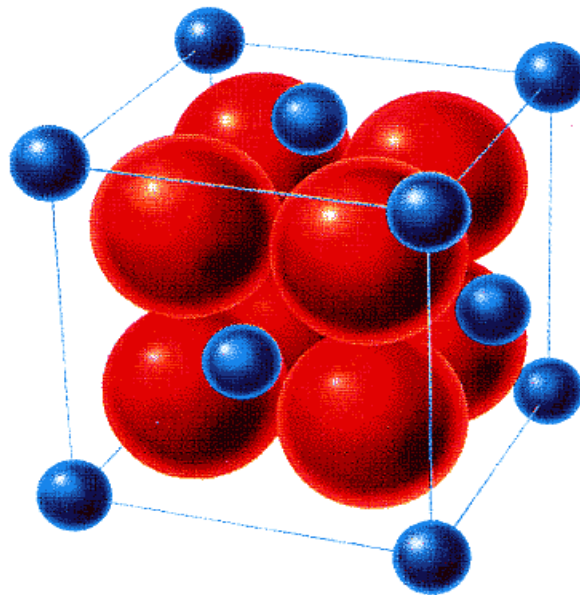


Der Forschungsreaktor im Hahn-Meitner-Institut

Wozu dient der HMI -Forschungsreaktor?

Neutronenstrahlen - Perspektiven für die Forschung

Der Forschungsreaktor liefert Neutronenstrahlen für ein breites Spektrum wissenschaftlicher Untersuchungen. Wie die Röntgenstrahlen nach ihrer Entdeckung zu Beginn dieses Jahrhunderts für Medizin, Technik und Wissenschaft neue Beobachtungsmethoden erschlossen, so haben auch die Neutronenstrahlen der Forschung neue Perspektiven eröffnet.



Modell über die Lage der Atome im Gitterverbund (Silberjodid).

Einsatzbereiche

Die Arbeiten am Berliner Forschungsreaktor reichen von der reinen Grundlagenforschung bis zu anwendungsnahen Untersuchungen.

Alle Materie ist aus Atomen aufgebaut. In den verschiedenen Stoffen bilden diese durch ihre Anordnung charakteristische Muster. Außerdem bewegen sie sich und schwingen. Die »Baumuster« der Atome sind entscheidend für die Eigenschaften der Stoffe; ihre Bewegungen verursachen Wärmeerscheinungen.

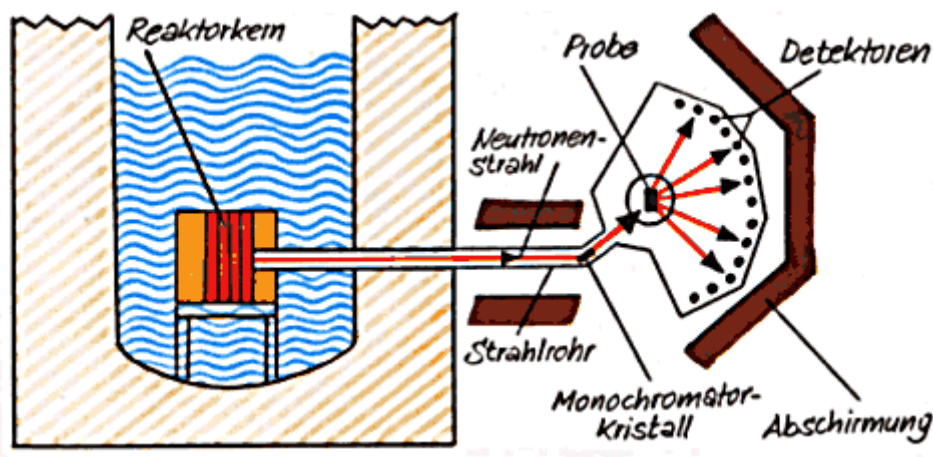
Um die Eigenschaften von Stoffen und die Wärmeerscheinungen besser verstehen zu können, muss man die Baumuster und die Bewegungen der Atome studieren. Dazu dienen der Wissenschaft neben Röntgen- und Elektronenstrahlen auch Neutronen, die gleichsam als Sonde in das Innere der Materie eindringen.

Neutronenstreuung

Wenn Neutronen auf Atome treffen, so werden sie von diesen gestreut - sie »prallen« auf charakteristische Weise ab. Die Art der Streuung gibt den Wissenschaftlern Auskunft über die Anordnung der Atome und deren Verhalten in den verschiedenen Materialien.

In einem typischen Streuexperiment werden Neutronen, die aus dem Reaktorkern kommen, durch ein Strahlrohr auf einen »Monochromator« geleitet. Dieser spiegelt Neutronen einer bestimmten Geschwindigkeit auf die zu untersuchende Probe, an der sie gestreut werden sollen. Die Verteilung der gestreuten Neutronen wird mit Detektoren gemessen. Aus den so erhaltenen Streukurven kann die Atomanordnung in der untersuchten Probe bestimmt werden.

Neutronen aus dem Reaktorkern treffen auf die Atome in der Probe. Dabei werden sie gestreut und in Detektoren registriert. Die Art der Streuung erlaubt Einblicke in den Aufbau der verschiedenen Stoffe aus Atomen und Molekülen.



Prinzipbild der Streu-Experimente.

Nur mit Hilfe von Neutronen kann man in einem Atomverbund leichte Atome - zum Beispiel die des Wasserstoffs - nachweisen. Nur mit Neutronen kann man einander ähnliche Metallatome unterscheiden und den Magnetismus der einzelnen Atome bestimmen. Damit leistet die Neutronenstreuung Beiträge zur Chemie, zur Biologie, zur Metallkunde und zur Festkörperphysik, die auf andere Weise nicht gewonnen werden können.

Die Kalte Quelle

Durch den Einbau einer sogenannten Kalten Quelle, die die Geschwindigkeit der Neutronen stark verringert, ist es möglich, auch

- die Bewegungen der Atome zu studieren,
- den Aufbau sehr komplizierter Atomgebilde zu bestimmen, zum Beispiel den der Fadenmoleküle von Kunststoffen oder von Makromolekülen biologischer Substanzen,
- Baufehler in der Atomanordnung zu erklären, wie sie bei hohen Temperaturen oder bei Bestrahlung in festen Körpern entstehen

Der Forschungsreaktor dient jedoch nicht der Entwicklung oder Erprobung von Kernenergie-Technik.

Besonders empfindliche chemische Analysen-Methode

Neutronen können auch in Atome eindringen und sie zur Aussendung charakteristischer Strahlung anregen, wodurch sie sich zu erkennen geben. Diese Tatsache macht sich eine be-

sonders empfindliche chemische Analysen-Methode zunutze, die es gestattet, sogenannte Spurenelemente nachzuweisen. Sie wird im Hahn-Meitner-Institut zur Untersuchung medizinischer Fragen, zum Beispiel auf dem Gebiet der Ernährung eingesetzt.

Internationale Forschergruppen

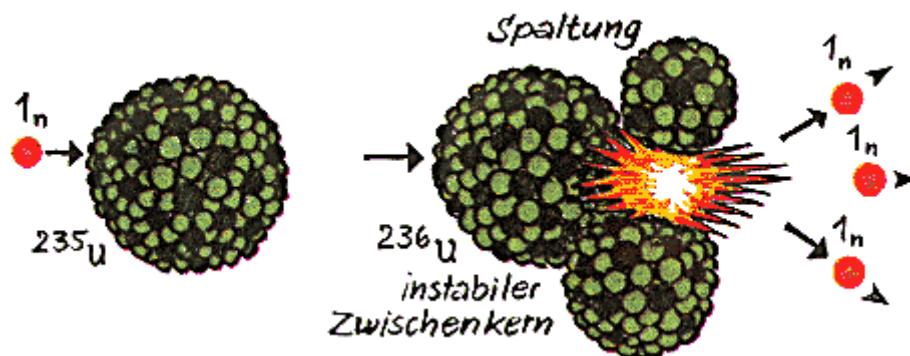
Den Forschungsreaktor nutzen verschiedene wissenschaftliche Disziplinen und zu einem wesentlichen Teil auch auswärtige Forschungsgruppen. Daher sind bei der Ausstattung mit wissenschaftlichen Instrumenten nicht nur die Bedürfnisse der Arbeitsgruppen am HMI ausschlaggebend, sondern es wird den Wünschen auswärtiger Universitäten und Institute Rechnung getragen.

Der Forschungsreaktor erzeugt Neutronen. Die Neutronen dienen der Wissenschaft gleichsam als Sonde für das Innere der Materie. Die Neutronenstreuung ist in Chemie, Metallkunde und Festkörperphysik durch keine andere Methode ersetzbar.

Wie funktioniert ein Kernreaktor?

Die Spaltung

Trifft ein Neutron mit niedriger Geschwindigkeit auf einen Atomkern des Urans, so wird es absorbiert und der Kern spaltet sich in meist zwei Teile auf. Diese Spaltprodukte fliegen mit großer Geschwindigkeit auseinander. Werden sie abgebremst, so entsteht dabei Wärme. Eben diese Wärme wird in Kernkraftwerken zur Erzeugung von Elektrizität genutzt.



Spaltung von Uran 235

Moderator

Bei jeder Kernspaltung entstehen außerdem zwei oder drei schnellfliegende Neutronen. Sollen sie weitere Atomkerne des Urans spalten, so müssen sie abgebremst werden. Als »Brems« benutzt man in Kernreaktoren einen sogenannten Moderator. Das kann zum Beispiel normales Wasser oder auch Kohlenstoff sein. Der Zusammenstoß der schnellen Neutronen mit den Moderator-Atomen verringert ihre Geschwindigkeit.

Um eine Kettenreaktion aufrecht zu erhalten, muss aus jeder Spaltung ein Neutron wiederum einen Atomkern spalten. Nun entstehen aber bei der Spaltung zwei oder drei Neutronen. Das heißt: die überflüssigen Neutronen müssen abgefangen werden. Dazu benutzt man in Kernreaktoren Neutronenfänger, die sogenannten Steuerstäbe.

Steuerung der Kettenreaktion

Mit den Steuerstäben lässt sich die Kettenreaktion regeln. Je nachdem, wie weit sie aus dem Reaktorkern, in dem die Kettenreaktion stattfindet, herausgezogen werden, stellt sich eine

bestimmte Rate von Kernspaltungen ein. Ist diese Rate konstant, so ist der Reaktor »kritisch«: Verbrauch und Gewinn von Neutronen sind im Gleichgewicht. Mit Hilfe der Steuerstäbe kann man die Kettenreaktion auch ganz stoppen, also den Reaktor abschalten. Die Steuerstäbe brauchen nur ein kleines Stück in den Reaktorkern eingefahren zu werden, um die Kettenreaktion wieder zu unterbrechen. **Zu einer explosionsartigen Kettenreaktion kann es aus grundsätzlichen physikalischen Bedingungen in einem Reaktor wie dem am HMI nicht kommen.**

Ein Forschungsreaktor ist so aufgebaut, dass neben den Neutronen, die zur Aufrechterhaltung der Kettenreaktion benötigt werden, möglichst viele für physikalische und chemische Untersuchungen zur Verfügung stehen. Deshalb wird hier ein Teil der Neutronen durch Strahlrohre zu verschiedenen Experimentierplätzen geleitet.

Die bei der Kettenreaktion entstehende Wärme ist bei einem Kernkraftwerk das erwünschte Produkt. Anders bei einem Forschungsreaktor: hier interessieren nur die Neutronen. Die Wärme ist ein Abfallprodukt. Die Kühlung des Forschungsreaktors am HMI erfolgt durch Wasser. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass jeder Kernreaktor fünf wesentliche Komponenten hat:

- den Brennstoff, das Uran, das in der Regel in stab- oder plattenförmigen Brennelementen eingeschlossen ist,
- den Moderator, der die Brennelemente umgibt,
- die Steuerstäbe, welche je nach ihrer Stellung eine gewünschte Zahl von freien Neutronen einfangen und so die Intensität der Kettenreaktion regeln,
- die Kühlung, die für den Abtransport der bei der Kernspaltung entstehenden Wärme sorgt,
- die äußere Strahlenabschirmung, welche die entweichende Strahlung absorbiert

Wie ist der HMI-Forschungsreaktor aufgebaut?

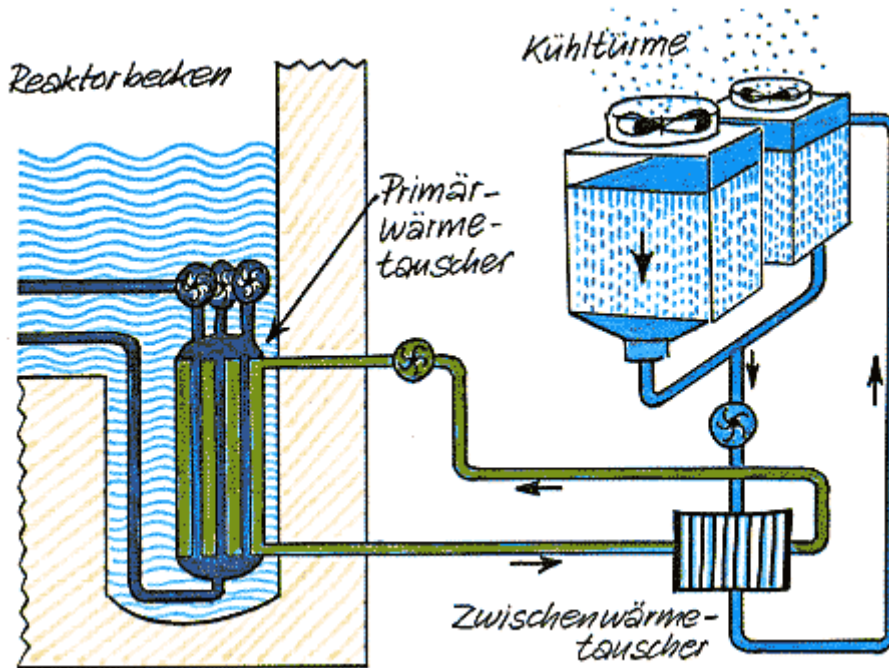
Im Jahr 1958 wurde im Hahn-Meitner-Institut der Forschungsreaktor BER I (Berliner-Experimentier-Reaktor I) in Betrieb genommen. Er war einer der ersten deutschen Reaktoren. Sein Betrieb wurde 1971 eingestellt, und die Nachfolge übernahm Ende 1973 der BER II mit einer Leistung von 5 Megawatt. Von 1985 bis 1989 erfolgte der Ausbau auf 10 Megawatt verbunden mit besseren Experimentiermöglichkeiten. Er ist, wie die meisten der Forschungsreaktoren, ein sogenannter »Schwimmbadreaktor«.

Konstruktion

Dieser Name erklärt sich durch seine Konstruktion: Der Kern des Reaktors (im wesentlichen die Brennelemente und die Steuerstäbe) hängt in einem offenen Wasserbecken. Das Wasser dient gleichermaßen als Moderator, als Kühlmittel und als Strahlenabschirmung. Die Wasserschicht über dem Reaktorkern hält die Strahlung so vollständig zurück, dass keine Zeit- und Aufenthaltsbeschränkung für das Bedienungspersonal notwendig ist.

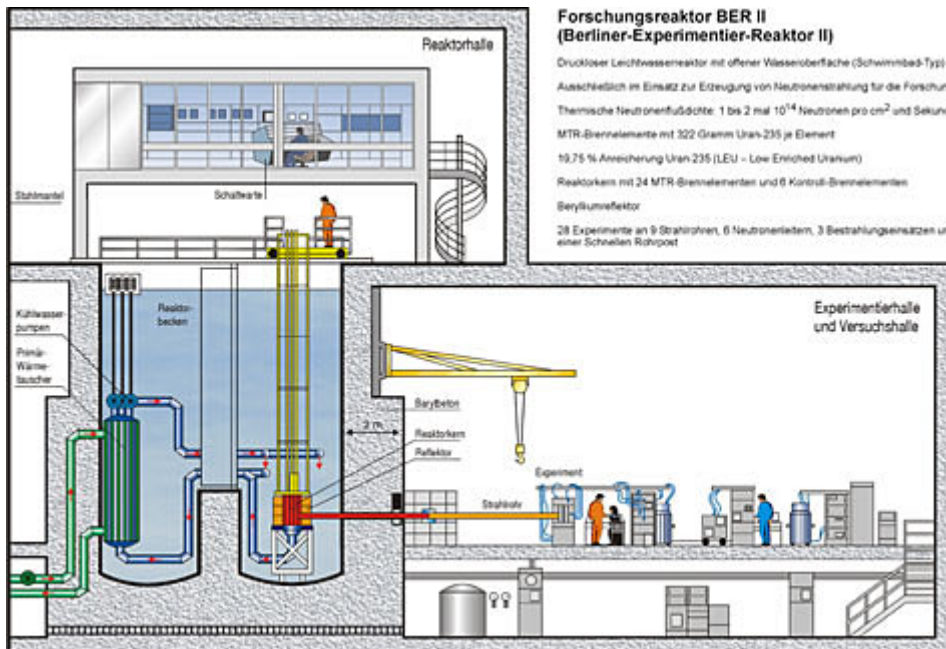
Diese Bauweise hat zwei große Vorteile: Der Reaktor ist gut zugänglich und im gesamten sogenannten Primärkühlkreislauf, also im Beckenwasser, herrscht Normaldruck. Damit treten die bei Kernkraftwerken nötigen hohen Temperaturen und großen Drücke nicht auf.

Das Wasser im Reaktorbecken erwärmt sich im Betrieb auf eine Temperatur von rund 40°C. Die Wärmeabfuhr erfolgt beim BER II durch drei hintereinander geschaltete Wasserkreisläufe, die über Wärmetauscher miteinander verbunden sind. Der erste, den Reaktorkern durchströmende Kreislauf, liegt vollständig im Reaktorbecken. Die dem Reaktorkern entzogene Wärme wird zuletzt über Kühltürme in die Atmosphäre abgegeben.



Schematische Darstellung der Wärmeabfuhr.

Die thermische Leistung des HMI-Forschungsreaktors beträgt 10 Megawatt. Sie ist damit einige hundertmal geringer als die übliche thermische Leistung eines Kernkraftwerks mit etwa 3000 bis 4000 Megawatt. Entsprechend kleiner sind damit die Größe der Anlage und die Menge des eingesetzten Urans.



Schnittbild Forschungsreaktor BER II und Experimentierhalle

Das Gebäude des Forschungsreaktors besteht aus drei Hallen. Oben befindet sich die Reaktorhalle; sie umgibt das offene Wasserbecken. Von dieser Halle aus werden sämtliche Arbeiten am Reaktorkern durchgeführt, wie zum Beispiel das Umsetzen von Brennelementen. Eine Schaltwarte ragt in die Reaktorhalle hinein und ist durch ein Sichtfenster von ihr getrennt.

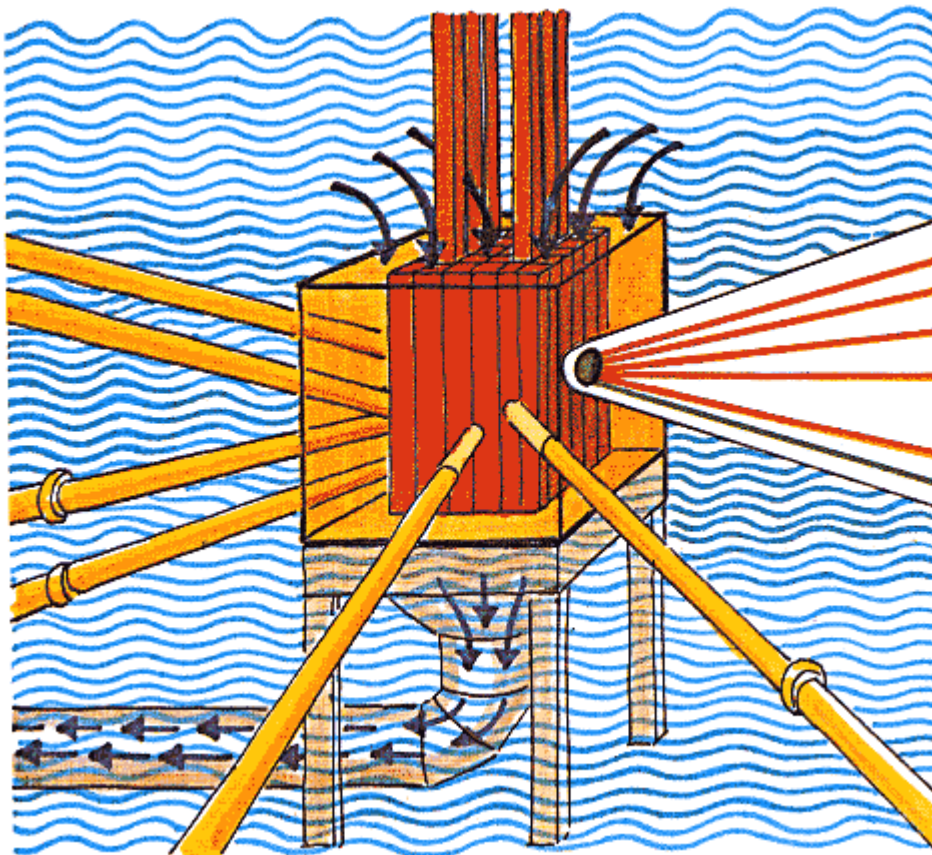
Unter der Reaktorhalle liegen die Experimentierhalle und die angrenzende Versuchshalle. Dort enden mehrere Strahlrohre, mit denen die Neutronen vom Reaktorkern durch das Wasserbecken und die Betonabschirmung zu den Experimentierplätzen geleitet werden. Die hier tätigen Wissenschaftler sind durch Abschirmungen an den Experimenten vor Strahlung geschützt.

In den Hallen des Forschungsreaktors wird immer ein etwas geringerer Luftdruck als in der Umgebung erzeugt. Der geringe Druckunterschied wird mit einer Lüftungs- und Klimaanlage aufrecht erhalten. Die Luft dieser Anlage wird auf Radioaktivität kontrolliert, gegebenenfalls gefiltert und dann über den Kamin an die Atmosphäre abgegeben.

Der Reaktorkern besteht aus dreißig bis vierzig Brennelementen. Jedes von ihnen ist aus 23 dünnen Platten zusammengesetzt, welche eine von Aluminium umschlossene Uran-Aluminium-Verbindung enthalten.

Zur Erhöhung der Neutronenintensität ist der Reaktorkern von einem Beryllium-Reflektor umgeben.

Mit einer »**Kalten Quelle**« wird eine etwa zehn Zentimeter dicke Schicht sehr kalten Wasserstoffs an den Rand des Reaktorkerns gebracht. Dadurch werden besonders langsame Neutronen erzeugt. Solche langsamen Neutronen eröffnen spezielle wissenschaftliche Untersuchungsgebiete. Außerdem können langsame Neutronen durch Neutronenleiter-Rohre zu weiter entfernten Experimentierplätzen geführt werden, wodurch sich der Platz für Experimentaufbauten vergrößern lässt. Am HMI-Forschungsreaktor gibt es eine eigene Versuchshalle, die von fünf Neutronenleiter-Rohren versorgt wird.



Reaktorkern mit Strahlrohren und Wasserzirkulation.
Die kalte Quelle befindet sich in einer Strahlrohrposition am Kern.

Was wird für die Sicherheit getan?

Die möglichen Strahlengefahren der Kerntechnik waren bereits zu Beginn ihrer Nutzung in Deutschland bekannt. Sehr früh wurde daher ein Sicherheitsnetz aus Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien geknüpft. Dieses Netz hat zu einem Sicherheits-Standard bei kerntechnischen Anlagen geführt, der, im Vergleich mit konventionellen Anlagen, außerordentlich hoch ist. Stützpfiler eines sicheren Betriebes sind heute:

- aktive Schutzeinrichtungen zur Kontrolle, Überwachung, Steuerung und Regelung,
- passive Schutzeinrichtungen in der Konzeption der Anlage, wie zum Beispiel das Prinzip der Mehrfach-Barrieren,
- organisatorische Maßnahmen des Betreibers einer kerntechnischen Anlage,
- Maßnahmen der Aufsichtsbehörden, die auf einem erprobten Netz aus Richtlinien und Verordnungen basieren.

Aktive Schutzeinrichtungen

Das aktive »Reaktorschutz-System« tritt bei Zwischenfällen in Aktion. Es muß eine Reihe von grundsätzlichen Forderungen erfüllen:

1. Schutzaktionen müssen eindeutig sicherheitsgerichtet sein, das heißt, bei Fehlauflösungen dürfen andere Schutzaktionen nicht behindert werden.
2. Zeigt ein Signal an, dass eine Schutzaktion notwendig ist, so darf dies in keinem Fall behindert werden, zum Beispiel durch laufende Prüf- und Wartungsarbeiten am Schutzsystem und einen möglicherweise gleichzeitigen Ausfall von Sicherheitskomponenten. Im Allgemeinen wird dies durch das Vorhandensein von drei gleichen, voneinander unabhängigen Geräte-Gruppen gewährleistet.
3. Fehler müssen sich selbst melden.
4. Eingebaut werden dürfen nur nach einem entsprechenden Eignungstest von der Genehmigungsbehörde gebilligte Geräte. Dieser Test berücksichtigt die ungünstigsten Betriebsbedingungen, unter anderem im Hinblick auf die Betriebstemperatur, zu hohe oder zu niedrige elektrische Spannung, Feuchtigkeit sowie mechanische Einflüsse.

Die aktiven Schutzsysteme sind weitgehend automatisiert. Eventuell nötig werdende Eingriffe von Hand dürfen frühestens 30 Minuten nach einem Störfall erforderlich sein. Damit bleibt Zeit genug, in Ruhe zu entscheiden und die Ursache der Störung zu ermitteln.

Passive Schutzeinrichtungen

Ein Beispiel für die passiven Schutzeinrichtungen in der Kerntechnik ist das »Mehrfach-Barrieren-Prinzip« für die Rückhaltung radioaktiver Spaltprodukte. Im Falle des HMI-Forschungsreaktors bildet die erste Barriere der Kernbrennstoff selbst, die zweite die den Kernbrennstoff umgebende Hülle, die dritte das Wasser und die letzte schließlich die Reaktorthalle.

Ein anderes Beispiel ist die Abfuhr der Wärme, die auch nach einer Abschaltung des HMI-Forschungsreaktors noch produziert wird: die Wärmeabfuhr geschieht durch die Naturkonvektion, die selbständige Zirkulation des Wassers im Reaktorbecken - eine Pumpe ist nicht nötig.

Auch das Abschaltssystem des BER II bietet passiven Schutz: bei einer Betriebsstörung fallen die Kontrollstäbe allein durch Schwerkraft in den Reaktorkern und setzen damit den Reaktor außer Betrieb.

Passive Schutzeinrichtungen gewährleisten einen sicheren Betrieb, ohne dass irgendwelche Anlagen oder Apparate eingeschaltet werden müssen.

Die aktiven und passiven Schutzeinrichtungen berücksichtigen ein Höchstmaß aller technischen Möglichkeiten, um Störfälle zu verhindern und vor Schäden zu schützen.

Maßnahmen des Betreibers

Der Betreiber der Anlage - im vorliegenden Falle das Hahn-Meitner-Institut - muss nachweisen, wie er die Sicherheit gewährleistet. So dürfen zum Beispiel für den Bau einer Anlage nur solche Teile verwendet werden, die von einem Gutachter geprüft wurden. Auch während des späteren Betriebs muss die Anlage regelmäßig inspiziert werden. Dies geschieht unter Beteiligung des TÜV. Schließlich muss das Betriebspersonal die entsprechenden Fachkenntnisse haben. Auch dies ist der Aufsichtsbehörde nachzuweisen.

Maßnahmen der Aufsichts-Behörden

Soll eine kerntechnische Anlage errichtet oder verändert werden, so ist zuvor der zuständigen Genehmigungsbehörde ein Sicherheitsbericht vorzulegen. In diesem Bericht müssen alle betrieblichen Abläufe und die Beherrschung aller Störungen genau erläutert sein. Die Genehmigungsbehörde lässt den Sicherheitsbericht von unabhängigen Fachgremien - zum Beispiel dem Technischen Überwachungsverein - begutachten. Beurteilungskriterien sind der Stand von Wissenschaft und Technik sowie die kerntechnischen Regeln und Verordnungen. Auf der Grundlage dieser Fachgutachten erfolgt die Entscheidung der Aufsichtsbehörde, wobei im Allgemeinen bei der Genehmigung Auflagen gemacht werden.

Mehrmals im Jahr überprüfen Beamte der Europäischen Gemeinschaft und der Internationalen Atomenergie-Behörde den Bestand an Kernbrennstoffen. Diese Kontrollen stellen sicher, dass keine Kernbrennstoffe zu Zwecken abgezweigt werden, die der ausschließlich friedlichen Nutzung des Reaktors widersprechen.

Nicht zuletzt kontrolliert die Abteilung Strahlenschutz des HMI laufend, ob radioaktive Stoffe an die Umgebung abgegeben werden und welcher Strahlenbelastung die Arbeitnehmer ausgesetzt sind.

All diese Faktoren gewährleisten einen sicheren Betrieb des Reaktors. Die Strahlenbelastung der unmittelbaren Umgebung durch den Reaktorbetrieb liegt unter 1 Millirem pro Jahr. Das ist nur ein Bruchteil der natürlichen Strahlenbelastung, die in Berlin pro Jahr zwischen 90 und 220 Millirem beträgt.

Bei der Planung wurden alle denkbaren technischen Störungen analysiert und in der Auslegung der Anlage berücksichtigt. Selbst bei dem nicht zu erwartenden Fall des Eintretens eines solchen sogenannten Auslegungs-Störfalles bleibt die Strahlenbelastung in der Umgebung deutlich unterhalb der Grenzen, die in der Strahlenschutzverordnung festgelegt sind.

Trotz des hohen Aufwandes ist jedoch eine absolute Sicherheit nicht erreichbar. Dies gilt für jede technische Anlage. Die im Vergleich mit einem Kernkraftwerk geringe Größe des HMI-Forschungsreaktors führt zu einem entsprechend geringen radioaktiven Inventar. Auch dadurch ist das verbleibende Risiko äußerst gering und liegt erheblich unter anderen Risiken, die in unserer Gesellschaft allgemein akzeptiert werden.

Maßnahmen der Aufsichtsorgane und der Betreiber kerntechnischer Anlagen sind:

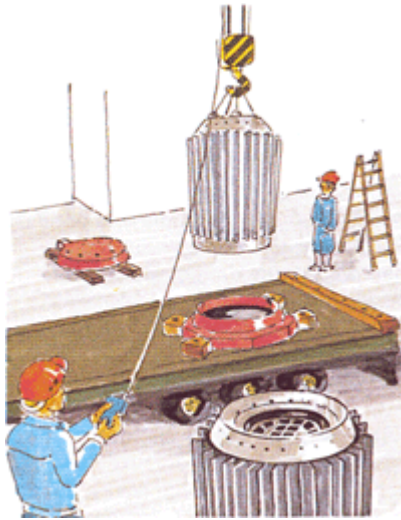
- **Qualitätssicherung der Komponenten**
- **Fachkundetraining des Personals**
- **Regelmäßig wiederkehrende Prüfungen, zum Beispiel durch den TÜV**
- **Überwachung von Personen, Gebäuden und Umgebung auf Radioaktivität durch unabhängige Strahlenschutz-Fachkräfte.**

Notfallschutz

Die Behörden der Bundesländer Berlin und Brandenburg haben für den Forschungsreaktor als ergänzende Vorsorgemaßnahme auch einen Notfallschutzplan erstellt. In einer zusammenfassenden Information für die Bevölkerung in der Umgebung des Forschungsreaktors sind die wesentlichen Maßnahmen dieser Planungen zum Notfallschutz dargestellt.

Was passiert mit den radioaktiven Abfällen?

Beim HMI-Forschungsreaktor fallen zwei Arten von Abfällen an: die verbrauchten Kernbrennstoffe und sonstige radioaktive Stoffe.



In dickwandigen Spezialbehältern sind die Brennelemente für den Transport sicher verschlossen.

Verbrauchte Uran-Brennelemente werden zur Zwischenlagerung und späteren Endlagerung in die USA gebracht. Der Abtransport verbrauchter Brennelemente erfolgt etwa alle ein bis zwei Jahre in dickwandigen Spezialbehältern, die vor Strahlung schützen und auch möglichen Unfällen standhalten.

Die sonstigen aktiven Stoffe sind »schwachradioaktiv«, in wenigen Fällen »mittelradioaktiv«. Diese teils flüssigen, teils festen Abfälle fallen beim Betrieb des Reaktors an. Dazu zählen unter anderem Harze der Wasserreinigungsanlagen und aus dem Experimentierbetrieb stammende Einsätze aus den Strahlrohren. Die Dokumentation des Strahlenschutzes am HMI zeigt, dass die Aktivität dieser Materialien gering ist. Flüssige Abfälle werden mit Beton vermischt verfestigt und wie die festen Abfälle in 200-Liter-Fässern eingeschlossen. Als Deponie ist ein unterirdisches Endlager der Bundesrepublik Deutschland vorgesehen.

Auch andernorts in Berlin, vor allem in Krankenhäusern, fallen radioaktive Abfälle an. Der Beitrag des HMI zur Gesamtmenge Berlins liegt insgesamt bei rund fünf bis zehn Prozent.

Transportiert in sicheren Spezialbehältern, gelangen die abgebrannten Brennelemente des HMI-Forschungsreaktors in die USA. Die übrigen radioaktiven Abfälle werden vorbereitet für die Endlagerung in der Bundesrepublik.

Reaktordaten

Typ: offener, leichtwassermoderierter Schwimmbadreaktor

Beckenmaße: 200m³ Wasservolumen, 2 Becken mit je 3,5m Durchmesser und 11m Tiefe, durch einen zwei Meter breiten Kanal verbunden.

Leistung:

- mehr als 10¹⁴ Neutronen je Quadratmeter und Sekunde im Kern
- 10 Megawatt thermische Leistung

Brennelemente: 24 Vollelemente mit je 322g U235 und 6 Elemente zur Aufnahme der Steuerstäbe mit je 238g U235

Steuerstäbe: 6 Steuerstäbe (Neutronen-Absorber)

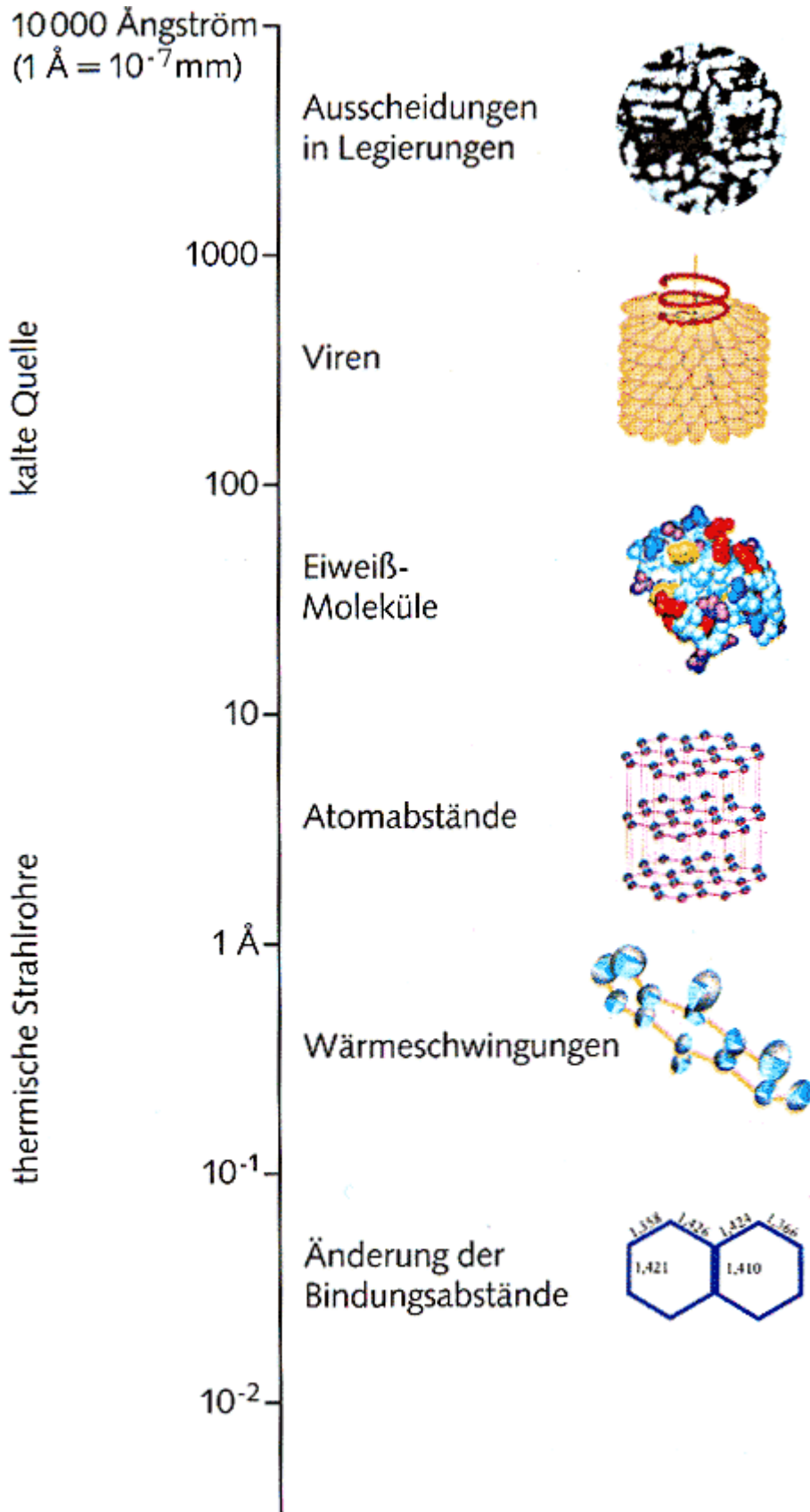
Reflektor: 32cm Berylliummantel

Strahlrohre: 9 Strahlrohre (Experimentierhalle)

Neutronenleiter: 5 Neutronenleiter für 8 Versuchsaufbauten (Versuchshalle)

Bestrahlungsvorrichtungen: 4 - sowie schnelle Rohrpost für Strahlrohr

Größenbereiche der Strukturforschung am HMI-Forschungsreaktor



Größenverhältnisse