

Entwurf und Aufbau des Speicherringes ANKA

D. Einfeld, FGS

Entwurf des Speicherringes ANKA

Anforderungen der Nutzer

Der Entwurf des Speicherringes ANKA ist durch die Anforderungen der Nutzer bestimmt. Bei ANKA sind dies die Anforderungen der Mikrofertigung und der Analytik. Die Mikrofertigung führt am Speicherring ANKA den Fertigungsabschnitt der Belichtung der Wafer durch und hierfür benötigt sie ein homogen ausgeleuchtetes Feld von Photonen mit einer Wellenlänge von 0,1 nm. Dies entspricht einer Photonenenergie von 12,4 keV. Die Anforderungen der Analytik sind gegeben durch die Elemente, die in den verschiedensten Verbindungen untersucht werden sollen. Hierbei wird die Photonenenergie herangezogen, die benötigt wird, um ein Elektron der K-Schale zu befreien (K_{α} -Strahlung). Bei Silber und Cadmium beträgt diese

Energie zum Beispiel 22,17 bzw. 23,17 keV. Entgegengesetzt dazu werden im Umweltbereich Photonen im Infrarotbereich benötigt. Die Synchrotronstrahlungsquelle ANKA muss somit Photonen im Energiebereich von einigen meV bis etwa 25 keV bereitstellen.

Elektronen, die mit relativistischer Geschwindigkeit in einem Magnetfeld abgelenkt werden, emittieren die sogenannte Synchrotronstrahlung. Diese besitzt ein kontinuierliches Spektrum vom Infrarot bis zum Röntgenbereich und der vertikale Öffnungswinkel dieser Strahlung ist sehr klein und entspricht dem des Lasers.

Für den Experimentator mit der Synchrotronstrahlung ist wichtig, wie groß die Zahl der Photonen pro Zeiteinheit ($\dot{N}_{\Delta\lambda}$) und Auflösung (0,1 % BW) am Experimentierort ist. Diese berechnen sich

nach der Schwinger-Theorie [2] zu:

$$\dot{N}_{\Delta\lambda} = 2,458 \cdot 10^{13} \frac{\text{Photonen}}{\text{s} \cdot 0,1\% \text{BW} \cdot \text{mrad} \Theta} (E/\text{GeV}) \cdot (I/A) \cdot (\Theta/\text{mrad}) \cdot G_1(\epsilon/\epsilon_0) \quad (1)$$

$\dot{N}_{\Delta\lambda}$ ist die Zahl der Photonen, die pro Sekunde und 0,1 % Bandbreite in den horizontalen Öffnungswinkel von $\Theta = 1$ mrad emittiert werden. E ist die Energie der Elektronen in GeV, I ist der zirkulierende Elektronenstrom in A, Θ ist der horizontale Öffnungswinkel in mrad und $G_1(\epsilon/\epsilon_0)$ beschreibt die spektrale Abhängigkeit der Strahlung. Dies ist eine normierte Funktion, die durch die kritische Photonenenergie ϵ_c gegeben ist. In Abb. 1 ist der Photonfluss $\dot{N}_{\Delta\lambda}$ für verschiedene Energien am Beispiel des Speicherringes ANKA dargestellt. Jeweils angegeben sind die kritische Photonenenergie ϵ_c , die per Definition das Spektrum so aufteilte, dass oberhalb und unterhalb von ihr die gleiche Strahlungsleistung emittiert wird. Die Photonenenergie, bei der der höchste Photonfluss emittiert wird, liegt in etwa bei $\epsilon_{\text{max}} = 0,8 \epsilon_c$. Der Photonfluss nimmt oberhalb von ϵ_c stark ab und als Daumenregel kann angenommen werden, dass eine Synchrotronstrahlungsanlage bis zu Photonenenergien von 3 bis 4 mal ϵ_c genutzt werden kann. Die kritische Photonenenergie bei ANKA muss somit bei einer Energie von 2,5 GeV um 6,2 keV liegen.

Die Abhängigkeit der kritischen Photonenenergie von den Ma-

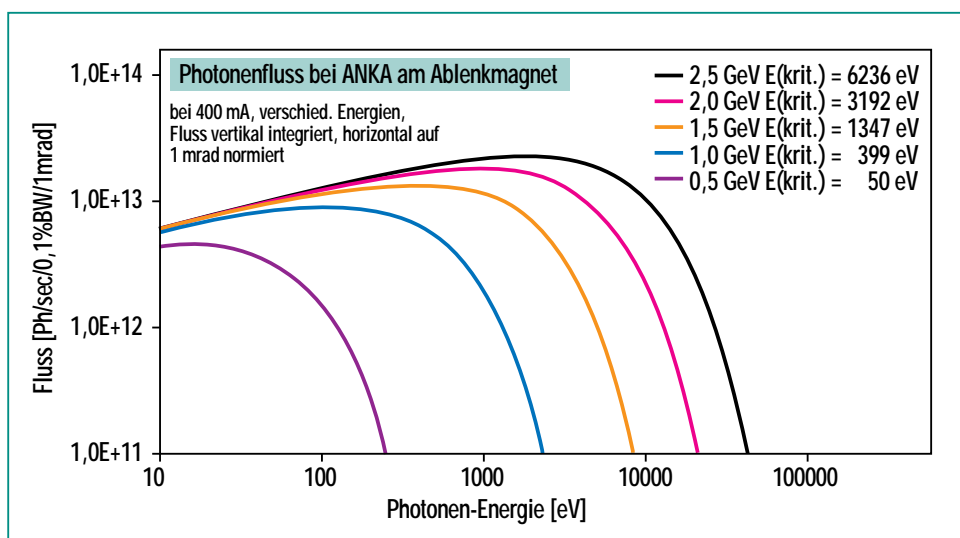


Abb. 1: Photonfluss der Synchrotronstrahlung eines 400-mA-Elektronenstromes abgelenkt im Magneten des Speicherringes ANKA bei den Energien von 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 und 2,5 GeV. Die entsprechenden kritischen Photonenenergien sind angegeben.

schienenparametern wie Energie (E) und magnetischer Flussdichte (B) im Ablenkmagneten ist gegeben durch:

$$\epsilon_c = 0,605 \text{ keV} \cdot (E/\text{GeV})^2 \cdot (B/\text{T}) \quad (2)$$

Um ein möglichst großes ϵ_c zu bekommen, wird die magnetische Flussdichte möglichst groß gewählt. Aufgrund des Betriebes der bereits vorhandenen Anlagen [3] liegt die maximale Flussdichte bei 1,4 bis 1,6 Tesla; für ANKA wurde ein Wert von $B_0 = 1,5 \text{ T}$ festgelegt. Somit ergibt sich für ANKA eine Endenergie von 2,5 GeV zur Erreichung einer kritischen Photonenenergie von 6,23 keV.

Brillanz der Synchrotronstrahlung

Für die analytische Nutzung von ANKA kommt zusätzlich noch die Forderung hinzu, dass die Brillanz der Strahlung möglichst groß sein sollte. Die Brillanz ist ein auf den Strahlquerschnitt und die Strahldivergenz bezogener Photonenfluss:

$$BI = \frac{\dot{N}_{\Delta\lambda}}{4 \cdot \pi^2 \Sigma_x \Sigma_y \cdot \Sigma'_x \Sigma'_y} \quad (3)$$

Σ_x, Σ_y sind die Standardabweichungen der Querschnitte des Elektronenstrahles und Σ'_x, Σ'_y sind die der Divergenz. Der Faktor $4\pi^2$ in Gleichung (3) ist dadurch gegeben, daß die RMS-Werte der entsprechenden Größen verwendet werden.

Die Strahlquerschnitte und die Divergenzen des Elektronenstrahles werden durch die Maschinenfunktionen (Beta- (β_x, β_y) und Disper-

sionsfunktion (η_x)) im Ring beschrieben:

$$\Sigma_x = \sqrt{\epsilon_x \beta_x + \sigma_\epsilon^2 \eta_x^2} \quad \text{und} \quad \Sigma_y = \sqrt{\epsilon_y \beta_y} \quad (4)$$

$$\Sigma'_x = \sqrt{\epsilon_x \cdot \gamma_x + \sigma_\epsilon^2 \eta_x'^2} \quad \text{und} \quad \Sigma'_y = \sqrt{\epsilon_y \gamma_y} \quad (5)$$

In den Gleichungen (4) und (5) werden folgende Abkürzungen verwendet:

$$\gamma_{x,y} = \frac{1 + \alpha_{x,y}^2}{\beta_{x,y}}, \quad \alpha_{x,y} = -\frac{1}{2} \beta'_{x,y} \quad \text{und} \quad \epsilon_y = \frac{\kappa \cdot \epsilon_x}{1 + \kappa} \quad (6)$$

Wichtig zur Beschreibung des Strahlverhaltens in dem Be-

schleuniger ist die sogenannte H-Funktion:

$$H = \gamma_x \eta_x^2 + 2\alpha_x \eta_x \eta'_x + \beta_x \eta_x'^2 \quad (7)$$

Die Emittanz ϵ_x des Elektronenstrahles (siehe Gleichung 4 und 5) ist gegeben durch die Integration der H-Funktion über die Ablenkmagnete. Alle Gleichungen (4, 5, 6 und 7), die das Verhalten im Speicherring beschreiben, sind durch die Beta- (β_x) und die Dispersionsfunktion (η_x) gegeben. Die Betafunktion beschreibt die Einhüllende aller Betatronschwingungen in der Maschine [4] und die Dispersionsfunktion die Verschiebungen der Betatronschwingungen bei Energieänderungen ($\sigma_E = \Delta E/E$) des Strahles. Die Maschinenfunktionen von ANKA sind in Abb. 2 dargestellt. Eine Dispersionsfunktion tritt nur

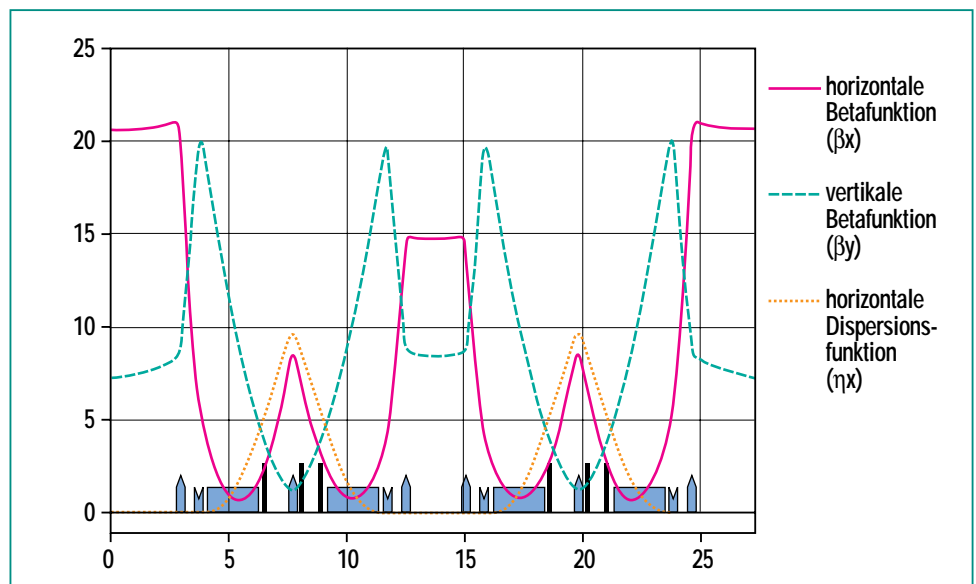


Abb. 2: Die Maschinenfunktionen (Betafunktion β_x, β_y) und Dispersionsfunktion (ϵ_x) in der Einheitszelle des Speicherringes ANKA. Die auf der Abzisse dargestellten Symbole charakterisieren die Magnete. Die dicken Striche sollen die Sextupole darstellen. Deutlich ist die klassische DBA-Struktur zu erkennen, bei der in den langen geraden Strecken, d. h. außerhalb der Ablenkmagnete, die Dispersionsfunktion null ist.

in der Richtung auf, in der der Strahl abgelenkt wird. Bei ANKA ist es die horizontale Richtung.

Die Forderung nach einer hohen Brillanz (siehe Gleichung 3) wird dann erfüllt, wenn die Querschnitte und die Divergenzen des Elektronenstrahles möglichst klein sind. Dies bedeutet aber aufgrund der Gleichungen [4] bis [7], dass die H-Funktion des Speicherringes möglichst klein sein sollte. Ein Minimum der H-Funktion wird erreicht, wenn in den Ablenkmagneten sowohl die Beta- als auch die Dispersionsfunktion ein Minimum durchlaufen und hier ganz bestimmte Werte annehmen. Abweichungen hiervon führen zu größeren H-Werten und somit größeren Emittanzen. Weiterhin gilt in erster Näherung, dass die Emittanz proportional zur dritten Potenz des Ablenkwinkels (α^3) der Ablenkmagnete und zum Quadrat der Energie (E^2) ansteigt.

Wiggler und Undulatoren

Eine hohe Brillanz kann andererseits auch dadurch erzeugt werden, dass man den Photonenfluss $\dot{N}_{\Delta\lambda}$ in Gleichung 3 erhöht. Dies geschieht dadurch, dass spezielle Ablenkmagnete (wie Wiggler [5]) gebaut werden, in denen der Elektronenstrahl mehrere Male (entsprechend der vorhandenen Pole (N_p)) abgelenkt wird. Der Elektronenstrahl durchläuft in dem Wiggler eine Bahn, die einer Sinusschwingung entspricht. Der Photonenfluss und somit auch die Brillanz bei einem Wiggler sind proportional der Anzahl der Pole N_p . Mit den Wigglern ist es möglich, die Brillanz

um den Faktor 10 bis 40 zu erhöhen und zwar entsprechend der Länge des Wigglers.

Wird die Amplitude der Elektronenbahn in dem Wiggler sehr klein, so kommt es zu Interferenzeffekten der Synchrotronstrahlung und man spricht von den Undulatoren [5]. Hierdurch wird die Intensität und damit die Brillanz um mehrere Zehnerpotenzen erhöht.

Die modernsten Synchrotronstrahlungsquellen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie 1. eine kleine Emittanz und 2. lange gerade Strecken zum Einbau von Wigglern und Undulatoren haben. Wiggler und Undulatoren werden gemeinsam auch als Insertion Devices bezeichnet. Entsprechend der Anzahl M der Insertion Devices bzw. der langen geraden Strecken wird der Speicherring M -mal periodisch aufgebaut. Der Bereich innerhalb einer Periode wird als Einheitszelle des Speicherringes bezeichnet. Insgesamt folgt aus diesen Betrachtungen, dass zur Erreichung einer hohen Brillanz viele kleine Ablenkmagnete und viele lange gerade Strecken zum Einbau von Insertion Devices benötigt werden, d. h. je größer die Brillanz, um so größer wird der Umfang der Maschine sein. Entsprechend steigen mit der gewünschten Brillanz auch die Kosten der Anlage. Aufgrund des begrenzten Finanzrahmens musste für ANKA ein Kompromiss gefunden werden. Dieser sieht so aus, dass die Maschine den Spektralbereich bis zu 25 keV abzudecken ($E = 2,5$ GeV) und einen hohen Photonenfluss zu liefern hat ($I = 400$ mA). Für die Brillanz werden mittlere

Werte gefordert und zwar entsprechend einem Umfang der Maschine von 110 m. Mit diesem Umfang sollten Emittanzen von 50 bis 100 nm · rad erzeugt werden können. Die Hauptparameter des Speicherringes ANKA sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Konzept des Speicherringes ANKA

Zur Erzeugung von Emittanzen von 50 bis 100 nm · rad bei einer Energie von 2,5 GeV werden Magnete mit einer Ablenkung von 22,5 Grad benötigt. Ein optimaler Verlauf der Maschinenfunktion (siehe Abb. 2) ergibt sich, wenn zwischen 2 Ablenkmagneten ein in horizontaler Richtung fokussierender Quadrupol (Q_3) plaziert wird. Hiermit ist es möglich, in den anliegenden geraden Strecken die Dispersionsfunktion zu null zu machen, d. h. Elektronen mit unterschiedlicher Energie durchlaufen hier dieselbe Bahn. Durch den Einbau von Quadrupoldoublets Q_1 und Q_2 auf beiden Seiten der Ablenkmagnete ergibt sich die klassische „Double-Bend-Achromat (DBA)“-Struktur, die beim Aufbau von vielen Synchrotronstrahlungsquellen verwendet wurde [3]. Die Einheitszelle vom Speicherring ANKA ist schematisch in Abb. 3 dargestellt; sie erstreckt sich über einen Winkel von 90 Grad. Zur Optimierung des Umfanges werden bei ANKA in den Speicherring zwei unterschiedlich lange gerade Strecken eingebaut. Die „kurzen“, um gerade die benötigten Komponenten wie Hochfrequenzresonatoren und Injektionssystem unterzubringen, und die „langen“, die für den späteren Einbau von Undula-

toren und Wiggler vorgesehen sind. Wegen der unterschiedlichen Längen der geraden Stücke sind die Quadrupoldoublets in der Einheitszelle mechanisch identisch aufgebaut, jedoch werden sie mit unterschiedlichen Strömen betrieben und somit befinden sich in der Einheitszelle die Doublets Q_1/Q_2 und Q_4/Q_5 .

Aufbau der Speicherringanlage

Aufbau der Speicherringanlage

Der Aufbau der Speicherringanlage ANKA ist in Abb. 4 wiedergegeben. Die eigentliche Speicherringhalle hat eine Fläche von 60 x 60 m. Im Norden befindet sich ein Anbau, der die Räumlichkeiten für den Betrieb der Anlage und die Zuführung der Medien enthält. Die Speicherringhalle wird durch die Strahlenschutzmauer in zwei Bereiche aufgeteilt; den inneren Bereich, in dem die Synchrotronstrahlung erzeugt und den äußeren Bereich, in dem die Synchrotronstrahlung genutzt wird.

Die Elektronen werden im Mikrotron erzeugt und in diesem auf eine Energie von 53 MeV beschleunigt. Im Booster-Synchrotron passiert der 2. Beschleunigungsprozess und zwar auf eine Energie von 500 MeV. Der Strom im Booster-Synchrotron beträgt im Mittel 5 bis 8 mA. Entsprechend den Umfängen vom Booster-Synchrotron und Speicherring reduziert sich dieser Strom im Speicherring um den Faktor 7. Vom Booster-Synchrotron werden solange Elektronen in den Speicherring injiziert,

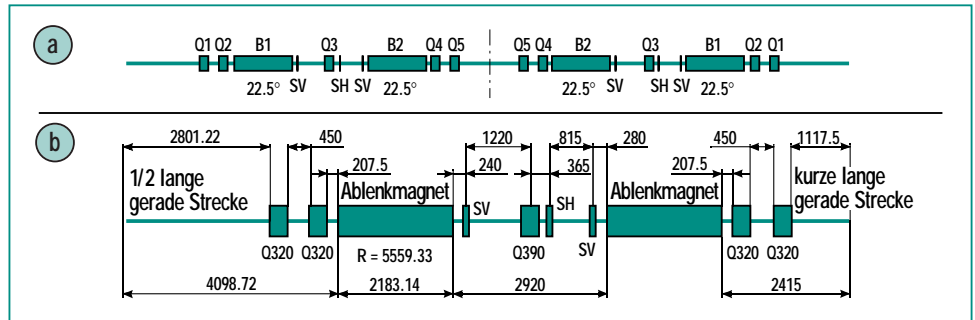


Abb. 3: Schematischer Aufbau des Speicherrings ANKA durch Darstellung der Einheitszelle (a), die einen Winkel von 90 Grad umspannt. Im unteren Bild (b) sind die Positionen der Magnete und ihre Abmaße in einer halben Einheitszelle dargestellt.

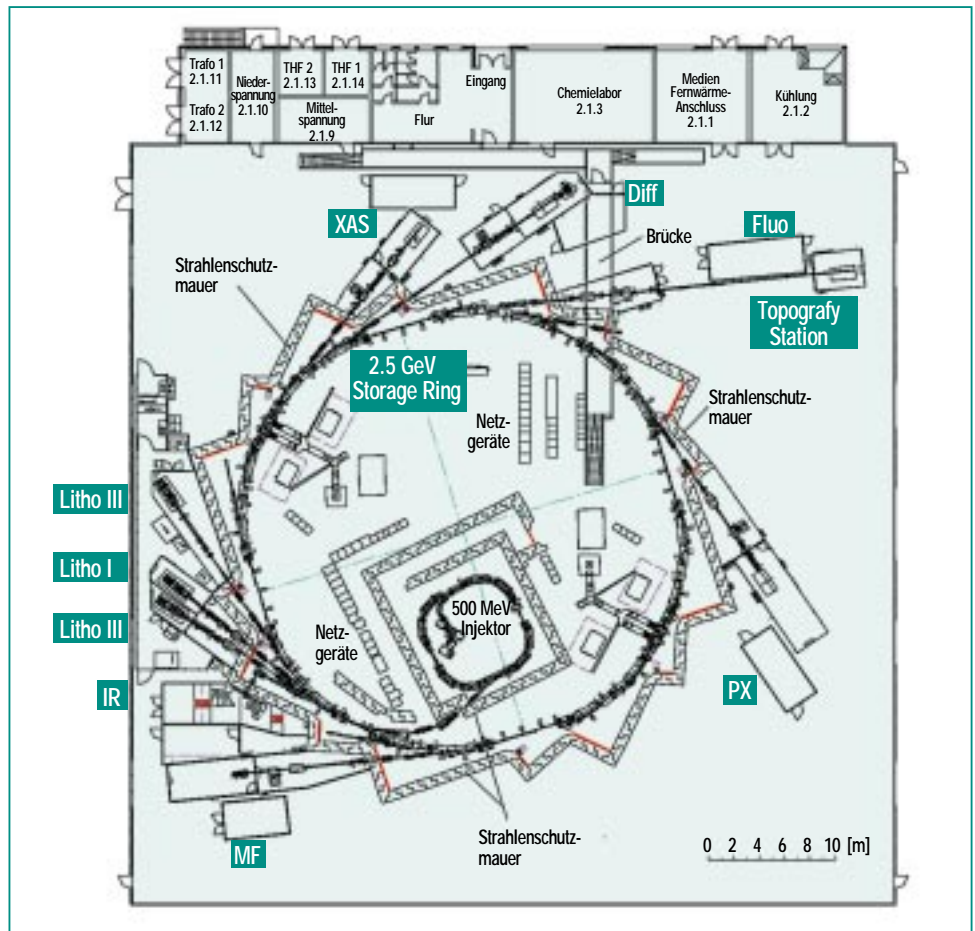


Abb. 4: Aufbau der Speicherringanlage ANKA mit der Speicherringhalle und dem Nordanbau. In der Speicherringhalle befindet sich die Beschleunigeranlage mit Injektor und Speicherring sowie die verschiedenen Experimentier-einrichtungen für die Analytik und Mikrostrukturtechnik. Der Nordanbau umfasst im wesentlichen die Räume für die Medienversorgung und den Betrieb der Maschine.

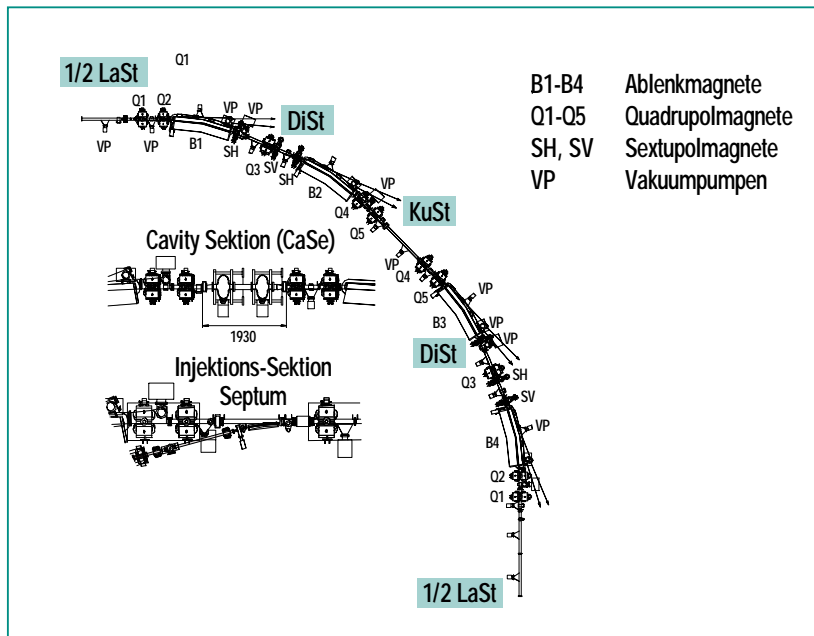


Abb. 5: Aufbau der Einheitszelle des Speicherringes ANKA mit der dispersiven Strecke DiSt, bestehend aus den Ablenkmagneten B_1/B_2 sowie B_3/B_4 , und den Quadrupoldoublets Q_1/Q_2 sowie Q_3/Q_4 . Am Anfang und Ende der Einheitszelle befinden sich die langen geraden Strecken und in der Mitte die kurze gerade Strecke zur Unterbringung der Injektion und der Hochfrequenzresonatoren. Dargestellt sind auch die Positionen der Vakuumpumpen V_P .

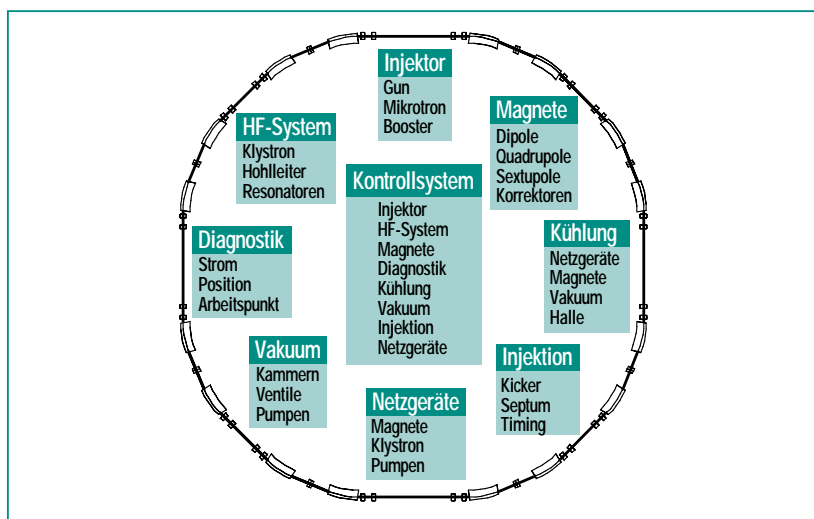


Abb. 6: Darstellung der Hauptkomponenten des Speicherringes ANKA mit den dazugehörigen Subsystemen. Die Hauptkomponenten des Speicherringes sind Injektor, HF-System, Magnete, Vakuumsystem, Injektion, Netzgeräte, Kühlung und Kontrollsystem.

bis insgesamt ein Strom von 200 bis 400 mA im Speicherring akkumuliert wurde. Danach wird die Energie der Elektronen im Speicherring im 3. Beschleunigungsprozess von 500 MeV auf 2,5 GeV erhöht.

An den Vakuorkammern in den Ablenkmagneten sind spezielle Auslasssysteme eingebaut, um die Experimentierstationen über die Optikhütte und das Frontend an das Vakuumsystem des Speicherringes anzufanschen.

Aufbau des Speicherringes

Der reale magnetische Aufbau der Einheitszelle des Speicherringes ANKA ist in Abb. 5 dargestellt, hierbei symbolisieren die Pfeile die anzuflanschen Strahlrohre für die Experimente. Von den 4 kurzen geraden Strecken (KuSt) werden 2 benutzt zum Einbau von jeweils 2 Hochfrequenzresonatoren (Cavities) und dem Injektionssystem. Die Zusammenstellung der Hauptkomponenten mit den entsprechenden Subsystemen ist in Abb. 6 dargestellt. Im folgenden sollen diese Komponenten näher beschrieben werden. Die entsprechenden Subsysteme sind jeweils mit angegeben. Über das Kontrollsystem hat man Zugriff auf alle Komponenten und ihre Subsysteme.

Ablenkmagnete

Bei ANKA werden insgesamt 16 Ablenkmagnete mit einem Ablenkradius von 5,56 m und einem Ablenkwinkel von $22,5^\circ$ benötigt. Zur Erreichung der Funktionsfähigkeit des Speicherringes müssen die Ablenkmagnete spezielle Anforderungen an die Ho-

mogenität des Magnetfeldes erfüllen, so darf sich das Magnetfeld in horizontaler Richtung über einen Bereich von ± 25 mm nicht mehr als $\Delta B/B = 5 \cdot 10^{-4}$ und das Integral des Magnetfeldes in Längsrichtung nicht mehr als $\Delta I/I = 1 \cdot 10^{-3}$ verändern. Zur Erzeugung einer magnetischen Flussdichte von 1,5 T wird der Magnet mit einer Erregung aus 80 Windungen und einem Strom von 687 A betrieben. Die Verlustleistung bei einem Ablenkmagneten beträgt 17 kW. Diese wird über einen Kühlkreislauf abgeführt.

Quadrupole

Die Quadrupole dienen zur Fokussierung des im Speicherring ANKA umlaufenden Elektronenstrahls und haben eine Wirkung auf den Elektronenstrahl wie Linsen in der Optik auf den Lichtstrahl. Anders als in der Optik fokussiert der Quadrupol in einer Richtung und defokussiert in der anderen. Bei ANKA gibt es zwei Typen von Quadrupolen, die sich jedoch nur in der magnetischen Länge unterscheiden (390 und 320 mm). Die Quadrupole werden mit einem maximalen Gradienten von 18,9 bzw. 19,8 T/m betrieben, zu dessen Erzeugung bei 30 Windungen pro Pol ein Strom von 325 bzw. 384 A benötigt wird.

Sextupole

Die im Speicherring umlaufenden Elektronen haben nicht alle exakt die gleiche Energie; sie werden somit in den Quadrupolen unterschiedlich stark fokussiert. Dies wird durch die Chromatizität beschrieben. Zur Kompensation der Chromatizität werden Sextupole benötigt. Insgesamt werden bei ANKA zwei Typen von Sextupolen eingesetzt, einer zur Kompen-

sation der Chromatizität in horizontaler und der andere in vertikaler Richtung (siehe SH und SV in Abb. 5).

Korrekturmagnete

Sowohl die Ablenkmagnete als auch die Quadrupole haben gewisse Abweichungen von ihren Spezifikationen, die zu einer ungewünschten Strahlablage im Speicherring führen. Jegliche Abweichungen von der idealen Bahn des Elektronenstrahles sind von den Experimentatoren unerwünscht wegen der Abbildung des Elektronenstrahles auf den Eingangsspalt des Monochromators. Zur Korrektur dieser Ablagen werden die Korrekturmagnete benötigt. Diese Magnete müssen bei ANKA einen Kick von maximal 0,8 mrad erzeugen. Insgesamt werden 32 horizontal- und 16 vertikalwirkende Korrekturmagnete benötigt.

Vakuumsystem

Zur Speicherung des Elektronenstrahls und zur Erreichung einer ausreichenden Lebensdauer des Strahles müssen die Elektronen in einem Ultra-Hochvakuum umlaufen. Zur Erzeugung einer Lebensdauer von 17 Stunden bei einer Energie von 2,5 GeV muss der Druck geringer als 10^{-9} mbar sein. Dieses Ultra-Hochvakuum wird in einer speziellen Vakuumkammer, gefertigt aus Edelstahl, mit einer Anzahl von Vakuumpumpen erzeugt. Das Vakuumsystem bei ANKA besteht aus den 16 Dipolkammern und diversen geraden Sektionen für die geraden Strecken im Ring.

Netzgeräte

Zum Betrieb der verschiedenen Magnete werden hochpräzise

Netzgeräte benötigt. Es sind Gleichstromnetzgeräte mit einer Genauigkeit von besser als 10^{-4} . Insgesamt werden 1 Netzgerät zum Betrieb der Ablenkmagnete, 5 zum Betrieb der Quadrupole, 2 zum Betrieb der Sextupole und 48 für die Korrekturmagnete benötigt. Weiterhin werden 400-kW-Netzgeräte zum Betrieb des Klystrons und Hochspannungsnetzgeräte zum Betrieb der Vakuumpumpen benötigt.

Hochfrequenzsystem

Die im Speicherring mit relativistischer Geschwindigkeit umlaufenden Elektronen werden in den Ablenkmagneten radial beschleunigt und emittieren hierdurch die sogenannte Synchrotronstrahlung. Der hierfür auftretende Energieverlust muss den Elektronen permanent nachgeliefert werden. Dies wird in den Hohlraumresonatoren (Cavities) durchgeführt. Insgesamt werden bei ANKA 4 Cavities installiert und zwar in Zweier-Gruppen. Zwei Cavities werden über ein gemeinsames Hohlleitersystem von einem 250 kW-Klystron betrieben. In einem Cavity können bis zu 500 kV erzeugt werden, d. h. insgesamt steht bei ANKA eine Beschleunigungsspannung von 2,0 MV zur Verfügung.

Diagnostik

Mit den Diagnostikelementen wie Strom-, Knopfmonitor, Stripline, Scraper und Synchrotronlichtmonitor werden die charakteristischen Daten des Elektronenstrahles (wie z. B. Strom, Position, Arbeitspunkt, Querschnitt, Beta- und Dispersionsfunktion) im Speicherring gemessen und überwacht. Insbesondere muss die Strahlposition konstant gehalten

Parameter	Einheit	h-Optik	f-Optik
Umfang	m	110,4	
Hochfrequenz	MHz	500	
Harmonischenzahl	184		
Injektionsenergie der Teilchen	MeV	500	
Endenergie der Teilchen	GeV	2,5	
Umlaufender Strom	mA	400	
Relative Energieabweichung		$0,91 \cdot 10^{-3}$	
Horizontale Emittanz	μmrad	0,075	0,089
Horizontaler Arbeitspunkt		7,15	6,85
Vertikaler Arbeitspunkt		3,15	3,25
Horizontale Betafunktion	m	0,56 – 21,38	0,75 – 21,38
Vertikale Betafunktion	m	1,3 – 18,76	1,2 – 18,45
Horizontale Dispersion	m	0,969	
Momentum Compaction Factor		$0,8 \cdot 10^{-2}$	
Horizontale Dämpfungszeit	ms	0,029	
Vertikale Dämpfungszeit	ms	0,03	
Longitudinale Dämpfungszeit	ms	0,015	

Dipolmagnete		
Anzahl		16
Ablenkwinkel	°	22,5
Gap (good field region)	mm	40
Polbreite (good field region)	mm	100
Feldstärke	T	1,5
Ablenkradius	m	5,5593

Quadrupolmagnete		Typ 390	Typ 320
Anzahl		8	32
Magnetische Länge	mm	390	320
Gradient	T/m	18,9	19,8
Windungen pro Pol		30	26
Aperturradius	mm	35	
Polbreite	mm	60,0 – 88,0	

Sextupolmagnete		Typ SH	Typ SV
Anzahl		8	16
Magnetische Länge	mm	145	
Differentieller Gradient	T/m ²	734	619
Windungen pro Pol		20	18
Aperturradius	mm	37,5	
Polbreite	mm	80	

Tab. 1: Parameter des ANKA-Speicherringes

ten werden. Von den Nutzern wird diesbezüglich gefordert, dass über einen längeren Zeitraum die Strahlposition über 1/10 des Strahlquerschnitts konstant bleibt (bei ANKA sind dies etwa 15 bis 30 μm).

Kontrollsystem

Die Steuerung der gesamten Beschleunigeranlage geschieht durch das Kontrollsystem. Dieses besteht aus Rechnern im Kontrollraum (Schaltwarte), den dezentralen Rechnern an den verschiedenen Komponenten und dem Netzwerk, das alle Rechner miteinander verbindet. Mit dem Kontrollsystem muss es auch möglich sein, Zugriff auf alle Funktionen der verschiedensten Elemente des Speicherringes zu haben und diese grafisch darzustellen.

Aufbau des Injektors

Zur Erzeugung der gewünschten Synchrotronstrahlung müssen die Elektronen eine Energie von 2,5 GeV erreichen. Im Speicherring selbst werden die Elektronen von 0,5 GeV auf 2,5 GeV beschleunigt. Die Energie der Elektronen in einem Beschleuniger ist bestimmt durch das Umlaufintegral über die magnetische Flussdichte. 16 Ablenkmagnete mit einer Flussdichte von 1,5 T entsprechen 2,5 GeV. Die Beschleunigung von 0,5 GeV auf 2,5 GeV wird dadurch erreicht, dass die Flussdichte in den Ablenkmagneten von 0,3 T auf 1,5 T erhöht wird. Parallel zur Zunahme des Magnetfeldes in den Ablenkmagneten müssen natürlich auch die Felder in den Quadrupolen, Sextupolen und Korrekturmagneten erhöht werden.

Die Beschleunigung der Elektronen auf eine Energie von 0,5 GeV bzw. 500 MeV geschieht in dem Injektor, der im Inneren des Speicherringes angebracht ist. Der Injektor besteht aus den Komponenten Elektronenkanone, 50-MeV-Racetrack-Mikrotron, Injektionsweg in das Booster-Synchrotron, Booster-Synchrotron und Extraktionsweg vom Booster-Synchrotron zum Speicherring. In der Elektronenkanone werden Elektronen mit einer Energie von 70 keV erzeugt und in dem Linac des Racetrack-Microtrons auf 5,3 MeV beschleunigt. In dem Racetrack-Mikrotron durchlaufen die Elektronen 10 mal den Linac und werden auf insgesamt 53 MeV beschleunigt. Von hier gelangen die Elektronen über den Transferweg und das Injektionssystem in das Booster-Synchrotron, in dem die Elektronen in 350 ms auf eine Energie von 500 MeV beschleunigt werden. Über schnelle Extraktionskicker gelangen die Elektronen in den Extraktions-Transferweg, von dem sie dann in den Speicherring eingeschossen werden. Die Transferwege sind statisch auf die entsprechenden Energien eingestellt. Elektronenkanone,

Mikrotron und Booster arbeiten mit einer Frequenz von 1 Hz, d. h. in jeder Sekunde wird in den Speicherring ein Elektronenpuls mit einer Länge von ca. 50 ns und einem Strom von 5 mA eingeschossen. Der Umfang im Speicherring beträgt 110,4 m entsprechend einer Umlaufzeit von 368 ns. Entsprechend diesen Umlaufzeiten verringert sich ein vom Booster-Synchrotron eingeschossener 5-mA-Strahl zu 0,67 mA im Speicherring.

Zusammenfassung

Die Hauptanwendungsgebiete der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA werden die Belichtung der Wafer für die Ligatechnik und analytische Untersuchungen in Wissenschaft und Technik sein. Hierfür wird ein Photonenpektrum bis zu 30 keV zur Verfügung gestellt bei Emittanzen von 50 bis 100 nm · rad. Mit einem zirkulierenden Strom von 400 mA soll ein hoher Photonenfluss zur Verfügung gestellt werden. Der Speicherring ANKA ist ein Beschleuniger mit einer Energie von 2,5 GeV und einem Umfang von 110,4 m. Die Magnetoptik für ANKA ist eine DBA-Struktur, die oft

bei Synchrotronstrahlungsquellen verwendet wird. ANKA hat insgesamt 16 Ablenkmagnete, 4 lange gerade Strecken für einen weiteren Ausbau mit „Insertion Devices“ und 4 kleine gerade Strecken für die Unterbringung der Hochfrequenzcavities und des Injektionssystems. Der Injektor von ANKA ist ein 500-MeV-Booster-Synchrotron mit einem 53-MeV-Racetrack-Mikrotron als Vorbeschleuniger. Die Wiederholfrequenz des Injektors beträgt 1 Hz. Zur Zeit werden bei ANKA 9 Strahlrohre bzw. Experimentierstationen aufgebaut: Liga I, II und III, Absorption, Diffraktion, Fluoreszenz plus Topographie, Infrarot und ein Strahlrohr für die Max-Planck-Gesellschaft. Alle diese Strahlrohre nutzen die Synchrotronstrahlung von den Ablenkmagneten.

Literatur

- [1] Kwang-Je Kim, *Characteristics of synchrotron radiation, AIP conference proceedings 184, 1989*
- [2] J. Schwinger, *On the Classical Radiation of Accelerated Electrons, Phys. Rev. 75, 1912 (1949)*
- [3] J. Murphy, *Data Book of Synchrotron Light Sources, NSLS/BNL, BNL 42333, Version 4*
- [4] H. Wiedemann, *Particle Accelerator Physics, Springer-Verlag, ISBN 3-540-56550-7*
- [5] R. Walker, *Insertion Devices: Undulators and Wigglers, CAS-CERN ACCELERATOR SCHOOL, CERN 98-04, 3. August 1998*