argon laufend von der Turbomolekularpumpe abgepumpt. Die Glimmentladungsexperimente an diesen Kammern wurden mit einer Gleichspannung von 350 V durchgeführt. Als Anode in der Kammer diente der Heizfaden, mit dem auch die Messung der Elektronenstoßdesorption durchgeführt wurde. Eine Erwärmung der Kammern während der Glimmentladung

wurde durch Wasserkühlung weitgehend verhindert. Die Verteilung der Glimmentladung in der Kammer wurde durch ein Fenster am oberen Ende der Kammer beobachtet und kontrolliert. Etwa 10 Stunden nach der Glimmentladung betrug der Druck in den Kammern einige  $10^{-9}$  mbar, unter diesen Bedingungen wurde der Desorptionskoeffizient gemessen. Die Apparatur wurde anschließend für 1 Tag belüftet, dann erneut evakuiert und einem Elektrobombardement ausgesetzt. Der Einfluß der Belüftung und Veränderungen im Ablauf des Reinigungsprozesses durch ein Elektronenbombardement sollten dabei festgestellt werden. Bei diesen Versuchen wurde auch der Desorptionskoeffizient für Argon bestimmt. Diese Messungen sind ebenfalls wiederholt worden.

Die Aluminiumkammer wurde vor dem Einbau in die Apparatur durch eine Standardbeizung gereinigt (siehe Anhang). Die Edelstahlkammer wurde den im Labor vorhandenen Vakuumkomponenten entnommen und mit einem Chlorkohlenwasserstofflösungsmittel gereinigt. Die Kammern wurden ohne Auszuheizung evakuiert. Der Anfangsdesorptionskoeffizient  $\eta$  lag nach dieser Vorbehandlung zwischen 0,5 Moleküle/Elektron und 30 Moleküle/Elektron für alle Gase. Im weiteren Verlauf der Messungen waren die Anfangswerte für den Desorptionskoeffizienten  $\eta$ , ohne die Kammern auszuheizen, nach einer eintägigen Belüftung etwa um den Faktor 10 besser. Die Meßwerte sind in den Tabellen 1 und 2, sowie in den Abbildungen 11) und 12) dargestellt.

Nach der Messung der Anfangswerte für  $\eta$  wurden die Kammern durch Elektronenbombardement gereinigt. Eine Dosis von  $1,14 \cdot 10^{-2}$  Ah/cm<sup>2</sup> für die Aluminiumkammer und  $1 \cdot 10^{-2}$  Ah/cm<sup>2</sup> für die Edelstahlkammer resultierte in Werten für  $\eta$  im Bereich von  $10^{-5}$  -  $10^{-7}$  Moleküle/Elektron für beide Kammern (siehe die Tabellen 1 und 2 und die Abb. 11) und 12)).

Nach Beendigung des Elektronenbombardements herrschte in den Kammern ein Druck von einigen  $10^{-9}$  mbar. Für die Aluminiumkammer wurde bei  $6,5 \cdot 10^{-9}$  mbar folgende Restgaszusammensetzung festgestellt: 41 % H<sub>2</sub>, 24 % H<sub>2</sub>O, 28 % CO, 7 % CO<sub>2</sub>. Für die Edelstahlkammer war die Restgaszusammensetzung ähnlich.

Um die Wirkung eines Ausheizens der Kammern auf den Desorptionskoeffizienten zu untersuchen, wurde die Aluminiumkammer 20 h bei 140 °C und die Edelstahlkammer 20 h bei 280 °C ausgeheizt. Danach ergab die Messung des Desorptionskoeffizienten Werte im Bereich von  $10^{-2}$  -  $10^{-3}$  Moleküle/Elektron. (siehe die Tabellen 1 und 2 und die Abb. 11) und 12)). In diesem Zustand wurden die Kammern wieder einem Elektronenbombardement ausgesetzt. Eine Dosis von  $6,66 \cdot 10^{-3}$  Ah/cm<sup>2</sup> bei der Aluminiumkammer und  $1 \cdot 10^{-2}$  Ah/cm<sup>2</sup> für die Edelstahlkammer bewirkte eine Senkung der Werte für  $\eta$  auf etwa das gleiche Niveau wie bei den nicht ausgeheizten Kammern (siehe die Tabellen 1 und 2 und die Abb. 11) und 12)).

Diese Werte zeigen, daß die Dauer der Reinigung durch Elektronenbombardement durch Ausheizen nur wenig verkürzt werden kann.

Die bei den Desorptionsmessungen beobachteten hohen Werte für den H<sub>2</sub>- Desorptionskoeffizienten sind vermutlich durch die Messungselbstzustände gekommen. Auf der Oberfläche des Heizfadens aus Wolfram wird bei hohen Temperaturen (  $T > 1000^\circ\text{K}$  ) molekularer Wasserstoff dissoziiert<sup>12)</sup>. Der dabei entstehende atomare Wasserstoff ist stark reaktiv und kann auf jeder naheliegenden Oberfläche adsorbiert werden und bildet dort molekularen Wasserstoff, der dann in den Desorptionsmessungen auftritt. Messungen bei DESY bestätigen diese Vermutung<sup>9)</sup>. Darüber hinaus ist es so, daß wegen des kleinen Atomgewichtes von Wasserstoff ein hoher H<sub>2</sub> - Anteil in der Restgaszusammensetzung nicht so schwerwiegende Folgen auf die Strahllebensdauer hat wie z.B. CO. Im Vergleich zu CO hat erst die 20fache Menge an H<sub>2</sub> etwa den gleichen Einfluß auf die Strahllebensdauer<sup>9)</sup>.

Während des Elektronenbombardements wurde eine Abnahme des Desorptionskoeffizienten für alle Gase und den Gesamtdruck mit wachsender Elektronendosis beobachtet. Die Abb. 13) und 14) zeigen dies für die nicht ausgeheizte Aluminium - und Edelstahlkammer. Der Zusammenhang zwischen  $\eta$  und der Elektronendosis D läßt sich durch eine empirische Gleichung von folgender Form beschreiben:

$$\eta = a D^b,$$

a, b : Parameter.

Anhand dieser Gleichung und den Meßwerten ist es möglich die Selbstreinigungszeit des PETRA-Vakuumsystems durch Synchrotronstrahlung abzuschätzen. Die folgende Rechnung wird unter der Annahme gemacht, daß bei 14 GeV Strahlenergie (max. Photoelektronenbelastung) der durch die Synchrotronstrahlung induzierte Druckanstieg nicht größer als  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar sein soll. Dies ergibt aus Gl. (2) bei einer Photoelektronenbelastung von 500 mA/m (Abb.7) und einer mittleren Sauggeschwindigkeit von 120 l/sec·cm (Abb.8) einen Desorptionskoeffizienten für den Gesamtdruck von  $\eta = 1,7 \cdot 10^{-5}$  Moleküle/Elektron. Der experimentell ermittelte Zusammenhang zwischen der Elektronendosis und dem Desorptionskoeffizienten lautet für die Aluminiumkammer :

$$\eta = 3,02 \cdot 10^{-6} \left( \frac{I \cdot t}{F} \right)^{-0,67} \quad (3).$$

Die Reinigung wird bei der Injektionsenergie von 7 GeV durchgeführt, die Photoelektronenbelastung beträgt dann 120 mA/m (Abb.7). Die Oberfläche F des PETRA-Vakuumsystems beträgt etwa 3500 cm<sup>2</sup>/m<sup>10)</sup>. Nach Umformen von Gl. (3) wird mit diesen Werten und dem vorher berechneten  $\eta$  die Zeit abgeschätzt, die zur Reinigung des Vakuumsystems durch Synchrotronstrahlung alleine notwendig ist. Diese Rechnung liefert folgenden Wert :

$$t = \frac{3500}{0,12} \left( \frac{1,7 \cdot 10^{-5}}{3,02 \cdot 10^{-6}} \right)^{-1/0,67} = 2,28 \cdot 10^3 \text{ h}$$

Das bedeutet, daß die Maschine 95 Tage bei der Injektionsenergie betrieben werden muß, bis die durch die Synchrotronstrahlung induzierte Gasdesorption von den Oberflächen des Vakuumsystems so gering ist, wie es für den Betrieb des Speicherringes bei höheren Strahlenergien nötig ist.

Um die lange Reinigungszeit durch das Waschen des Vakuumsystems mit Synchrotronstrahlung zu verkürzen, wurden die Experimente zur Reinigung der Oberflächen durch Argon-Glimmentladungen gemacht. Die Experimente wurden mit reinem Argon (Verunreinigung < 2ppm) durchgeführt.

Die Aluminiumkammer wurde nach einer Belüftung für 40 min mit 0,6 A geglimmt. Der Desorptionskoeffizient für  $\text{CH}_4$ , CO und  $\text{CO}_2$  konnte dadurch bis in den Bereich von  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$  Moleküle/Elektron gesenkt werden. Für  $\text{H}_2$  ergab sich  $2 \cdot 10^{-5}$  Moleküle/Elektron (Tabelle 1, Abb.11)).

Ähnliche Ergebnisse (siehe die Tabelle 2 und die Abb 12) wurden für die Edelstahlkammer erhalten, nachdem diese 3 h mit 0,5 A geglimmt wurde.

Auch hier führte eine Belüftung der Kammer zu einer Wiederbelegung der Oberflächen, so daß nach dem Evakuieren der Apparatur erneut Werte für  $\eta$  im Bereich von  $10^{-2}$  -  $10^{-3}$  Moleküle/Elektron gemessen wurden (siehe die Abb.11) und 12)).

Das Experiment mit der Glimmentladung wurde an der Aluminiumkammer wiederholt. Die Kammer wurde 30 min mit 0,6 A geglimmt (Tabelle 1, Abb.11) und direkt danach einem Elektronenbombardement von  $7,1 \cdot 10^{-3}$  Ah/cm<sup>2</sup> ausgesetzt. Diese Behandlung der Kammer resultierte in Werten für  $\eta$  im Bereich von  $10^{-8}$  Moleküle/Elektron für alle gemessenen Gase außer  $\text{H}_2$  (Tabelle 1, Abb.11)).

Eine anschließende längere Belüftung von 3 Tagen ergab keine nennenswerte Änderung der Anfangswerte für  $\eta$  (Abb. 11)).

Bei einem Druck von  $9 \cdot 10^{-9}$  mbar wurde nach einer Glimmentladung in der Aluminiumkammer die Restgaszusammensetzung bestimmt. Den größten Anteil am noch vorhandenen Gas nahm  $\text{H}_2$  mit 83 % ein, gefolgt von 9 % Ar, 4 %  $\text{H}_2\text{O}$  und 4 % CO. Auch hier war die Zusammensetzung in der Edelstahlkammer ähnlich.

Für den großen  $\text{H}_2$  - Anteil schlagen Govier und McCracken<sup>16)</sup> unter diesen Bedingungen noch eine andere Erklärung vor: Beim Glimmen werden durch die Ar-Ionen  $\text{H}_2\text{O}$  - Moleküle aufgebrochen. Während der dabei entstehende Sauerstoff fest an die Oberfläche gebunden wird, bleibt der freiwerdende Wasserstoff nur locker an die Oberfläche gebunden und kann durch Elektronenstoß desorbiert werden. Eine Möglichkeit zur Reduzierung des hohen  $\eta$  für  $\text{H}_2$  könnte darin bestehen einen Teil des physisorbierten Wassers vor dem Glimmen durch eine kurze Ausheizperiode zu entfernen.

Die Desorptionskoeffizienten die für Ar gemessen wurden, lagen nach einer Glimmentladung im Bereich von  $10^{-5}$  Moleküle/Elektron. Die große Zeitkonstante bei der Desorption von Ar legt aber die Vermutung nahe, daß das gemessene Ar nicht von den Oberflächen desorbiert wurde, sondern sekundär von der Ionenzerstäuberpumpe reemittiert wurde.

## 6. Technische Experimente

Um die Durchführung der Glimmentladung im PETRA-Vakuumsystem zu erproben, wurden an einer PETRA-Standardvakuumkammer, welche die integrierten Ionenzerstäuberpumpen enthielt, verschiedene technische Experimente durchgeführt. Die Kammer hatte eine Länge von 3 m, ihr Querschnitt ist in Abb. 15 gezeigt. Die Glimmentladung wurde mit den Anoden der integrierten Ionenzerstäuberpumpen durchgeführt; sie breitet sich durch die Löcher in der Wand, die den Pumpenraum vom Strahlraum trennt, auch im Strahlraum der Kammer aus.

Zunächst wurde in einem Dauerversuch der Einfluß der Glimmentladung auf die Keramikisolatoren der integrierten Ionenzerstäuberpumpen untersucht. Die Kammer wurde in diesem Versuch 170 h geglimmt. Diese Zeit wird im Betrieb der Maschine erst nach etwa 10 Jahren erreicht sein. Dieses Experiment hat gezeigt, daß die Isolatoren vor Al-Bedampfungen, die durch das Ionenbombardement der Kammer während der Glimmentladung entstehen, genügend geschützt sind und Kurzschlüsse in den integrierten Ionenzerstäuberpumpen nicht zu befürchten sind.

Weiter wurde ein Netzgerät entwickelt, mit dem die PETRA - Vakuumkammern vor und nach dem Einbau in den Speicherring geglimmt werden. Dieses Netzgerät liefert bei einer Gleichspannung von 600 V einen Strom von max. 10 A. Die Auslegung des Netzgerätes erlaubt es, die PETRA-Standardvakuumkammern, deren Länge ca. 7 m beträgt, mit etwa 1 A/m zu glimmen, wodurch die Reinigung der Kammern durch eine Glimmentladung auf ca. 1 h beschränkt wird.

Um die Reinigungswirkung der Glimmentladung in den Standardvakuumkammern in Abhängigkeit von äußeren Parametern wie Druck, Temperatur der Kammer und Strom und Spannung während der Glimmentladung zu untersuchen, wurde die Testkammer an die in Abb. 10 gezeigte Apparatur angeschlossen. Das Aussehen und die Verteilung der Glimmentladung konnte durch Fenster an

beiden Räumen der Kammer, sowie durch Messung der Temperatur entlang der Kammer kontrolliert werden. Die Glimmentladung wurde mit den Anoden der integrierten Ionenzerstäuberpumpen im Pumpenraum der Kammer gezündet, während die Reinigungswirkung der Glimmentladung im Strahlraum bestimmt wurde. Dazu wurde im Strahlraum ein Heizfaden installiert, mit dem wieder nach dem Diodenprinzip der Elektronenstoßdesorptionskoeffizient gemessen wurde.

Eine gute Reinigung der Innenoberflächen der Vakuumkammern wurde mit folgendem Verfahren erzielt. Nach einer Belüftung von 2 Tagen wurde die Kammer ohne Auszuheizung bis auf einen Druck von  $5 \cdot 10^{-6}$  mbar abgepumpt. Dann wurde die Kammer für 1,5 h mit 3 A geglimmt, die Gleichspannung während der Glimmentladung betrug 230 V. Die Glimmentladung wurde bei einem Druck von  $2 \cdot 10^{-1}$  mbar reinem Ar durchgeführt. In diesem Druckbereich lag die stabilste Glimmentladung mit gleichmäßiger Verteilung über die ganze Länge der Kammer vor. Die Kammer wurde während der Glimmentladung nicht gekühlt, um den durch die Entladung hervorgerufenen Ausheizeffekt zu nutzen. Während des Experimentes stieg die Temperatur der Kammer auf ca. 80 °C an. Nach dem Abschalten der Glimmentladung wurde im Massenspektrogrammen der Ar-peak beobachtet. Die Kammer wurde solange nur durch die Turbomolekularpumpe gepumpt, bis der Ar-Partialdruck auf den Wert gesunken war, der vor der Glimmentladung gemessen wurde. Zusätzlich wurde die Titan-Verdampferpumpe eingesetzt, um den hohen H<sub>2</sub>-Anteil in der Gaszusammensetzung zu reduzieren. Nach einer Pumpzeit von 4 h lag der Ar-peak nur noch geringfügig über dem vor der Glimmentladung gemessenen Wert, der Gesamtdruck in der Apparatur betrug  $2,2 \cdot 10^{-7}$  mbar. In diesem Zustand wurde die Ionenzerstäuberpumpe in Betrieb genommen und die Apparatur durch ein Ventil von der Turbomolekularpumpe getrennt. Nach einer Pumpzeit von 20 h mit einem Saugvermögen von 10 l/sec für N<sub>2</sub> betrug der Druck in der Apparatur  $4,2 \cdot 10^{-8}$  mbar und der Elektronenstoßdesorptionskoeffizient wurde gemessen. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammengefaßt, die nach verschiedenen Behandlungen der Kammer gemessen wurden. Durch das beschriebene Verfahren wurden für CH<sub>4</sub>, CO, und CO<sub>2</sub> befriedigende Ergebnisse erzielt, lediglich für H<sub>2</sub> wurden relativ hohe Werte für den Elektronenstoßdesorptionskoeffizienten gemessen.

Die Durchführung einer weiteren Glimmentladung brachte nur eine geringfügige Änderung der gemessenen Werte (siehe Tabelle 3). Anschließend wurde die Kammer einem Elektronenbombardement ausgesetzt, um zu beobachten, wie die restlichen noch an die Oberfläche gebundenen Moleküle, besonders H<sub>2</sub>, durch Elektronenstoßdesorption abgebaut werden. Bereits nach einer Dosis von  $6,35 \cdot 10^{-4}$  Ah/cm<sup>2</sup> war der Elektronenstoßdesorptionskoeffizient für H<sub>2</sub> um den Faktor 20 reduziert (siehe Tabelle 3).

Aus dem experimentell bestimmten Zusammenhang für die Abnahme des Elektronenstoßdesorptionskoeffizienten bei laufendem Elektronenbombardement läßt sich die Selbstreinigungszeit des PETRA-Vakuumsystems durch Synchrotronstrahlung nach einer Reinigung des Vakuumsystems durch eine Glimmentladung berechnen. Der Zusammenhang zwischen der Elektronendosis und dem Elektronenstoßdesorptionskoeffizienten nach einer Glimmentladung lautet :

$$\eta = 1 \cdot 10^{-7} D^{-0,54}$$

D ist die Elektronendosis in Ah/cm<sup>2</sup>. Die Selbstreinigungszeit ergibt sich, unter der Voraussetzung, daß für den Gesamtdruck wieder  $\eta = 1,7 \cdot 10^{-5}$  Moleküle/Elektron sein soll, zu

$$t = \frac{3500}{0,12} \left[ \frac{1,7 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-7}} \right]^{-\frac{1}{0,54}} = 2,1 \text{ h}$$

wenn die Maschine mit der Injektionsenergie von 7 GeV betrieben wird.

Bei allen Experimenten mit Ar-Glimmentladungen blieb ein hoher H<sub>2</sub>-Anteil auf den Oberflächen zurück. Das Bombardement der Kammer mit Elektronen hat gezeigt, daß dieser Anteil schnell abgebaut wird. Der Einfluß von H<sub>2</sub>-Molekülen auf die Strahllebensdauer ist wegen des kleinen Molekulargewichtes von H<sub>2</sub> außerdem nicht so schwerwiegend, wie der von schwereren Molekülen, die durch die Glimmentladung fast vollständig abgebaut wurden. Die Erklärung von Govier und McCracken<sup>16)</sup>, nach der dieser Wasserstoff aus der Aufspaltung von Wassermolekülen resultiert, erscheint plausibel, da das gebundene Wasser durch die Glimmentladung nahezu vollständig abgebaut wird. Auch kann, wie schon beschrieben, ein gewisser Teil des Wasserstoffs durch das Meßverfahren selbst erzeugt werden.

Die lange Zeit, während der die Apparatur nach der Glimmentladung nur durch die Turbomolekularpumpe gepumpt wurde, erschien notwendig, um die Ionenzerstäuberpumpe nicht durch einen zu hohen Ar-Partialdruck zu belasten.

In einem anderen Experiment wurde die Kammer zuerst für 15 h bei 145 °C geheizt und direkt anschließend an die Ausheizperiode 2 h mit 3 A geglimmt. Durch dieses Verfahren wurden bessere Ergebnisse erzielt (siehe Tabelle 3), als in dem oben beschriebenen Versuch, allerdings macht dies ein Ausheizen der Maschine notwendig.

Ein Experiment mit einem Ar/10 % O<sub>2</sub>-Gasgemisch war wenig erfolgversprechend.

#### 7 Zusammenfassung

Das Vakuumsystem des Beschleunigers PETRA wird durch 4 MW Synchrotronstrahlung, verteilt auf 2000 m, belastet. Durch den großen Krümmungsradius der Maschine (192,05 m) trifft die Synchrotronstrahlung die Innenoberflächen des Vakuumsystems unter einem sehr kleinen Glanzwinkel (20 mrad), was eine hohe Photoelektronenproduktion und damit eine starke Gasdesorption von den Oberflächen des Vakuumsystems beim Betrieb des Speicherringes verursacht. Die max. Photoelektronenbelastung des PETRA-Vakuumsystems beträgt 500 mA/m.

Um den Druckanstieg im Vakuumsystem bei Einschalten des Strahls unterhalb  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar zu halten sind Elektronenstoßdesorptionskoeffizienten kleiner als  $1 \cdot 10^{-5}$  Moleküle/Elektron erforderlich. Untersuchungen an Aluminium- und Edelstahloberflächen haben gezeigt, daß Desorptionskoeffizienten kleiner als  $1 \cdot 10^{-5}$  Moleküle/Elektron durch eine einständige Argon-Glimmentladung erreicht werden können, was die Reinigungszeit des Vakuumsystems gegenüber einer Ausheizung der Maschine stark verkürzt.

Die PETRA - Standardvakuumkammern können mittels der Anoden der integrierten Ionenzerstäuberpumpen auch nach dem Einbau in die Maschine durch eine Argon-Glimmentladung gereinigt werden, wodurch eine Belüf-

tung der Kammern nach der Reinigungsprozedur vermieden wird. Entsprechende Tests an einer PETRA-Standardvakuumkammer sind erfolgreich durchgeführt worden.

#### Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Herren H.Hartwig, J.Kouptsidis, A.G.Mathewson und W.Pröhl sowie der Gruppe HSV für ihre Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit bedanken.

LITERATUR

- 1) PETRA Proposal, DESY, Hamburg, November 1974
- 2) PETRA Proposal, Updated version, DESY, Hamburg, Februar 1976
- 3) E.L. Garwin, "3 BeV Colliding Beam Vacuum System", Memorandum Stanford Linear Accelerator Center, 14. August 1963
- 4) H.Ch. Lewin, DESY, Hamburg, Technische Notiz H4-15, 1971
- 5) M. Bernadini und L. Malter, J. Vac. Sci. Technol., 2 (3), 130-141 (1965)
- 6) A.G. Mathewson, Vacuum, 24 (10), 505-509 (1974)
- 7) J. Kouptsidis und M. Schwartz, DESY, Hamburg, Interner Bericht, H3-75/01, 1975
- 8) A.A. Sokolov und I.M. Ternov, "Synchrotron radiation", Akademie-Verlag, Berlin 1968
- 9) J. Kouptsidis und A.G. Mathewson, DESY, Hamburg, 76/49, 1976
- 10) J. Kouptsidis, Private Mitteilung
- 11) D. Menzel, Hab., T.H. Darmstadt, "Anregung, Desorption und Dissoziation adsorbierter Teilchen durch langsame Elektronen" 1967
- 12) P.A. Redhead, J.P. Hobson und E.V. Kornelson, "The physical Basis of Ultra-High Vacuum", Chapman & Hall Ltd., London 1968
- 13) C. Kunz, Private Mitteilung
- 14) H. Hartwig, Private Mitteilung
- 15) A.G. Mathewson, CERN-ISR-VA/76-5, 1976
- 16) R.P. Govier und G.M. McCracken, J. Vac. Sci. Technol. 7 (5), 552-556 (1970)
- 17) J.G. Endriz und W.E. Spicer, Phys. Rev. B 4 (12), 4159-4184 (1971)
- 18) W. Pong, J. Appl. Phys. 40 (4), 1733-1739 (1969)
- 19) R.B. Cairns und J.A.R. Samson, J. Opt. Soc. Amer. 56 (11), 1568-1573 (1966)
- 20) E.B. Saloman und D.L. Ederer, Appl. Optics, 14 (4), 1029-1034 (1975)
- 21) Extrapoliert nach Daten für den Photoabsorptionskoeffizienten
- 22) L.G. Eliseenko et al., Sov. Phys.-Tech. Phys., 13 (1), 122-129 (1968)
- 23) I.M. Izrailev, Sov. Phys.-Tech. Phys. 7 (11), 1020-1022 (1963)
- 24) H.R. Philipp und H. Ehrenreich, J. Appl. Phys. 35 (5), 1416-1419 (1964)
- 25) R. Haensel et al., J. Appl. Phys. 40 (7), 3046-3047 (1969)
- 26) J.A. Victoreen, J. Appl. Phys., 19 (9), 855-860 (1948)
- 27) S.J.M. Allen, Handbook of Physics and Chemistry
- 28) R.D. Evans, American Institut of Physics Handbook

ANHANG

Ablauf der Reinigung der Aluminiumkammer :

Reinigung mit einem Lösungsmittel (5 % VR 9518 - Henkel Co.) bei 60 °C.

Spülen in demineralisiertem Wasser.

Baden in 6 % NaOH für 5 min. bei 60 °C.

Spülen in demineralisiertem Wasser.

Baden in 15 % HNO<sub>3</sub> für 5 min. bei 20 °C.

Spülen in demineralisiertem Wasser bei 96 °C.

Trocknen an der Luft.

Behandlung der Kammer	$\eta_{H_2}$	$\eta_{CH_4}$	$\eta_{CO}$	$\eta_{CO_2}$
Standardbeizung (siehe Anhang)	32,6	$5,3 \cdot 10^{-1}$	3,7	2,1
1 Tag belüftet	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
Anschließendes Elektronen- bombardement, $1,14 \cdot 10^{-2}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
1 Tag belüftet u. Ausheizen 20 h, 140 °C	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
Anschließendes Elektronen- bombardement, $6,66 \cdot 10^{-3}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
1 Tag belüftet u. Argon-Glimm- entladung 40 min, 0,6 A	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$
1 Tag belüftet u. Argon-Glimm- entladung 30 min, 0,6 A	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$
Anschließendes Elektronen- bombardement, $7,06 \cdot 10^{-3}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$
Anschließendes Belüftung von 3 Tagen	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$

Tabelle 1 : Die Desorptionskoeffizienten  $\eta$  für H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> an der Aluminiumkammer.  $\eta$  in [ Moleküle/Elektron ] .

Behandlung der Kammer	$\eta_{H_2}$	$\eta_{CH_4}$	$\eta_{CO}$	$\eta_{CO_2}$
Spülen mit einem Chlorkohlen- wasserstofflösungsmittel	10,6	$2,0 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$
1 Tag belüftet	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
Anschließendes Elektronen- bombardement $1 \cdot 10^{-2}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$
1 Tag belüftet u. Ausheizen 20 h, 280 °C	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Anschließendes Elektronen- bombardement $1 \cdot 10^{-2}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$
1 Tag belüftet u. Argon - Glimmentladung 3 h, 0,5 A	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-8}$	$5,8 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 2: Die Desorptionskoeffizienten  $\eta$  für H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> an der Edelstahlkammer.  $\eta$  in [ Moleküle/Elektron ] .

Behandlung der Kammer	$\eta_{H_2}$	$\eta_{CH_4}$	$\eta_{CO}$	$\eta_{CO_2}$
2 Tage belüftet, Ar-Glimmentladung, 1,5 h, 3 A Kammer ungekühlt, T = 80 °C	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$
Zusätzliche Ar-Glimmentladung 1,5 h, 3 A, T = 80 °C	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$
Anschließendes Elektronenbombardement D = $6,33 \cdot 10^{-4}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$< 1 \cdot 10^{-6}$	$< 1 \cdot 10^{-6}$
Weiteres Elektronenbombardement D = $6,64 \cdot 10^{-3}$ Ah/cm <sup>2</sup>	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-7}$	$< 1 \cdot 10^{-7}$	$< 1 \cdot 10^{-7}$
Belüftet u. Ar-Glimmentladung 2 h, 3 A nach Ausheizen, 15 h, 145 °C	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$< 1 \cdot 10^{-5}$
Belüftet u. Ar-Glimmentladung 1 h, 4 A Kammer gekühlt, T = 30 °C	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$< 1 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 3 : Die Desorptionskoeffizienten  $\eta$  für H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> nach den verschiedenen technischen Experimenten.  $\eta$  in [ Moleküle/Elektron ].

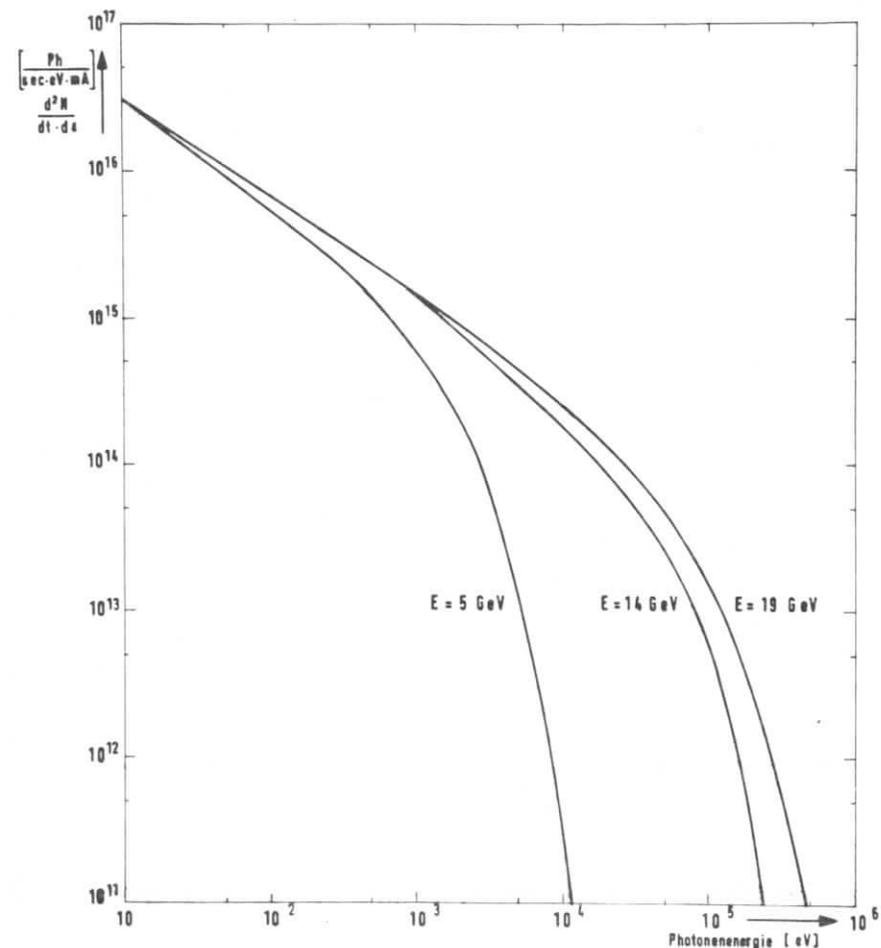


Abb. 1: Die spektrale Verteilung der Synchrotronstrahlung in PETRA bei verschiedenen Strahlenergien.

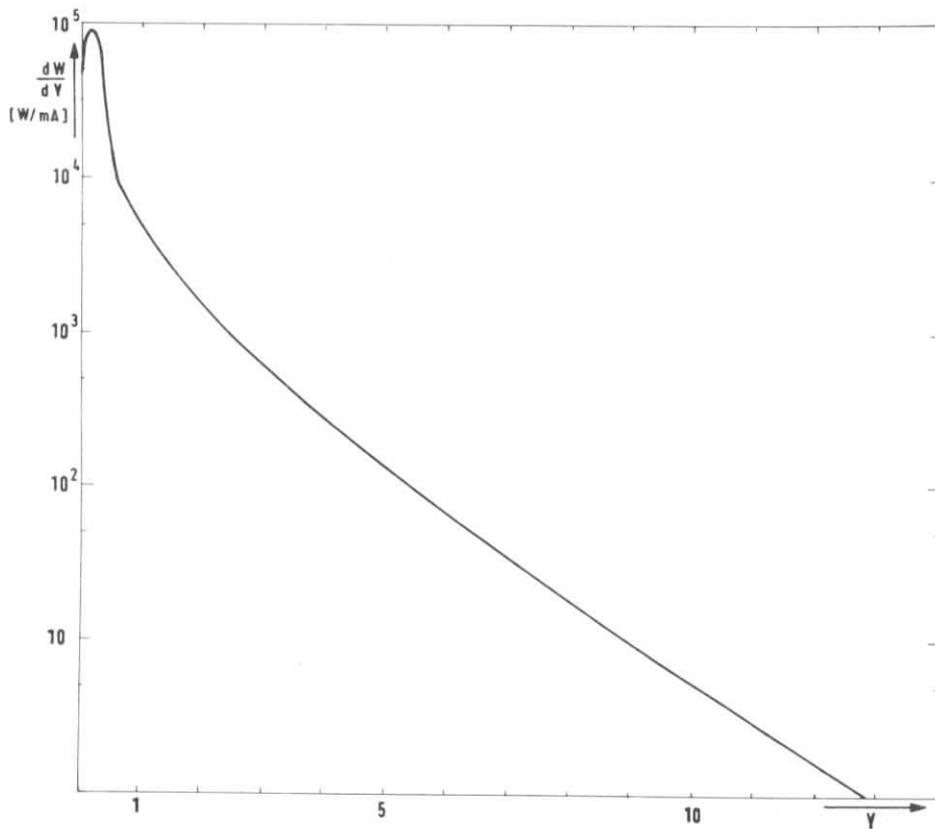


Abb. 2: Das normierte Leistungsspektrum der Synchrotronstrahlung in PETRA. Die Photonenenergien sind auf die kritische Energie normiert. Die Kurve wurde für eine Strahlenergie von  $E = 14$  GeV und einen Krümmungsradius der Maschine von  $R = 107,05$  m gerechnet.

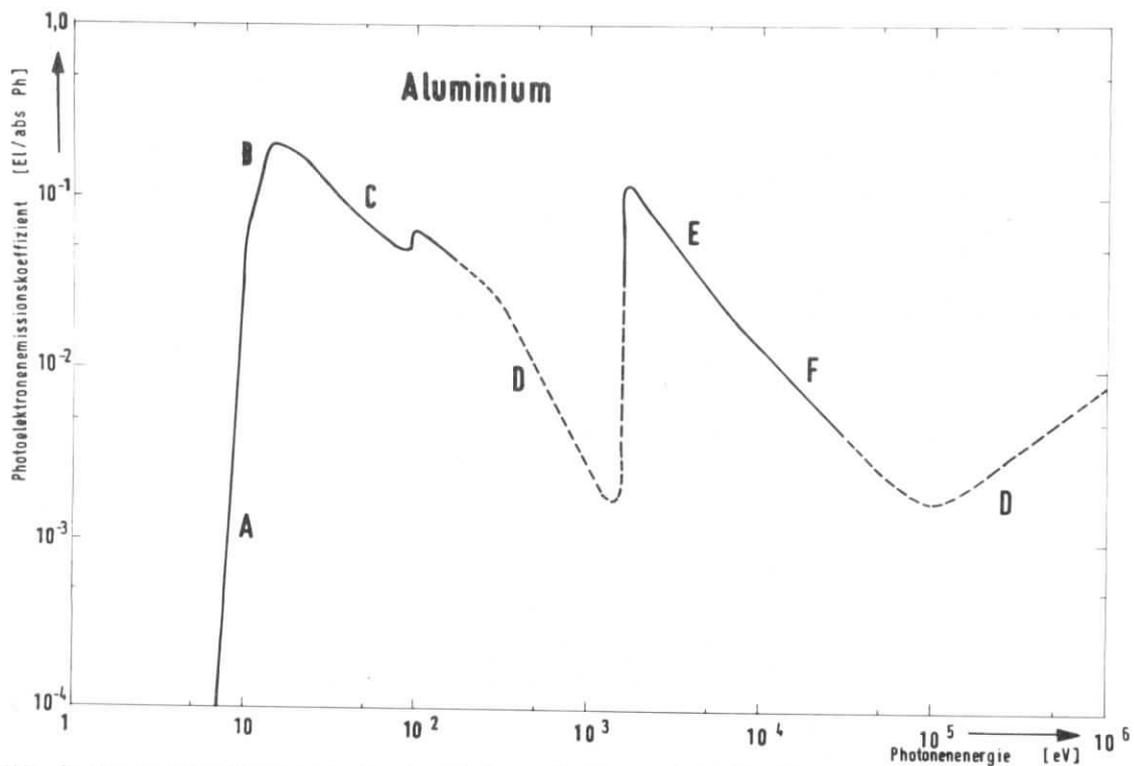


Abb. 3: Der Photoelektronenemissionskoeffizient für Al und  $Al_2O_3$  für Photonenenergien zwischen 7 eV und  $10^6$  eV bei senkrechtem Photoneinfall. Die Kurve wurde aus folgenden Literaturangaben zusammengestellt:

A : 17) und 18), B : 17) und 19), C : 19) und 20), D : 21), E : 22) und 23), F : 23).

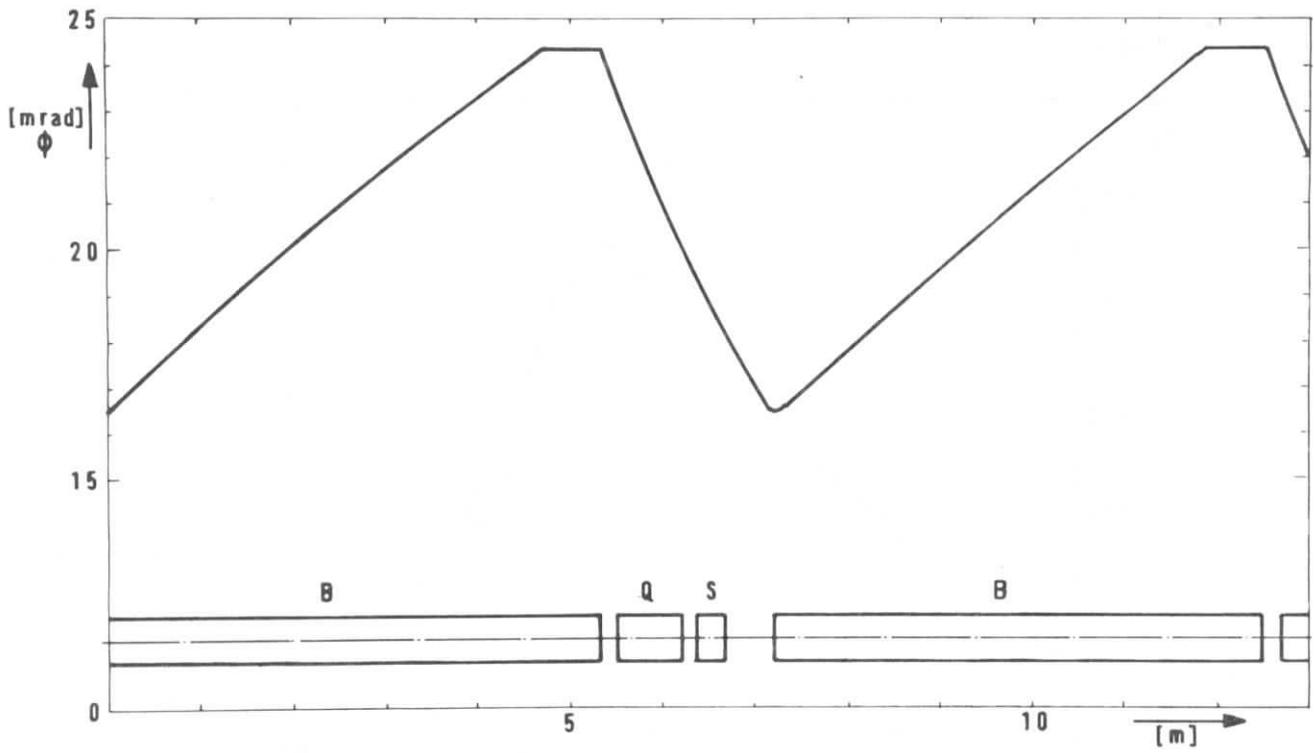


Abb. 5: Der Glanzwinkel der Synchrotronstrahlung in PETRA als Funktion des Ortes. Die dazugehörige Lage der Ablenkmagnete A, der Quadrupole Q und der Sextupole S ist ebenfalls gezeigt.

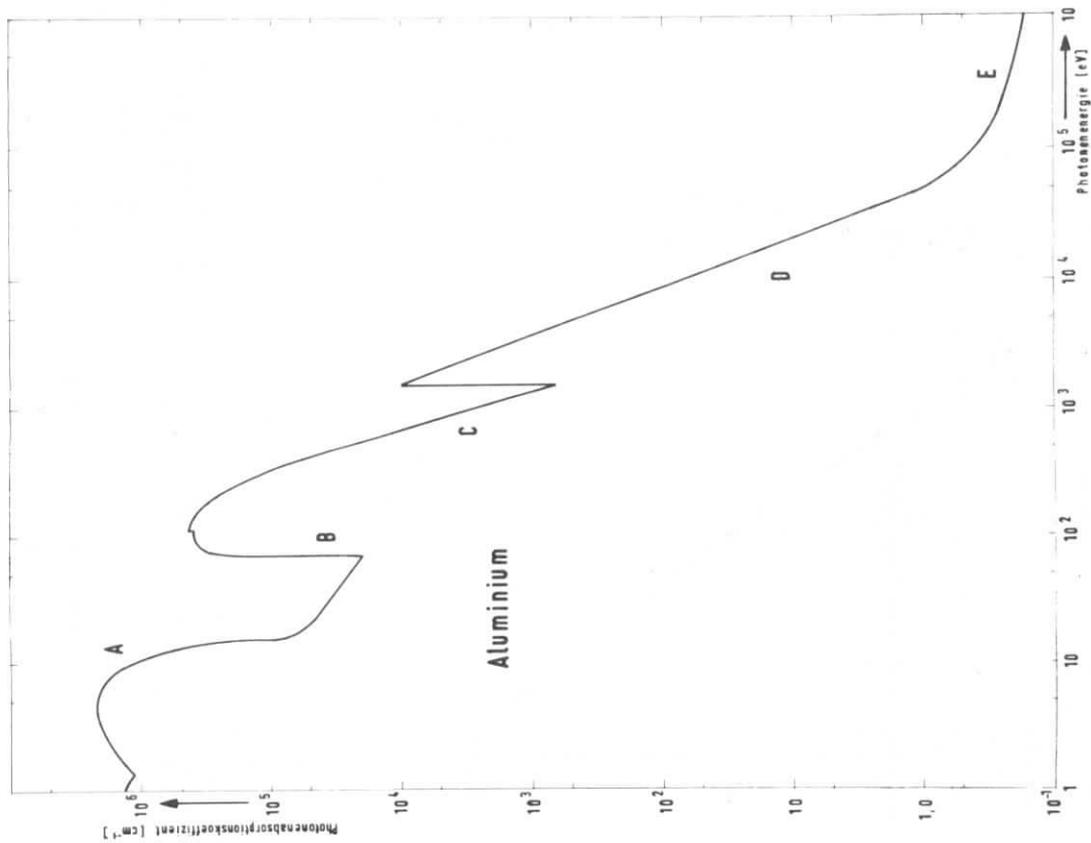


Abb. 4: Der Photoabsorptionskoeffizient für Al für Photonenergien zwischen 1 eV und  $10^6$  eV. Die Kurve wurde aus folgenden Literaturangaben zusammengestellt:

A : 24), B : 25), C : 26), D : 27), E : 28).

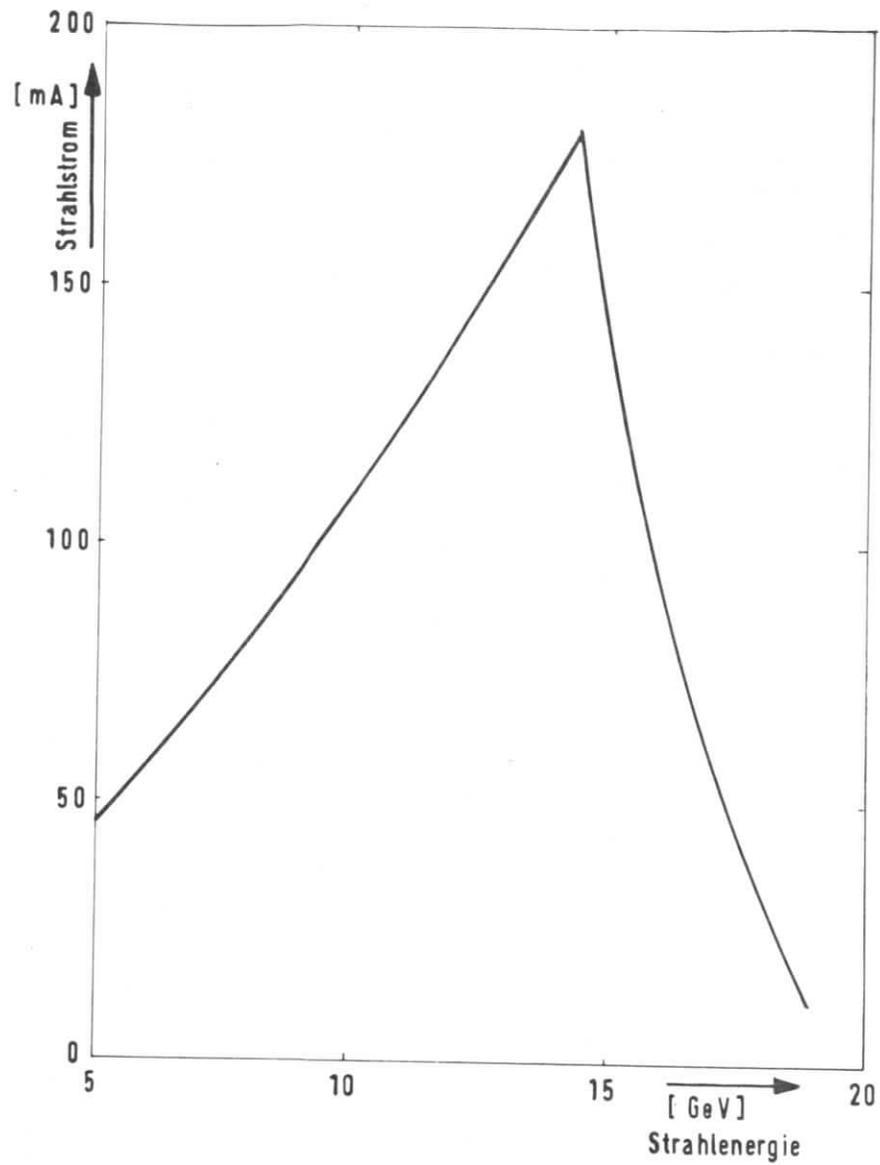
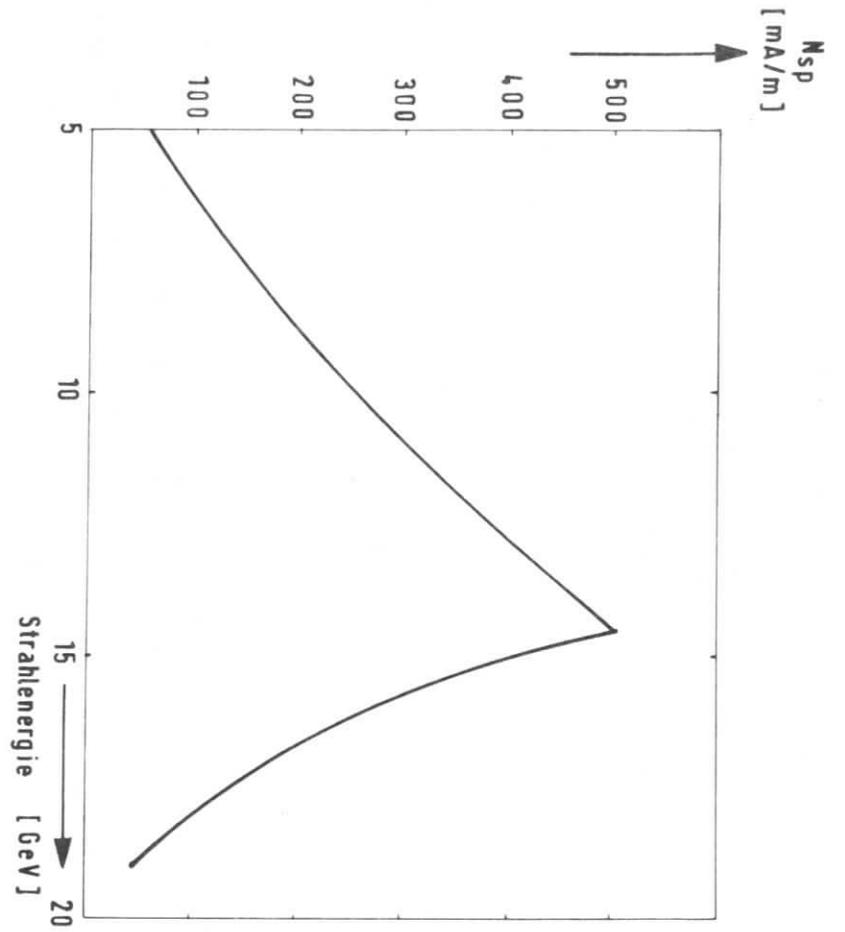


Abb. 6: Der gesamte Strahlstrom in PETRA als Funktion der Strahlenergie.

Abb. 7: Die gesamte spezifische Photoelektronenbelastung des PETRA-Vakuumsystems in Abhängigkeit von der Energie des gespeicherten Strahls.



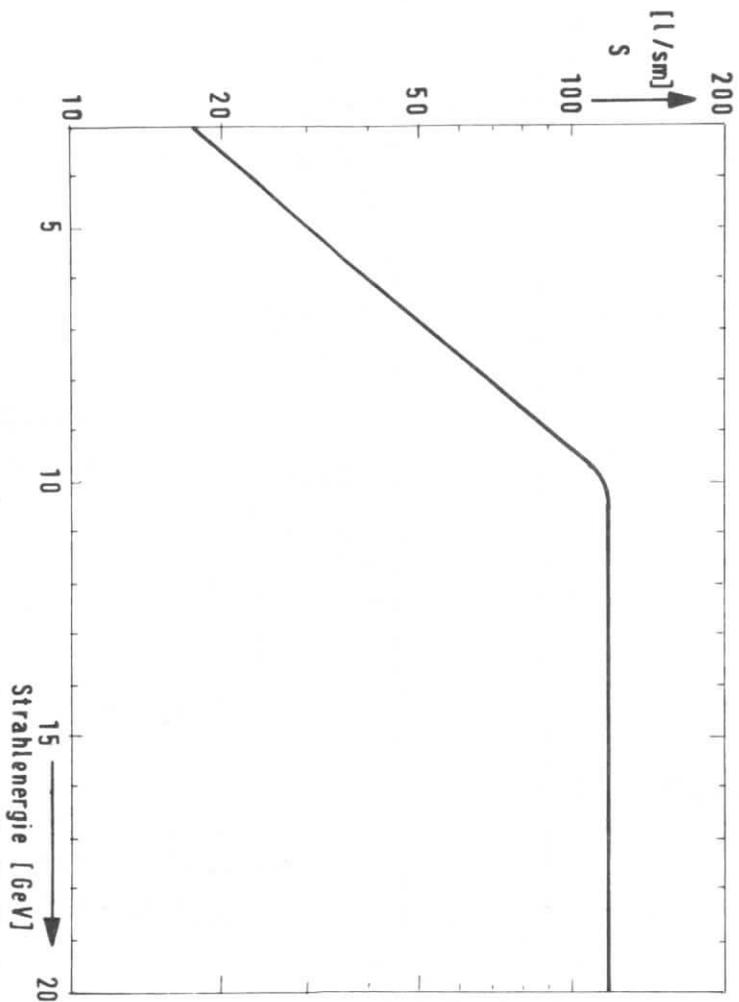


Abb. 8: Das Saugvermögen der installierten Ionenzerstäuberpumpen für  $CH_4$ ,  $CO$  und  $CO_2$  pro Meter des Vakuumsystems in Abhängigkeit von der Strahlenergie.

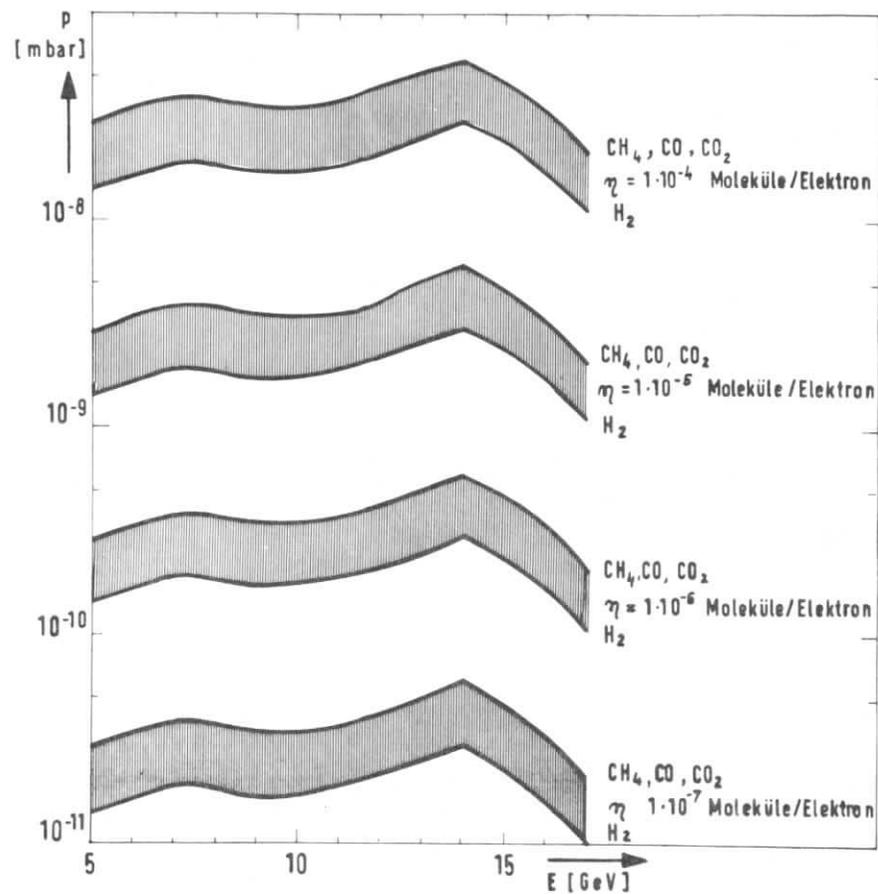


Abb. 9: Der berechnete Druckanstieg in PETRA bei gespeichertem Strahl für verschiedene Werte des Desorptionskoeffizienten  $\eta_g$  als Funktion der Strahlenergie.

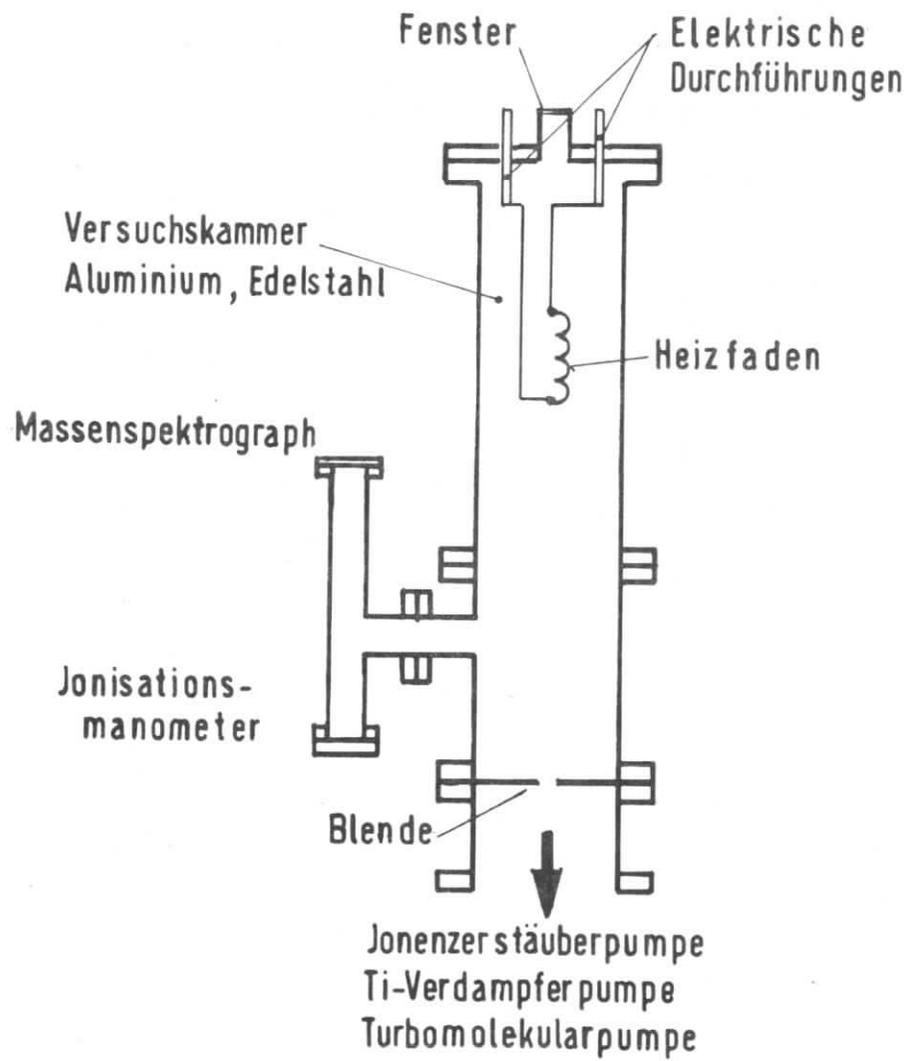


Abb. 10: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

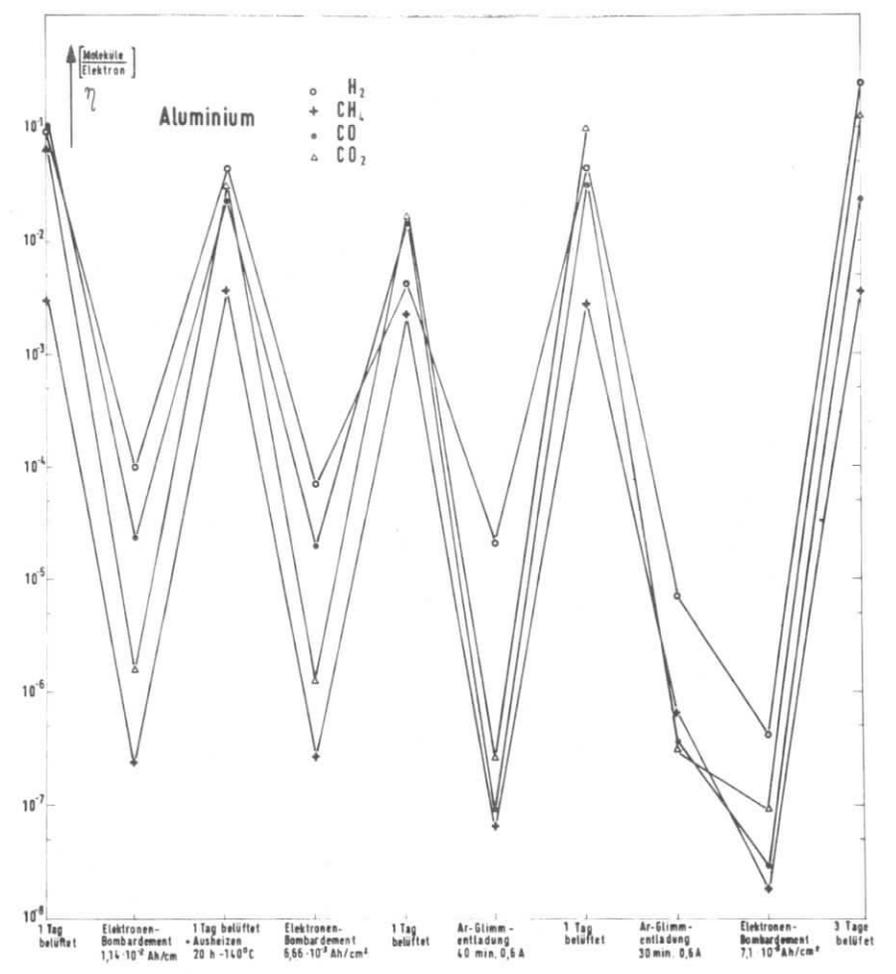


Abb. 11: Der Desorptionskoeffizient  $\eta$  für H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO und CO<sub>2</sub> für die Aluminiumkammer nach verschiedenen Behandlungen der Kammer.

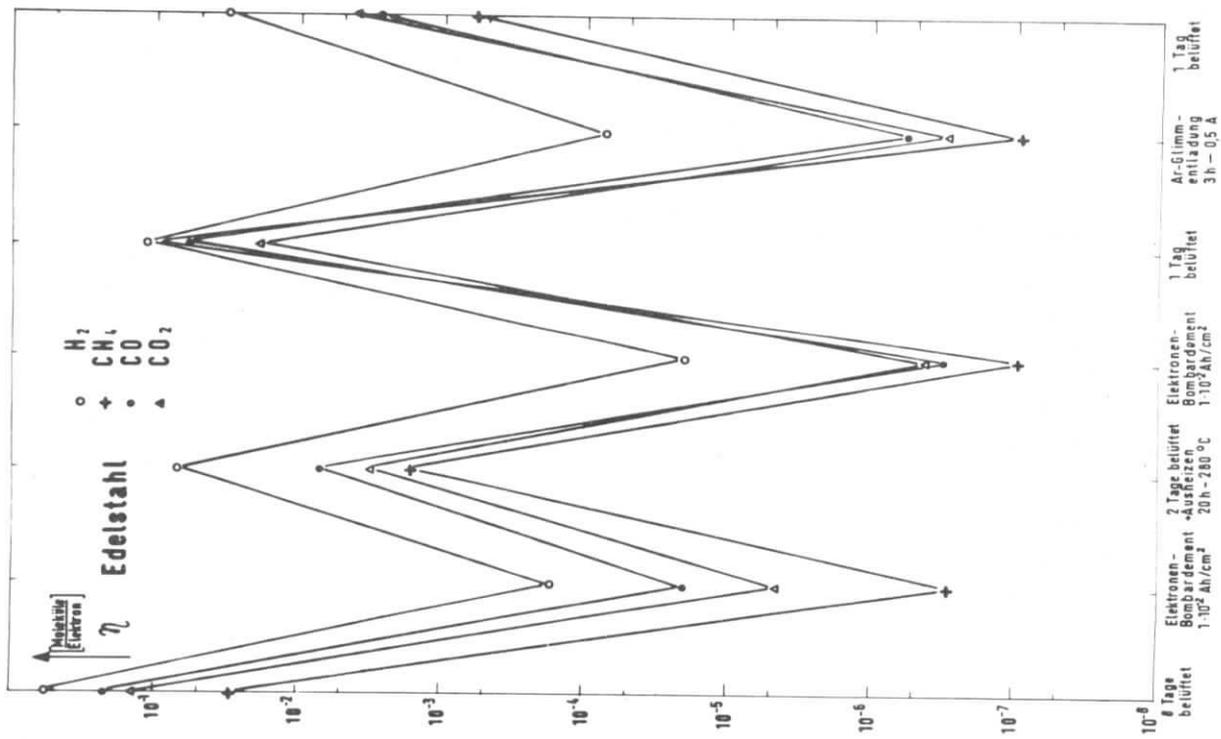


Abb. 12: Der Desorptionskoeffizient  $\eta$  für  $H_2, CH_4, CO$  und  $CO_2$  für die Edelstahlkammer nach verschiedenen Behandlungen der Kammer.

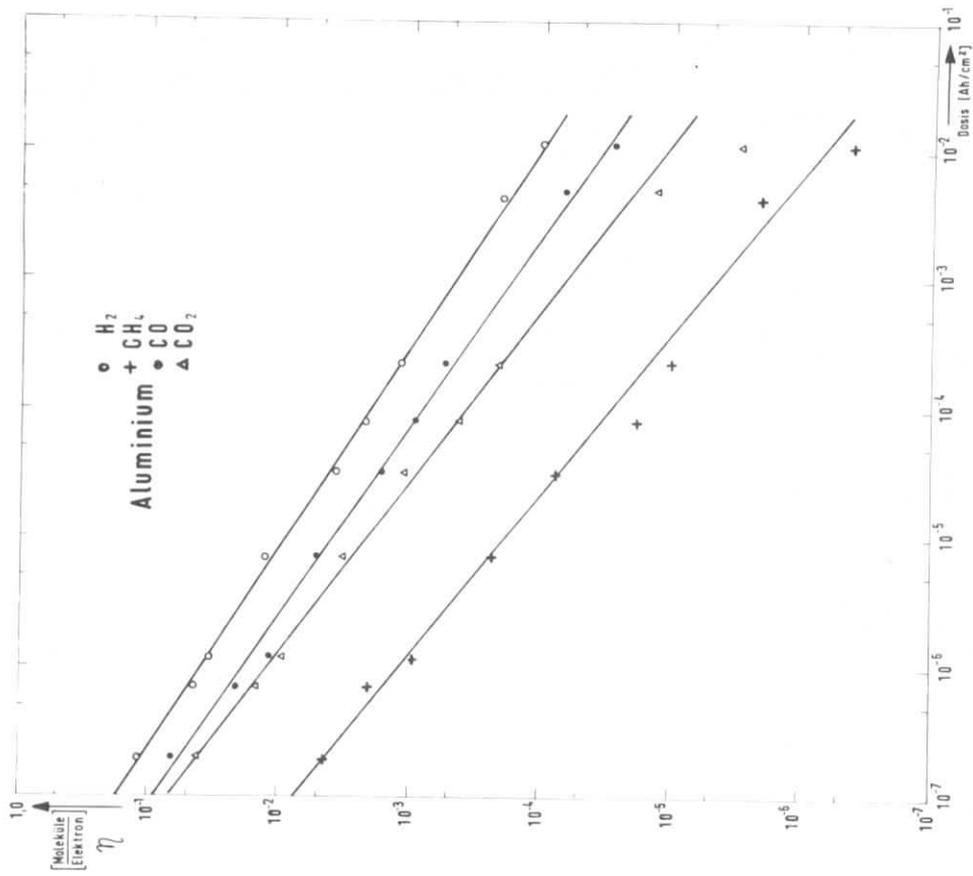


Abb. 13: Der Desorptionskoeffizient  $\eta$  für  $H_2, CH_4, CO$  und  $CO_2$  in Abhängigkeit von der Dosis des Elektronenbombardements, gemessen in der Aluminiumkammer.

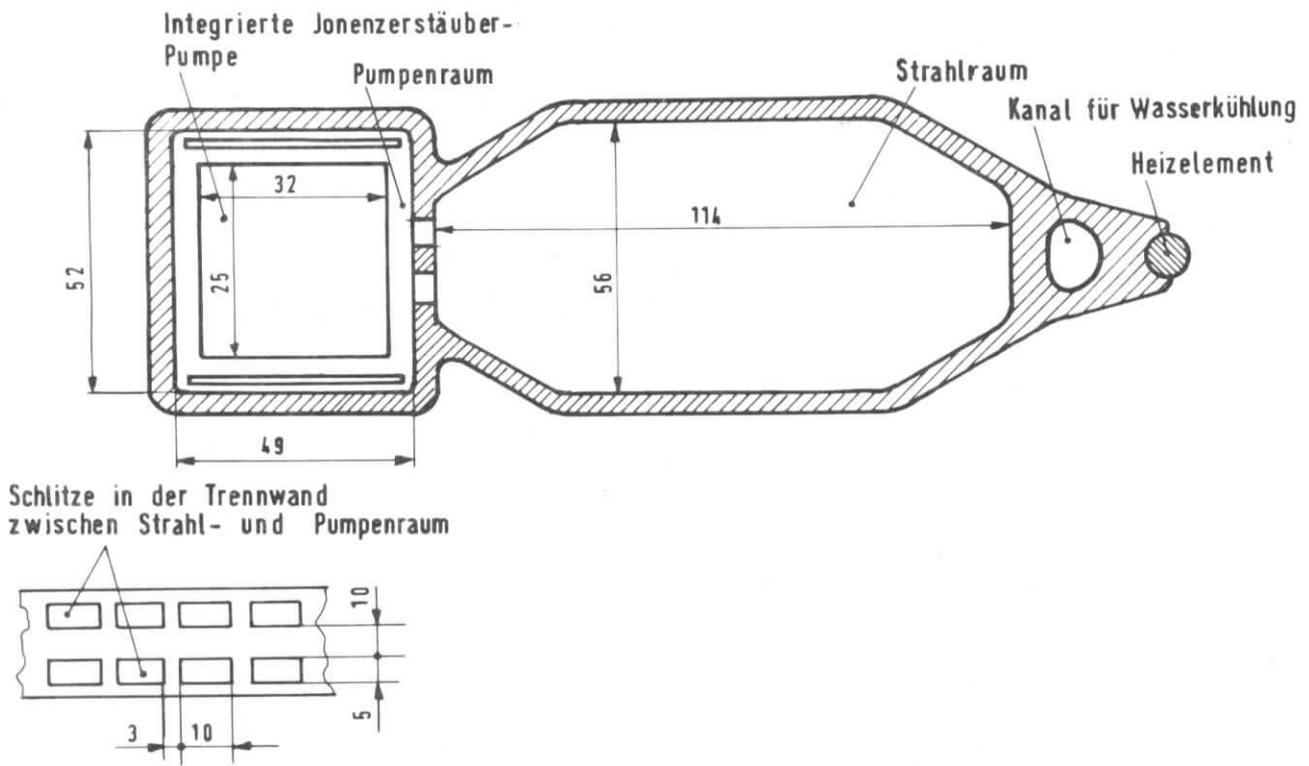


Abb. 15: Der Querschnitt der PETRA-Standardvakuumkammer und die Darstellung der Trennwand zwischen Strahl- und Pumpenraum der Kammer mit funkenerodierten Schlitzten.

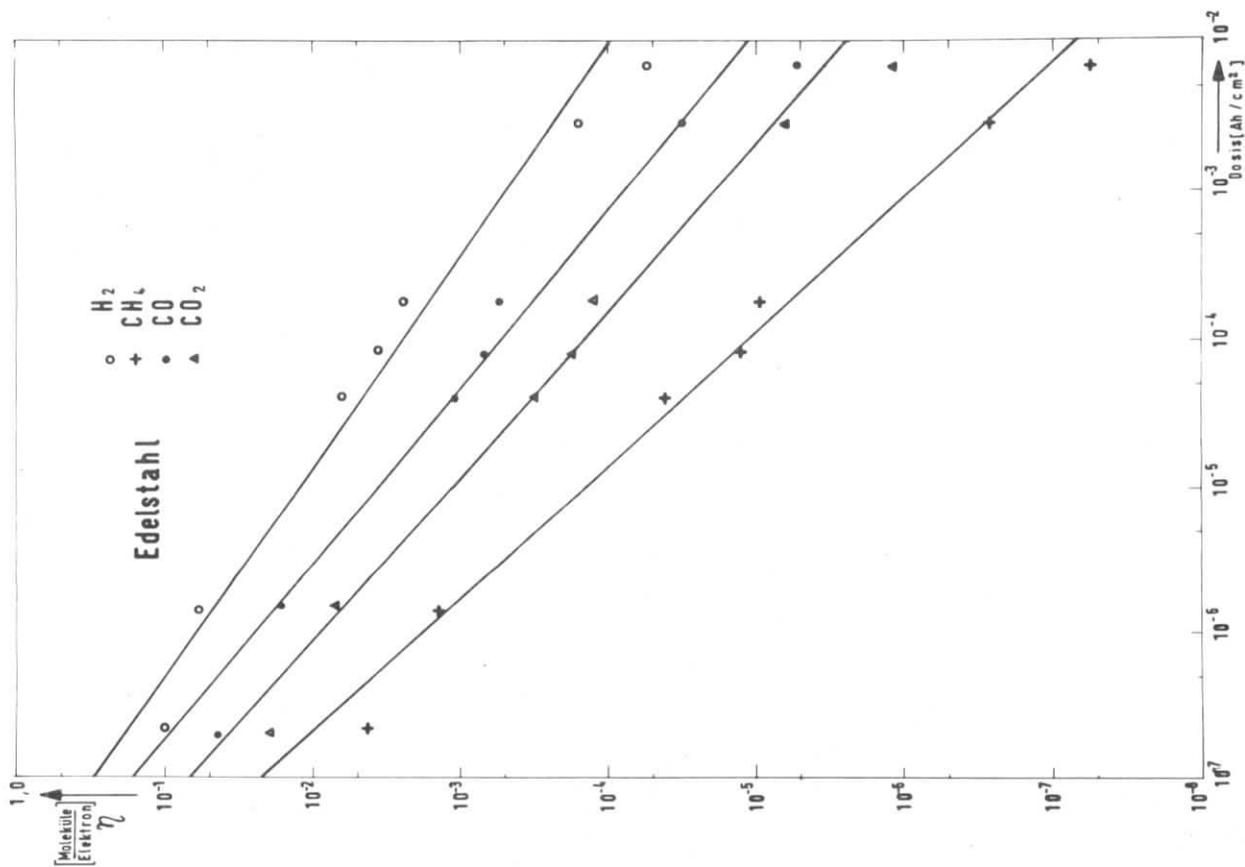


Abb. 14: Der Desorptionskoeffizient  $\eta$  für  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$  und  $CO_2$  in Abhängigkeit von der Dosis des Elektronenbombardements, gemessen in der Edelstahlkammer.