

Das Vakuumsystem für ANKA

D. Einfeld, E. Huttel, FGS

Allgemeine Anforderungen

Die Lebensdauer des Elektronenstrahls in einem Speicherring wird durch die Streuung der Elektronen am Restgas begrenzt. Um eine Lebensdauer von mehr als 10 Stunden zu erreichen, ist ein Vakuum im Bereich von 2×10^{-9} mbar notwendig. Drucke dieser Größenordnung lassen sich im allgemeinen mit der gängigen UHV-Technik problemlos erreichen. Bei einem Elektronen-Speicherring wird jedoch während des Betriebes durch die Einwirkung der Synchrotronstrahlung auf die Kammerwand eine erhebliche Gasmenge desorbiert. Dies geschieht, in dem die Synchrotronstrahlung Photoelektronen aus der Wand ablöst, die ihrerseits Gasionen ablösen. Weiterhin ist mit der Synchrotronstrahlung eine erhebliche thermische Leistung verbunden, die ebenfalls abgeführt werden muss.

Die durch die Synchrotronstrahlung von der Materialoberfläche desorbierte Gasmenge ist abhängig von der Zahl der absorbierten Photonen [1], die ihrerseits proportional zur Energie und Stromstärke der gespeicherten Elektronen ist. Der Proportionalitätsfaktor wird als Desorptionskoeffizient η bezeichnet. Er gibt die Zahl der Gasmoleküle an, die pro auf die Wand auftreffendes Photon desorbiert werden. Er ist abhängig vom Wandmaterial und der absorbierten Photonendosis. Desorptionskoeffizienten der für Speicherringe gebräuchlichen Wandmaterialien sind aus Messungen bekannt. Der Desorptionskoeffizient η hat für Edelstahl

und Kupfer zu Beginn der Einwirkung der Synchrotronstrahlung einen Wert von 0,01 und erreicht nach längerer Exposition Werte kleiner 10^{-6} . Aluminium hat zu Beginn der Exposition eine etwa 10 mal höhere Desorptionsrate als Edelstahl und Kupfer, die sich mit zunehmender Dosis aber an diese angleicht.

Der Druck ergibt sich aus der Desorptionsrate und der Saugleistung S der Vakuumpumpen aus folgender Formel:

$$p[\text{mbar}] = 30 \eta I[\text{A}] E[\text{GeV}] / S [\text{l/s}]$$

Für einen Elektronenstrom von $I = 0,4 \text{ A}$ mit einer Energie $E = 2,5 \text{ GeV}$ ergibt sich somit bei einer realistischen effektiven Saugleistung von $S = 10^4 \text{ l/s}$ und einem Desorptionskoeffizienten $\eta = 10^{-6}$ ein Druck von $3 \times 10^{-9} \text{ mbar}$. Die erwartete Entwicklung des Desorptionskoeffizienten und des Drucks als Funk-

tion der akkumulierten Dosis ist in Abb.1 dargestellt.

Um den gewünschten Druck zu erreichen, ist nicht so sehr die installierte Pumpleistung entscheidend, als vielmehr die Reduzierung der Gas-Desorptionsrate. Die Reinigung des Wandmaterials erfolgt am besten durch längere Einwirkung der Synchrotronstrahlung.

Material der Vakuumschammer

Als Material für Vakuumschammern von Speicherringen findet Aluminium, Edelstahl und Kupfer Verwendung. Der Vorteil von Aluminium liegt in der kostengünstigen Herstellung von langen Kammern durch Strangziehen, es ist hiermit prädestiniert für große Speicherringe mit einem Umfang von mehreren hundert Metern. Ein weiterer Vorteil ist seine gute Wärmeleitfähigkeit, die eine bessere Verteilung und Abführung

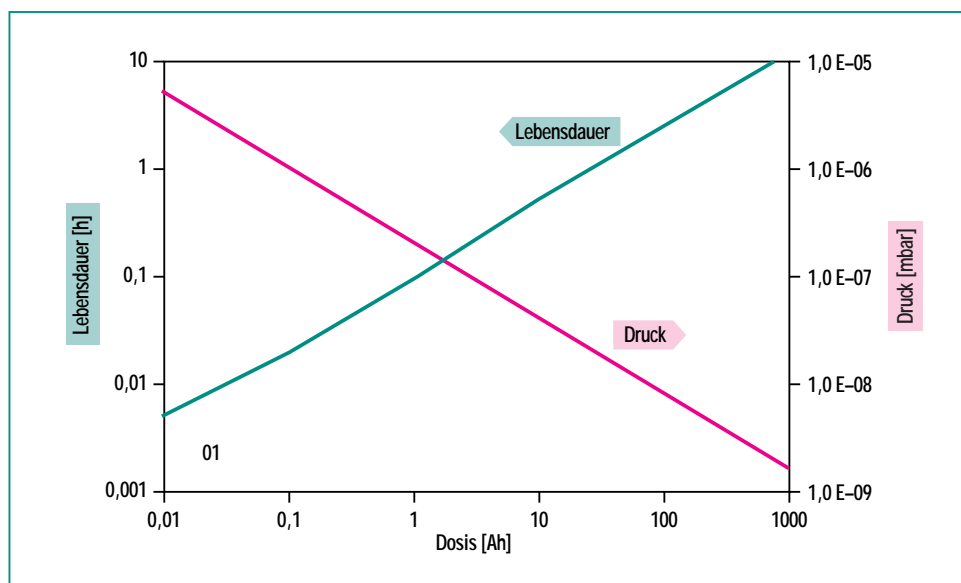


Abb. 1: Erwartetes Verhalten des Druckes und der Elektronenstrahl-Lebensdauer für ANKA.

der Synchrotron-Strahlungsleistung bewirkt, sowie die Möglichkeit des Ausheizens durch Beschicken der Kühlkanäle mit erhitztem Druckwasser. Ein Nachteil ist die bereits erwähnte hohe Desorptionsrate. Auch ist ein leckdichtes Verschweißen von Aluminium Kammern in UHV Technik nicht einfach zu bewerkstelligen. Für die Verbindungsflansche sind sowohl Aluminium mit Al-Dichtscheiben als auch Aluminium-Edelstahl-Übergänge mit Kupferdichtungen in Verwendung.

Kupfer vereint die Vorteile der guten Wärmeleitfähigkeit mit einer niedrigen Desorptionsrate und wäre somit als Material der Vakuumkammer besonders geeignet. Allerdings lässt sich Kupfer nur einsträngig strangziehen. Auch lässt sich das Anbringen der Kühlkanäle und die Verbindung zu Edelstahlflanschen zuverlässig nur mit aufwändiger Elektronenstrahl-Schweißung oder Vakuumlötung bewerkstelligen, was entsprechend hohe Kosten verursacht.

Edelstahl (304L, 318LN) ist das bevorzugte Standard-Material in der Vakuumtechnik. Der Desorptionskoeffizient ist niedrig. Vakuumkomponenten sind in großer Vielfalt am Markt erhältlich. Die Festigkeit des Materials ist wesentlich höher als die von Aluminium und Kupfer. Die Fertigungstechnik wird von vielen Herstellern beherrscht. Von Nachteil ist die schlechte Wärmeleitfähigkeit, die den Einbau spezieller Kupferabsorber erforderlich macht.

Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Materialien wurden mit den Herstellern diskutiert. Die Entscheidung, die Vakuum-Kammer von ANKA aus Edelstahl fertigen zu lassen, wurde schließlich wegen der günstigeren Angebote und der größeren Erfahrung der Hersteller mit diesem Material getroffen.

Design der Vakuumkammer

Die Vakuumkammer ist im Bereich eines Ablenkmagneten in eine Kammer zur Führung des Elektronenstrahls und eine Vor-

kammer aufgeteilt, die durch einen Spalt getrennt sind. Die im Ablenkbereich des Magneten entstehende Synchrotronstrahlung tritt aus dem Bereich der Kammer für den Elektronenstrahl aus und wird von einem separaten Absorber in der Vorkammer abgefangen. An dieser Stelle ist daher eine entsprechend hohe Pumpleistung installiert, um die durch die Synchrotronstrahlung desorbierte Gaslast abzupumpen. Bei ANKA sind pro Ablenkmagnet zwei solcher Absorber in Verbindung mit 500 l/s und 300 l/s Ionengetterpumpen installiert, die insgesamt 90% der Strahlleistung abfangen. Die verbleibenden 10% werden im weiteren Verlauf in den geraden Vakuumkammern direkt auf der Kammerwand absorbiert, wobei 150 l/s Ionengetterpumpen im Abstand von ca. 1,5 m zum Abpumpen verwendet werden. Abb. 2 zeigt in Draufsicht eine Vakuumkammer im Bereich des Ablenkmagneten mit den Vorkammern, sowie die sich anschließende gerade Kammer. Der Bereich eines Ablenkmagneten ist auf der Fotografie in Abb. 3 zu sehen.

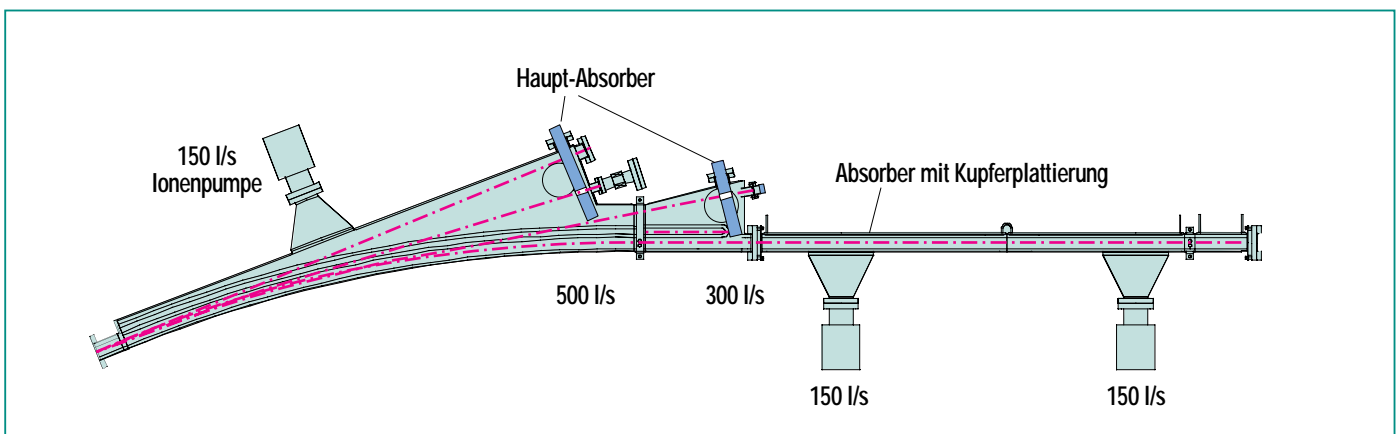


Abb. 2: Draufsicht auf die Vakuumkammer im Bereich des Ablenkmagneten, sowie auf die sich anschließende gerade Kammer.

Die Führungskammer für den Elektronenstrahl hat im gesamten Ring eine Höhe von 32 mm und eine Breite von 70 mm. Die großen Kammern im Bereich der Ablenkmagneten haben eine Länge von ca. 3 m, wobei die Breite an einem Ende auf bis zu 0,5 m zunimmt. Sie sind aus je einer oberen und unteren 3 mm dicken Platte gefertigt. Die Kammer für den Elektronenstrahl und die Vorkammer sind durch einen 15 mm hohen, 30 mm weiten Spalt getrennt, der durch Tiefziehen einer Rinne in die obere und untere Kammerhälfte erzeugt wurde. Wegen der großen Spannweite an dem einem Ende der Kammer sind hier Stützrippen an der Außenseite angebracht, um die Durchbiegung unter Vakuum auf $< 0,5$ mm zu reduzieren. Die Dimensionierung der Stützrippen erfolgte unter Verwendung eines Finite Elemente Programms ANSYS [2]. Alle Längsnähte wurden mit Elektronenstrahl verschweißt, alle anderen Nähte wurden ohne Füllmaterial WIG-verschweißt.

Zum Pumpen der Vakuumkammern werden bei ANKA kommerzielle Ionengetterpumpen eingesetzt. Ionengetterpumpen sind als Dioden und Trioden erhältlich. Dioden haben eine höhere Pumpleistung für die meisten Gase, Trioden haben dagegen den Vorteil, dass sie auch Edelgase pumpen. Da bei Synchrotron-Strahlungsquellen im wesentlichen nur mit dem Anfall von H_2 , CH_4 , CO und CO_2 zu rechnen ist, werden für ANKA Dioden verwendet. Die Verteilung der Pumpen und das zu erwartende Druckprofil wurden vorausgerechnet und optimiert. Abb. 4 zeigt die Anordnung der Pumpen im Bereich eines Quadranten von ANKA.



Abb. 3: Fotografie der Vakuumkammer im Bereich eines Ablenkmagneten.

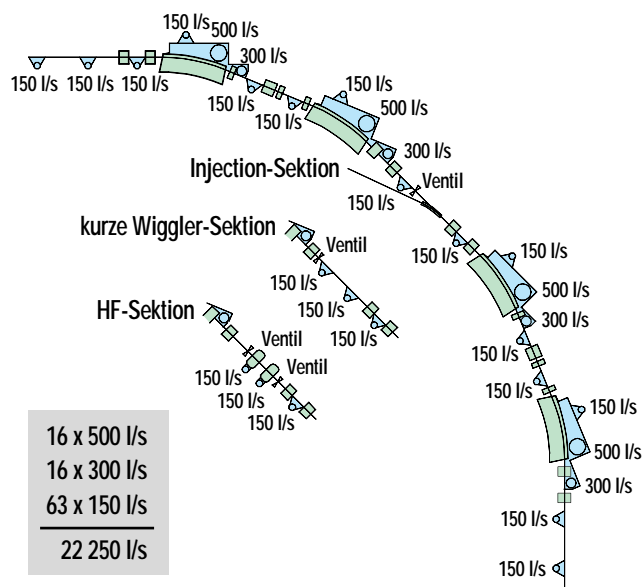


Abb. 4: Anordnung der Vakuumpumpen an einem Quadranten von ANKA.

Absorber

Die im Bereich der Ablenkmagneten abgestrahlte Synchrotronleistung ist gegeben durch

$$P[\text{W}] = 8,9 \times 10^4 (E [\text{GeV}])^4 I [\text{A}] / r[\text{m}]$$

Hierbei ist E die Energie des Elektronenstrahls, I dessen Stromstärke und r der Krümmungsradius der Bahn des Elektronenstrahls im Bereich der Ablenkmagnete. Für die Auslegung von ANKA ($E = 2,5 \text{ GeV}$, $I = 0,4 \text{ A}$, $r = 5,559 \text{ m}$) ergibt sich somit eine abzuführende Leistung von 250 kW. 90% dieser Leistung wird durch die 2×16 Absorber der Vakuumkammern im Bereich der Ablenkmagnete abgefangen. Pro Ablenkmagnet sind je zwei Absorber installiert. Hierdurch lässt sich die thermische Belastung besser zu verteilen (diese liegt bei 50 W/mm^2 im vorderen Teil des Absorbers, wo aus geometrischen Gründen die höchste Belastung auftritt. Weiterhin kann so eine hohe Pumpleistung effektiver installiert werden. Der Aufbau eines Absorbers ist in Abb. 5 wie-

dergegeben. Er besteht aus zwei gezahnten Kupferblöcken. Die Zahnung ermöglicht Ausdehnung und reduziert so thermische Spannungen bei Belastung. Die Kühlung erfolgt über Langlochbohrungen mit Innenrohr. Die Temperaturverteilung wurde ebenfalls mit dem Finite Elemente Programm (ANSYS) berechnet. Die auftretende Maximaltemperatur kann 260°C betragen. Mit den hierbei auftretenden Spannungen sollten dennoch bis zu 10^5 Zyklen möglich sein.

10% der Synchrotronstrahlung wird in der gekühlten Außenwand der gerade Vakuumkammern absorbiert. Die maximale Belastung liegt hier bei $2,5 \text{ W/mm}^2$ und reduziert sich mit dem Abstand vom Ablenkmagneten auf unter $0,5 \text{ W/mm}^2$. Thermische Berechnungen ergaben, dass die maximale Belastung für eine reine Edelstahlwandung zu hoch wäre. Die Kammer im ersten Abschnitt nach dem Ablenkmagneten wurde daher innen mit einer 3 mm starken Kupfer-Sprengplattierung versehen, die eine bessere Wärmeleitung und somit eine geringere Maximaltemperatur bewirkt.

Reinigung der Kammer

Die Kammern wurden beim Hersteller nach Fertigung im Ultraschallbad mit einem alkalischen Lösungsmittel gereinigt, mit entionisiertem Wasser gespült und getrocknet. Anschließend wurden die Kammern Vakuum gepumpt und bei 200°C ausgeheizt. Für die Abnahme wurde Leckdichtigkeit von $< 10^{-9} \text{ mbar l / s}$ und eine Abgasrate von $< 10^{-13} \text{ mbar l / (s cm}^2)$ gefordert.

Bei ANKA erfolgte die Montage der Pumpen, Absorber, Drucksensoren etc., danach erneutes Ausheizen, Lecksuchen, danach Belüften mit Stickstoff und Montage am Ring. Bei den meisten Speicherringen ist es üblich, die Kammern im Ring *in situ* auszuheizen. Aufgrund der Erfahrungen bei der Inbetriebnahme der Synchrotronstrahlungsquelle „ELETTRA“ [3] wurde dies bei ANKA aber nicht vorgesehen. Statt dessen wurde ganz auf die Reinigung durch die Synchrotronstrahlung selbst vertraut. Der Verzicht auf eine *in situ* Ausheizvorrichtung erlaubte geringere Polabstände der Ablenkmagneten und somit geringere Erregerströme, was die Betriebskosten entsprechend reduziert.

Eine weitere Möglichkeit der Vorbehandlung der Vakuumkammern ist die Reinigung durch Glimmentladung in Ar/O_2 oder He/O_2 , wie sie in Brookhaven und Daresbury angewandt wird. Die in Brookhaven durchgeführten Messungen mit Testkammern ergaben eine wesentlich niedrigere Desorptionsrate, der mittels Glimmentladung gereinigten Kammern, zu Beginn der Exposition,

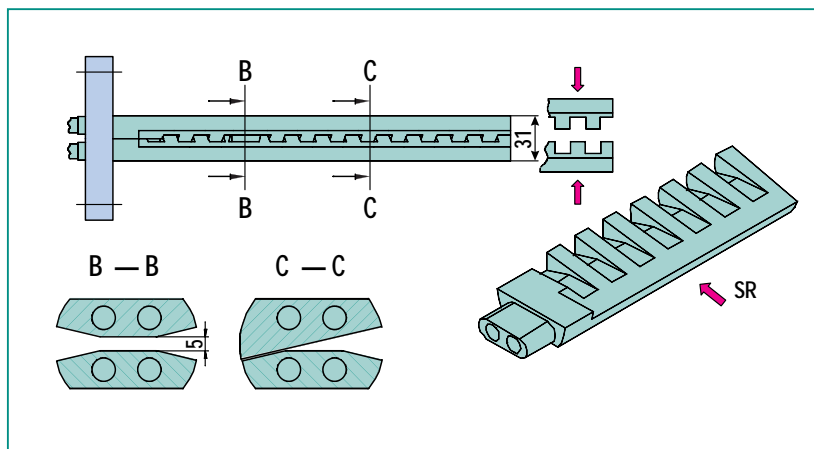


Abb. 5: Aufbau der Hauptabsorber für die Synchrotronstrahlung.

die sich nach einer Dosis von 10^{23} Photonen/m² (entsprechend 0,1 Ah bei 2.5 GeV), an die nicht mittels Glimmentladung gereinigten Kammern angleicht [4]. Messungen am CERN ergaben keinen Vorteil für diese Reinigungsmethode [5]. Um dies weiter zu untersuchen, wurden für ANKA einige Kammern zusätzlich zu Testzwecken in Daresbury mittels Glimmentladung gereinigt. Der Vergleich mit den anderen Kammern erbrachte keinen Unterschied in der Desorptionsrate.

Ergebnisse bei Inbetriebnahme der Anlage

Der Speicherring ist in 4 Sektoren eingeteilt, die durch Schieberventile voneinander getrennt werden können. Jeder Sektor wurde nach der Montage mit vier Turbopum-

pen evakuiert. Nach ca. 24 h wurde ein Druck von 10^{-7} mbar erreicht. Nach Einschalten der Ionengetterpumpen wurde nach weiteren 24 h ein Druck von 10^{-8} mbar erreicht, bis sich nach einer Woche ein Enddruck von 2×10^{-9} mbar einstellte. Bei Inbetriebnahme des Speicherrings (I ca. 5 mA) stieg der Druck auf bis zu 10^{-7} mbar an. In der Folgezeit wurde der Strom im Speicherring soweit erhöht, dass sich ein Druck von maximal 5×10^{-8} mbar einstellte. Durch die Einwirkung der Synchrotronstrahlung erniedrigte sich die Abgasrate der Kammern immer weiter, so dass sich der Druck bei vergleichbarer Stromstärke entsprechend verringerte und die Lebensdauer des Elektronenstrahls entsprechend zunahm. Die Entscheidung auf ein *in situ* Ausheizsystem zu verzichten erwies sich somit als richtig.

Literatur

- [1] O. Gröbner, A.G. Mathewson, H. Störi, P. Strubin, R. Souchet, *Vacuum* 41 (1990) 1928
- [2] www.cadfem.de/software/ansys
- [3] J. Miertusova, F. Giacuzzo, 5. EPAC (1996) i2527
- [4] C.L. Foester, *Synchrotron Radiation News* 11 (1998) 20
- [5] A.G. Mathewson, E. Alge, O. Gröbner, R. Souchet, P. Strubin, *J. Vac. Sci. Tech. A* 5(1987)2512