

BESSY

- Service für Forschung und Entwicklung -



BESSY in Berlin-Adlershof



Die wichtigsten Parameter von BESSY :

Elektronenenergie (GeV)	1,7
Ringumfang (m)	240
Emittanz (horizontal) (rad.m)	$6 \cdot 10^{-9}$
Anzahl von Dipolen / Quadrupolen / Sextupolen	32 / 144 / 112
Gerade Stücke	16
Strahlrohre: Dipole	ca. 40
Strahlrohre: Wiggler, Undulatoren, Wellenlängenschieber	ca. 30
Brillanz in $\frac{\text{Photonen}}{\text{sec mm}^2 \text{mrad}^{20,1} \% \text{ BW}^*}$	$1 \cdot 10^{18}$

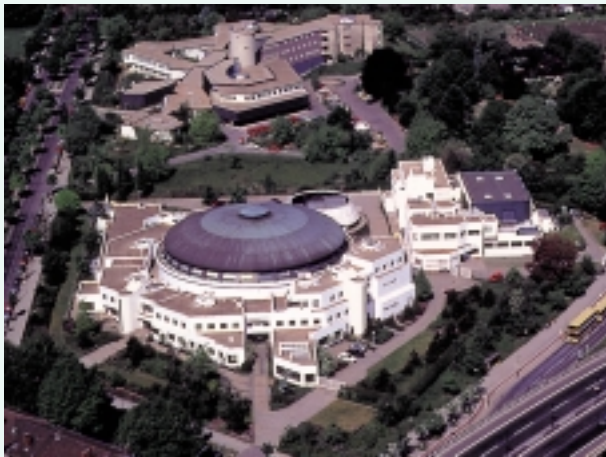
* BW: Spektrale Bandbreite

Gesellschafter

- ❑ Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. (MPG)
- ❑ Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH (HMI)
- ❑ Deutsches Elektronen-Synchrotron Hamburg (DESY)
- ❑ Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG)
- ❑ Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt (FZK)
- ❑ Forschungszentrum Jülich GmbH
- ❑ Siemens AG München

BESSY- Historie

BESSY, die Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung mbH, wurde 1979 gegründet. Seit 1982 betreibt BESSY die Speicherringanlage in Berlin-Wilmersdorf als nutzerorientierte Strahlungsquelle im Vakuum-Ultravioletten(VUV)- und weichen Röntgen(XUV)-Spektralbereich.

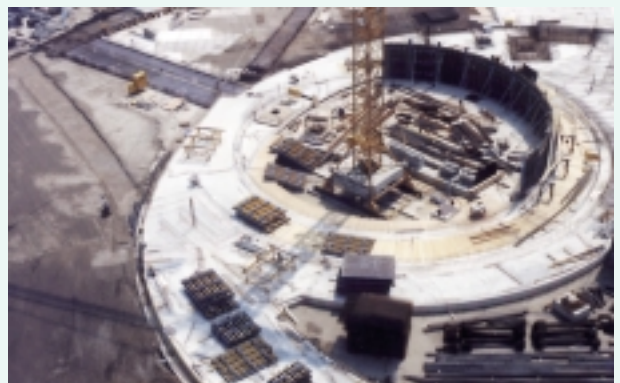


*BESSY I in Berlin-Wilmersdorf
(Quelle: Ullstein Verlag)*

Das Nachfolgeprojekt BESSY II wurde ab 1992 in Berlin-Adlershof realisiert. Am 4. September 1998 ist die offizielle Inbetriebnahme von BESSY II.

BESSY II, eine Synchrotronstrahlungsquelle der dritten Generation, ist die konsequente Fortsetzung der wissenschaftlichen und technologischen Entwicklung auf diesem Gebiet. Sie wird für die Benutzer neue Perspektiven für unterschiedliche grundlagenorientierte und anwendungsbezogene Forschungen und Entwicklungen eröffnen und sichert die Spitzenstellung von Berlin als eines der internationalen Zentren für die Forschung mit Synchrotronstrahlung.

Die einzelnen Bauphasen von BESSY II geben einen guten Überblick über die Gesamtanlage:



Meilensteine BESSY II

März 1993	Projektteam BESSY II nimmt die Arbeit auf dem Adlershofer Südgelände auf.	Januar 1995
4. Juli 1994	Symbolischer erster Spatenstich	
Dezember 1994	Beginn der Rohbauarbeiten	
Dezember 1995	Richtfest für den Neubau	
3. April 1997	Elektronenstrahl im Synchrotron auf 50 MeV beschleunigt	
23. Juni 1997	Elektronenstrahl erstmals im Synchrotronring auf 1,9 GeV beschleunigt	Januar 1996
22. September 1997	der letzte Girder des Speicherrings ist aufgestellt	
Dezember 1997	Montageabschluß der Speicherringhalle	
22. April 1998	der erste bei BESSY II erzeugte Synchrotronstrahl	
16. Juli 1998	erstmalige Erzeugung von „Undulator-Licht“ bei BESSY II	
4. September 1998	Inbetriebnahme der Speicherringanlage BESSY II	Sommer 1997

BESSY

- Service für Forschung und Entwicklung -



*BESSY-Mitarbeiter Dr. Andreas Gaupp
am Elektronenspektroskop für
chemische Analysen*

Kooperation

BESSY - Zahlen, Fakten

- **Struktur:**
 - Experimentelle Nutzung
 - Beschleuniger (Maschine)
 - Zentrale Technik
 - Administration
 - **Personal:**

170 Mitarbeiter (Juli 1998)
 - **Jahresetat:**

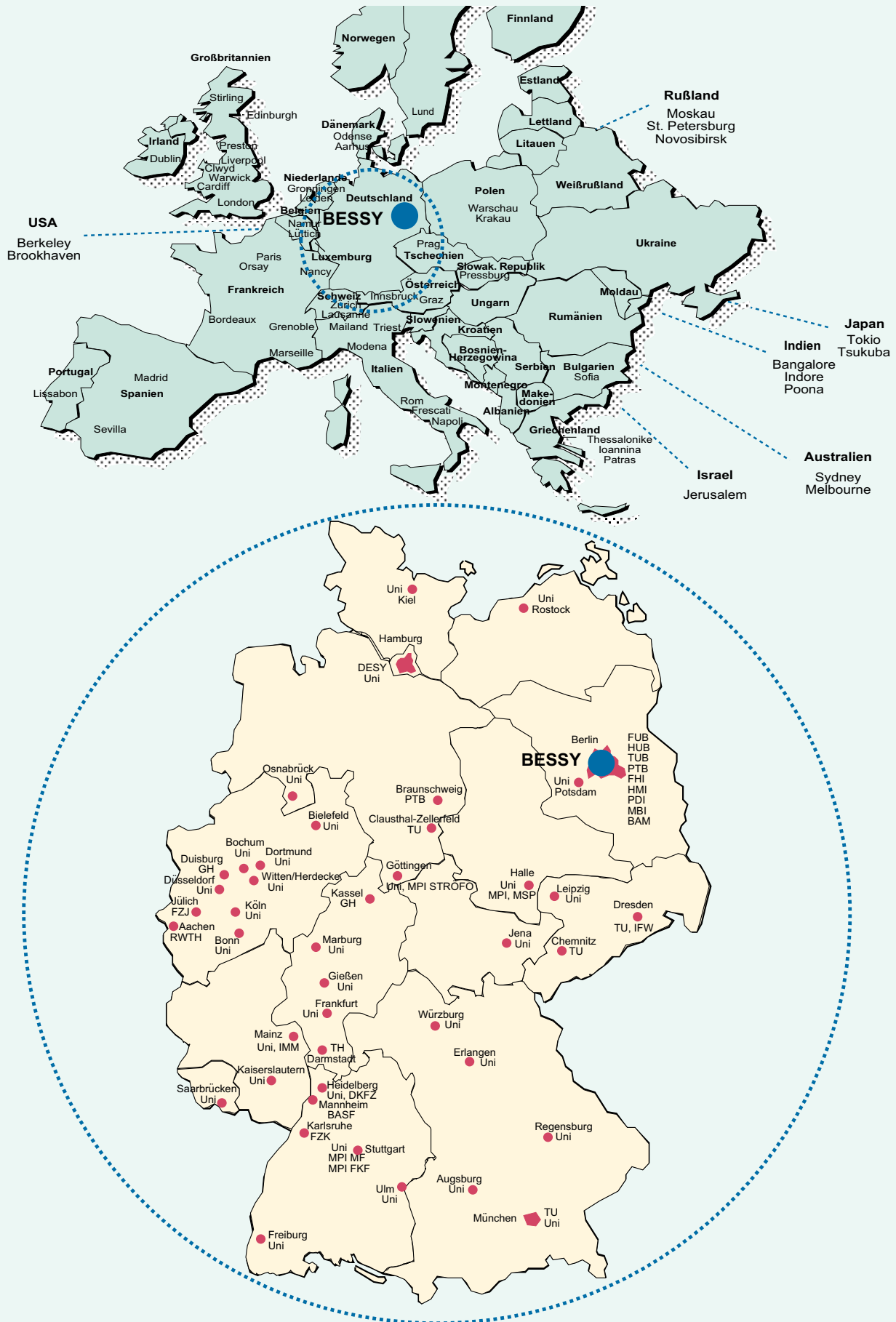
BESSY I: 13,5 Mio DM (1998)
BESSY II: 38,5 Mio DM (1999)
 - **Finanzstatus für BESSY II**

(vorgesehen ab 2000):
„Blaue Liste“-Institut; neben Bund und Land Berlin werden die anderen Bundesländer an der Finanzierung beteiligt.
 - **Nutzer:**

mehr als 170 Arbeitsgruppen aus Universitäten, der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., der Helmholtz-Gemeinschaft, der Leibnitz-Wissenschaftsgemeinschaft sowie ähnlichen Einrichtungen aus der Europäischen Union.
- ▲ HASYLAB / DESY in Hamburg
 - ▲ European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble
 - ▲ ELETTRA in Triest
 - ▲ Advanced Light Source (ALS) in Berkeley
 - ▲ Advanced Photon Source (APS) in Chicago
 - ▲ Budker Institute of Nuclear Physics (BINP) in Novosibirsk
 - ▲ Center of Advanced Technology (CAT) in Indore (Indien)
 - ▲ MAXLAB in Schweden
 - ▲ Max-Planck-Gesellschaft (MPG)
 - ▲ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
 - ▲ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
 - ▲ Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)
 - ▲ Forschungszentrum Jülich (FZJ)
 - ▲ Hahn-Meitner-Institut Berlin (HMI)
- und mit zahlreichen weiteren Forschungsinstitutionen, Hochschulen und Unternehmen im In- und Ausland.

BESSY

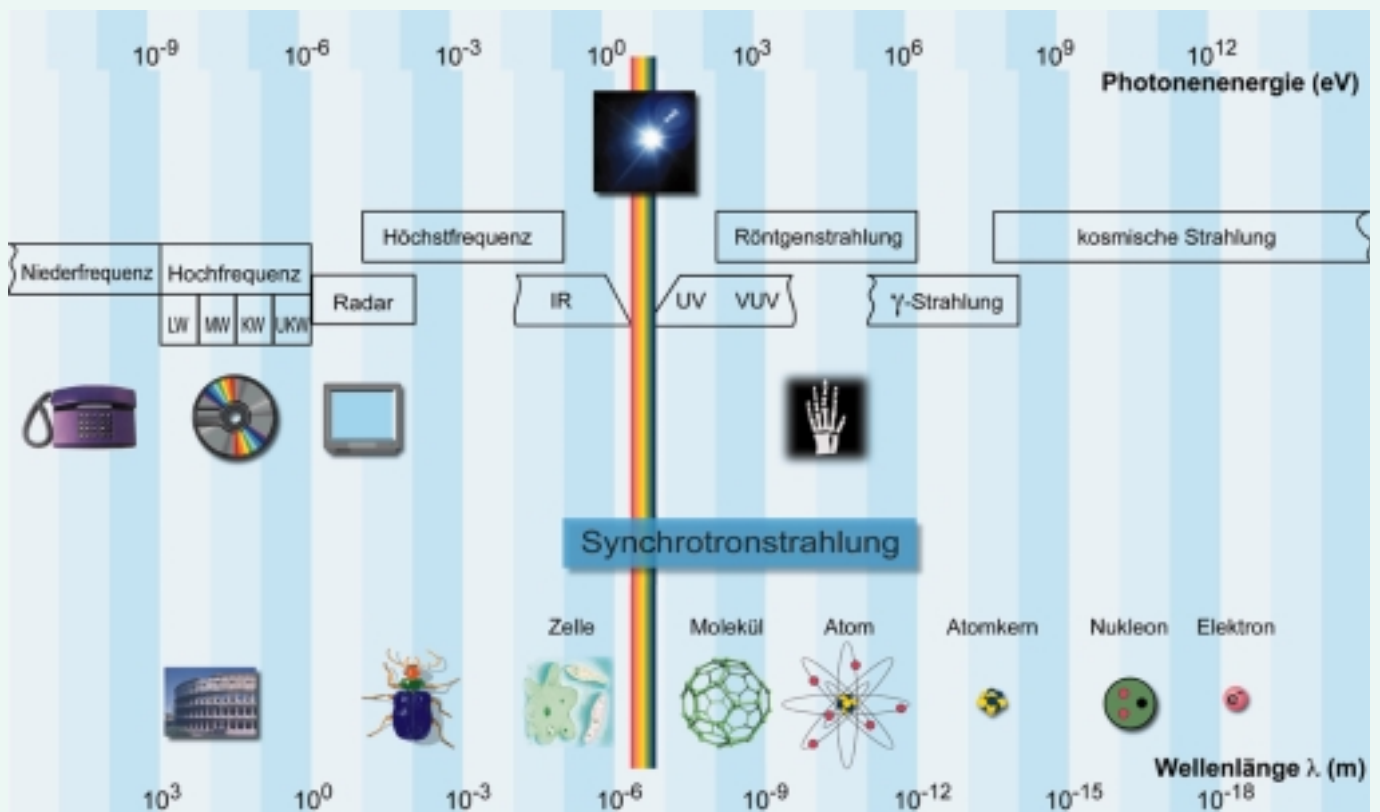
Kooperationseinrichtungen und BESSY-Nutzer



Synchrotronstrahlung

Grundprinzip

Synchrotronstrahlung entsteht, wenn leichte, geladene Teilchen (Elektronen) auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und von einem Magneten radial abgelenkt werden. Die Synchrotronstrahlung wird in einem engen Kegel entlang der momentanen Bewegungsrichtung der Elektronen abgegeben. Diese Strahlung enthält auch sichtbares Licht. Je höher die Elektronenenergie und je stärker das ablenkende Magnetfeld ist, desto energiereicher und stärker gebündelt wird das Synchrotronlicht.



Das elektromagnetische Spektrum

Bedeutung

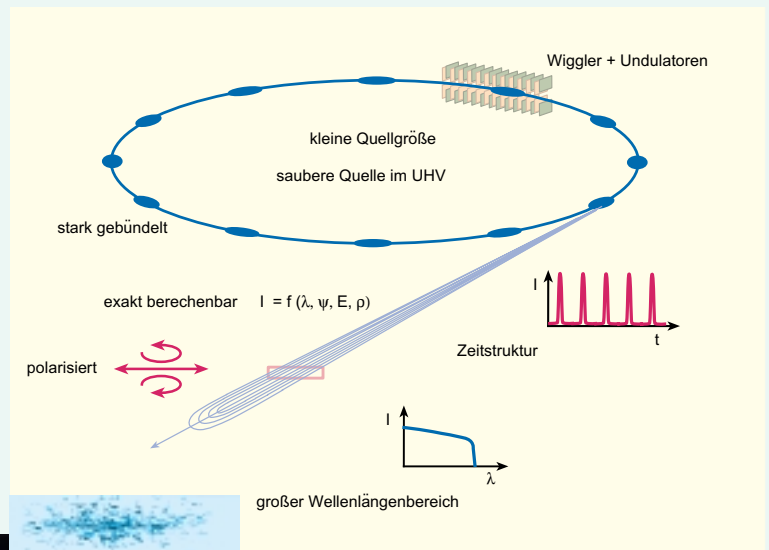
Das BESSY-„Licht“ wird zur Untersuchung der Struktur und der Zusammensetzung unterschiedlichster Materialien genutzt. Kenntnisse zur Elektronenstruktur, die die physikalisch-chemische Natur der Atome und Moleküle bestimmt, lassen die gezielte Beeinflussung von Werkstoffeigenschaften zu. Die präzise Berechenbarkeit der Strahlung ermöglicht den Betrieb eines Radiometrielabors (PTB). Außerdem spielen spektroskopische Methoden und zunehmend die Mikrotechnologie eine wichtige Rolle.

Die Synchrotronstrahlung ist eine flexible Lichtquelle - aus einem großen Spektralbereich lässt sich die experimentell benötigte Wellenlänge auswählen. Besonders gute Voraussetzungen hat BESSY im VUV- und XUV-Spektralbereich. Etwa 600 Forscher bearbeiten in oft international zusammengesetzten Gruppen mit unterschiedlichen Methoden Fragestellungen aus Physik, Chemie und Biologie, in der Werkstoffforschung und der Umwelttechnik.

Synchrotronstrahlung

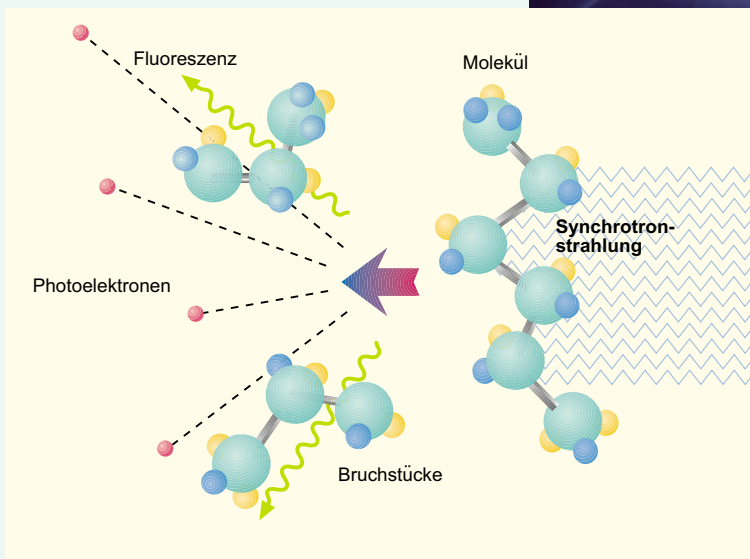
Eigenschaften

- ❑ sehr hohe Intensität, kurze Meßzeiten
- ❑ Wellenlängenspektrum: Vakuum-Ultraviolett bis harte Röntgenstrahlung
- ❑ stark gebündelt; sehr kleines Quellvolumen
- ❑ exakt berechenbar: erlaubt Kalibrierung von Detektoren bzw. Strahlungsquellen
- ❑ spezifische Zeitstruktur: atomare Vorgänge im Nanosekunden-Bereich sind verfolgbar
- ❑ hoher linearer Polarisationsgrad liefert richtungsabhängige Informationen
- ❑ zirkular polarisiertes Licht; wichtig für magnetische Materialstudien
- ❑ Messung im Ultrahochvakuum verhindert Verschmutzung der Proben.



Eigenschaften der Synchrotronstrahlung

Synchrotronstrahlung ist auch sichtbar



Synchrotronstrahlung trifft auf ein Molekül und verursacht unterschiedliche Reaktionen, auf denen die einzelnen Untersuchungsmethoden beruhen, z.B.:

- ❑ Massenspektroskopie
- ❑ Photoelektronen-Emissions-Spektroskopie
- ❑ XANES-Methode (X-ray absorption near edge structure)
- ❑ Spektro-Mikroskopie
- ❑ Mikro-Spektroskopie
- ❑ Röntgen-Mikroskopie
- ❑ Auger-Elektronen-Spektroskopie
- ❑ Fluoreszenzanalyse.

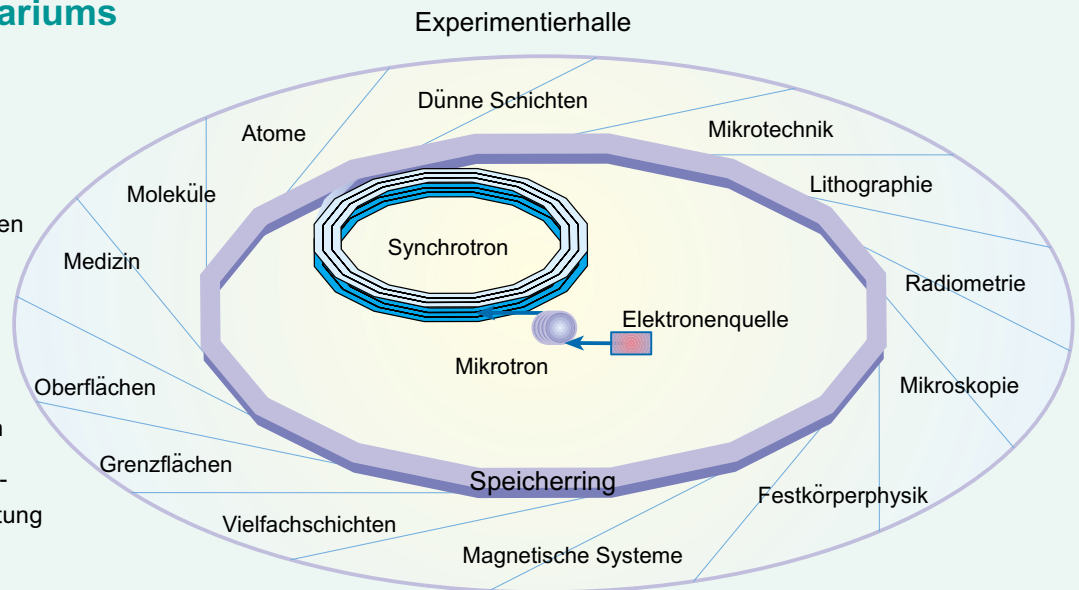
Materialien und Methodik

Viele Analysetechniken beruhen auf dem Prinzip der Photoemission. Mit ihrer Hilfe lassen sich Systeme untersuchen, in denen die Atome über makroskopische Bereiche unregelmäßig angeordnet sind, also keine ausgeprägte Fernordnung besitzen. Mit der Synchrotronstrahlung können deshalb nicht nur die Strukturen kristalliner Materialien bestimmt werden, sondern ebenso die von amorphen Festkörpern, Adsorbaten, Flüssigkeiten und die Molekülstrukturen der Gasphase.

Innovation bei BESSY

Grundelemente des Instrumentariums

- ☐ Beschleuniger
- ☐ Dipolmagnete
- ☐ Wiggler und Undulatoren
- ☐ Strahlrohre
- ☐ Spiegelsysteme
- ☐ Monochromatoren
- ☐ Experimentierstationen
- ☐ elektronische Meßwert-
erfassung und Auswertung



Beschleuniger- und Speicherringanlage

Bei BESSY werden im Mikrotron erzeugte Elektronen im Synchrotron, einem ringförmigen Vakuumrohr von 96 m Umfang, durch starke elektrische Hochfrequenzfelder bis auf eine Endenergie von 1700 MeV beschleunigt. Nahezu mit Lichtgeschwindigkeit kreisen die Elektronen dann in dem von einer Strahlenschutzmauer umgebenen Speicherring (240 m Umfang) mehrere Stunden lang mit konstanter Geschwindigkeit.



Speicherringsegmente

Injektionslinie



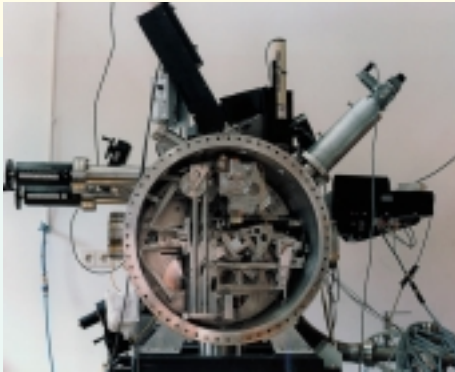
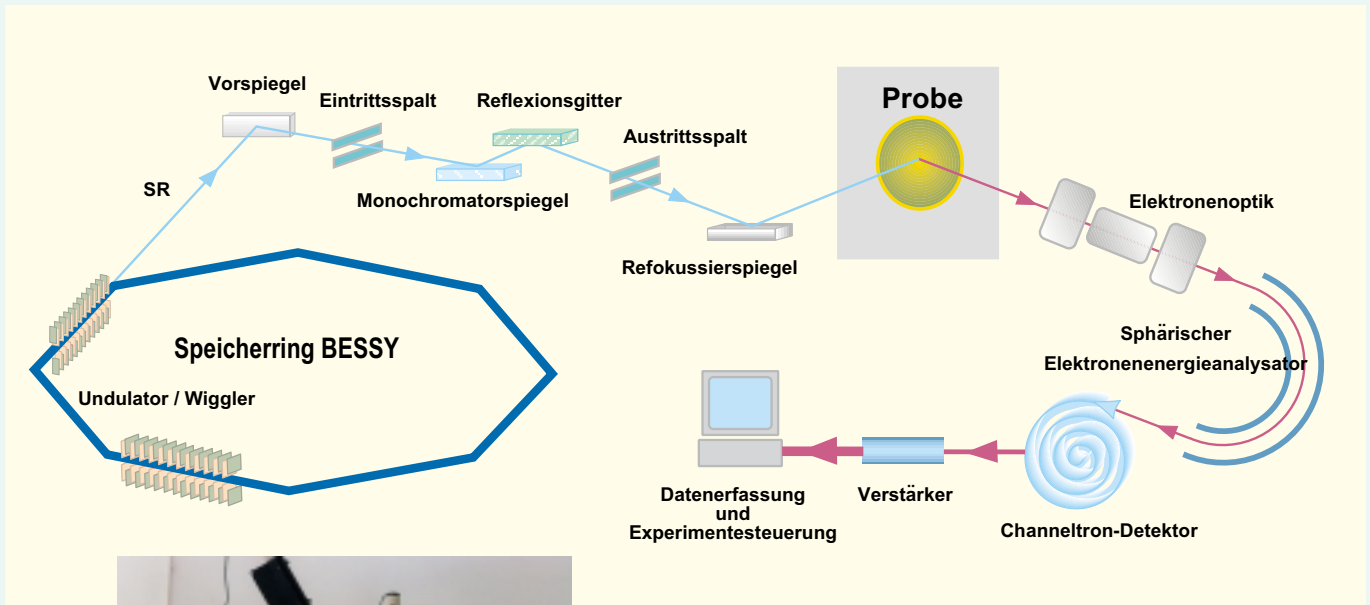
Einer der 16 Achromaten des Speicherrings

Die Beschleunigeranlage von BESSY besteht aus Mikrotron-Injektor, Synchrotron und Speicherring. Die innovative flexibel verwendbare Elektronenoptik garantiert, daß die in 16 geraden Strecken des Rings einbaubaren Insertion Devices Synchrotronstrahlung mit einer um das 10.000fache gesteigerten Qualität (Brillanz) als bei BESSY I liefern.

Innovation bei BESSY

Typische Experimentieranordnung bei BESSY

Die Synchrotronstrahlung eines Undulators verläßt den Speicherring geradlinig durch Strahlrohre und gelangt über Spiegelsysteme und Monochromatoren zu den einzelnen Experimentierstationen. Hier können die Forschergruppen gleichzeitig und unabhängig voneinander unterschiedliche Untersuchungen ausführen.



Blick in den geöffneten BESSY Doppel-Kristall-Monochromator

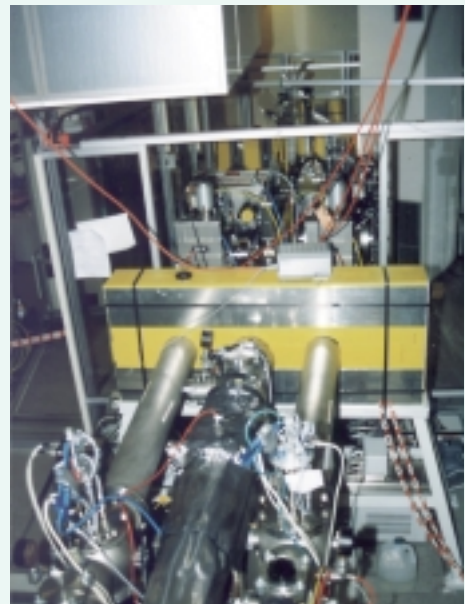
Anwenderzentrum Mikrotechnik

Bei BESSY wurde die Bedeutung der LIGA-Technik mit Synchrotronstrahlung für die industrielle Anwendung erkannt. Eine Erweiterung der bisherigen Aktivitäten zur industriellen Nutzung der LIGA-Technik ist durch den Aufbau eines Anwenderzentrums Mikrotechnik in Adlershof vorgesehen.

Monochromatoren und Spiegel

Zu jeder experimentellen Anordnung gehört ein Monochromator, der innerhalb eines bestimmten Bereiches die gewünschte Wellenlänge selektieren kann. Auf diese Weise erhält man im Zusammenhang mit dem Elektronenspeicherring eine kontinuierlich durchstimmbare, intensive, gepulste, zeitlich stabile Lichtquelle. Bei vielen Anwendungen der Synchrotronstrahlung ist die Fokussierung des Photonenstrahles auf einen kleinen Fleck von wesentlicher Bedeutung. Dafür werden hochpräzise Spiegel mit gekrümmten Oberflächen eingesetzt. Eine solche Spiegeloberfläche weicht vom Idealmaß um höchstens einige Tausend Atomlagen ab.

Der Wellenlängenschieber im LIGA-Labor, ein unentbehrliches Hilfsmittel der Mikrotechnik zur Erzeugung der benötigten harten Röntgenstrahlung.



Innovation bei BESSY



Undulator

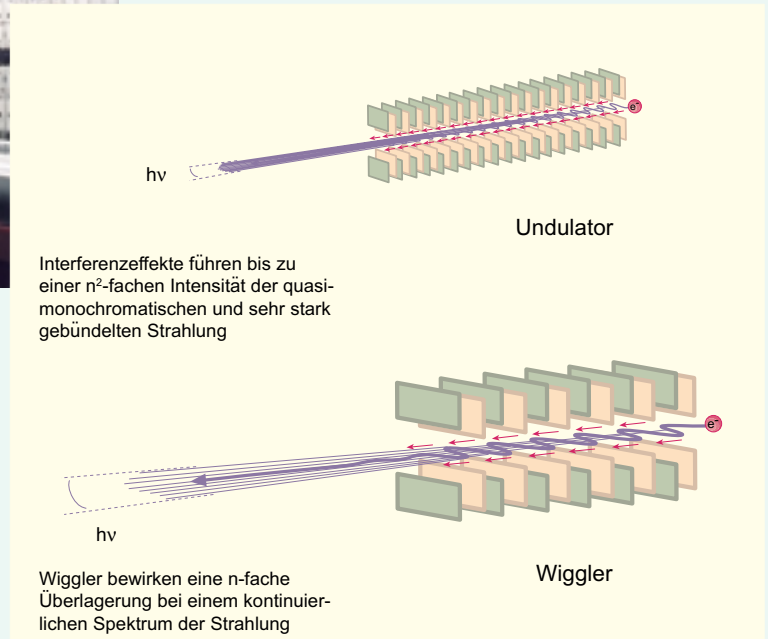
Wiggler und Undulatoren

Je intensiver die Synchrotronstrahlung ist, desto mehr Vorteile ergeben sich für den Experimentator:

- ❑ kürzere Meßzeiten
- ❑ gleichzeitige Messung mehrerer physikalischer Größen
- ❑ höhere Auflösung
- ❑ Untersuchung kleinster Substanzmengen.

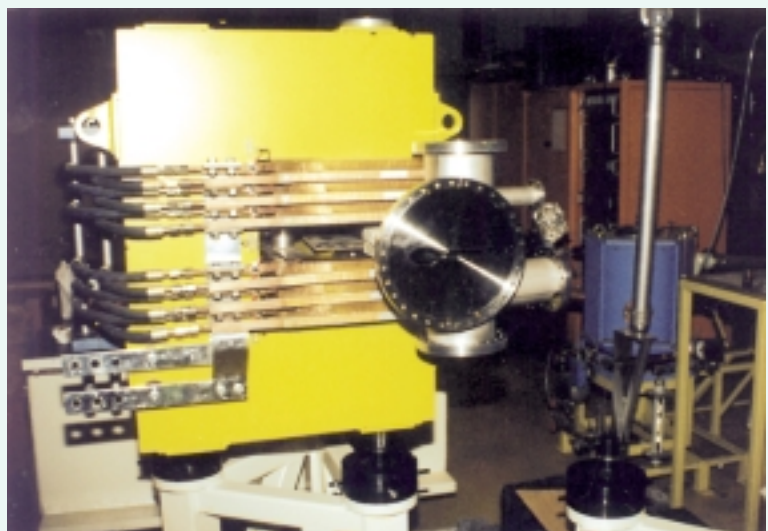
Die Intensitätserhöhung wird durch eine neue Technik erzielt. Die Lichterzeugung erfolgt in periodisch angeordneten Permanentmagneten, den sogenannten Wiggeln und Undulatoren. Alle modernen Synchrotronstrahlungsquellen, zu denen auch BESSY gehört, setzen diese Magnetstrukturen ein. In ihnen sind die Funktion des Speicherns von Elektronen und die Funktion der Erzeugung von Licht voneinander getrennt - und somit ist jede für sich optimierbar.

Dipolmagnet



Magnete

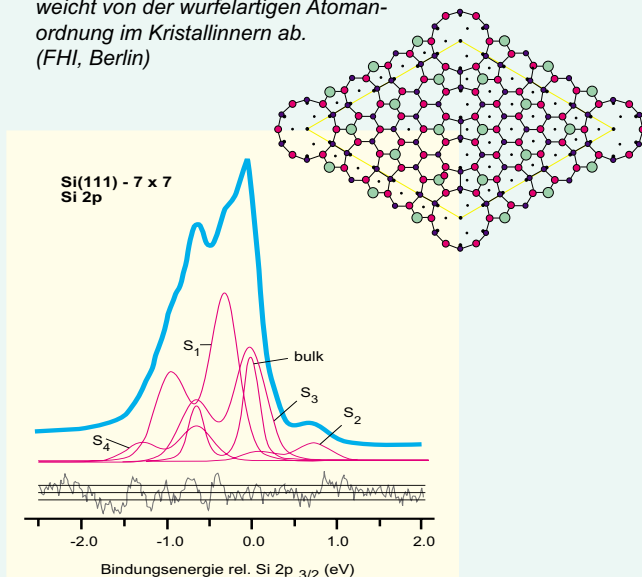
Im Speicherring halten starke Magnete die Elektronen auf einer stabilen Umlaufbahn. Die Synchrotronstrahlung selbst entsteht in den durch die Ablenkmagnete bestimmten Kreissegmenten und bei BESSY in den Wiggeln und Undulatoren.



Perspektiven der Forschung bei BESSY

BESSY in Berlin-Adlershof wird Teil einer erneuerten Forschungs- und Technologielandschaft sein, von der vielfältige Impulse für Forschung und Entwicklung ausgehen werden. Zum wirtschaftlichen Fortschritt werden auch gemeinsame Projekte, Zulieferaufträge und der Know-how-Austausch mit Technologieunternehmen der Region beitragen. Der neue Campus in Berlin-Adlershof, der künftig auch die naturwissenschaftlichen Institute der Humboldt-Universität aufnehmen wird, besitzt dafür sehr gute Voraussetzungen.

Die Struktur der Si(111)- Oberfläche weicht von der würfelförmigen Atomanordnung im Kristallinneren ab. (FHI, Berlin)



PES-Linienformanalyse der Si(111)-Oberfläche; S₁ bis S₄: ungleiche atomare Umgebungen

Arbeitsschwerpunkte:

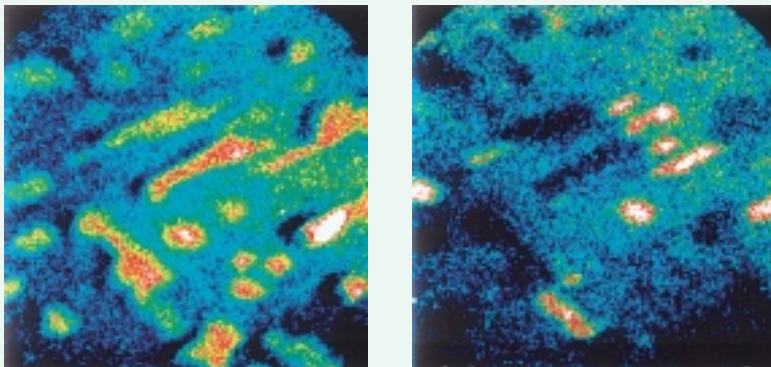
- ◆ Atom- und Molekülphysik
- ◆ Oberflächen-, Werkstoff- und Strukturforschung
- ◆ Röntgenmikroskopie; Beobachtung lebender Organismen in natürlicher Umgebung (Biologie, Medizin, Kolloidchemie)
- ◆ Analytik (Spektroskopie); räumliche Auflösung bis zu 0,01 Mikrometer (Mikroelektronik, Kompositwerkstoffe, Schichtsysteme)
- ◆ Industriebezogene Aktivitäten; Nutzung z.B. der LIGA-Technik (Anwenderzentrum für Mikrotechnik)



Die LIGA-Mikroturbine ist Bestandteil eines Fräskopfes für die medizinische Anwendung, beispielsweise zur Entfernung von Ablagerungen in Herzkranzgefäßen. (FZK, Karlsruhe)

BESSY- eigene Forschungsaktivitäten:

- ◆ Beschleunigerphysik
- ◆ Entwicklung von Meß-, Geräte- und Experimentiertechniken
- ◆ Experimentelle Nutzung von Synchrotronlicht mit Schwerpunkten wie
 - dünne magnetische Schichten
 - biologische Strukturforschung
 - Mikro- und Nanotechnologien



Ag- und Pb-Koabscheidung auf Mo(110); Bildausschnittgröße: 9 µm; links: Pb-5d-Photoelektronen, rechts: Ag-Valenzelektronen (Uni Clausthal-Zellerfeld)