



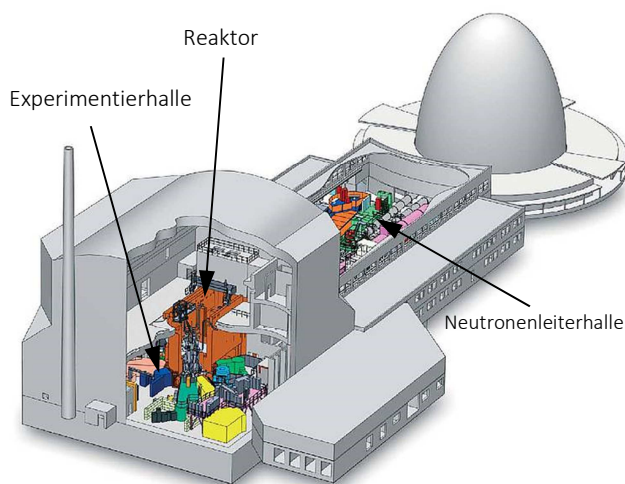
Übersicht über die Gesamtanlage FRM II

von
Dipl.-Phys. Carsten Fister

Alle übrigen Gebäude dienen als Büro-, Werkstatt- oder Lagergebäude und enthalten keine für den Reaktorbetrieb relevanten Systeme.

2 Übersicht über den Reaktor

Der FRM II ist ein sogenannter „**Schwimmbadreaktor**“, was bedeutet, dass sich der Reaktor in einem oben offenen Becken befindet. Dies ist eine charakteristische Bauart für Forschungsreaktoren, bei denen auch im Betrieb Handhabungen am Reaktor durchgeführt werden, z. B. um Proben zu bestrahlen. Die Abschirmung des Reaktors zur Reaktorhalle hin wird durch eine ausreichend dicke Wasserschicht und eine permanente Überwachung der Dosisleistung im Reaktorkühlmittel und an der Beckenoberkante sichergestellt.¹



Gleichzeitig ist der FRM II auch ein **Schwerwasserreaktor**, da sich der Reaktorkern innerhalb eines mit schwerem Wasser (D_2O) gefüllten Tanks befindet. In diesem befinden sich auch alle Bestrahlungspositionen und die Nasen der Strahlrohre. Als Primärkühlmittel und zur Füllung des Reaktorbeckens wird dagegen aus Kostengründen – und im Falle des Beckens auch wegen der besseren Abschirmung – normales Wasser (Leichtwasser) verwendet. Die bei der Kernreaktion erzeugte Wärme wird über einen Kühlturm an die Umgebungsluft abgegeben.

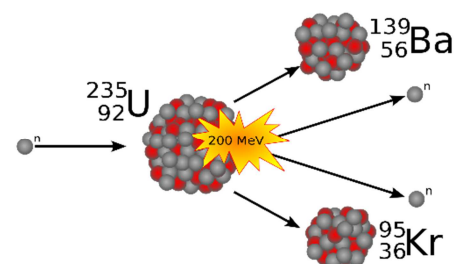
In der **Experimentierhalle**, welche U-förmig um den Reaktor herum angelegt ist, und in den beiden **Neutronenleiterhallen** (West und Ost)

beiderseits des Reaktorgebäudes befinden sich die wissenschaftlichen Experimentalaufbauten. Sie werden über Strahlrohre und Neutronenleiter mit Neutronen verschiedener Energie versorgt.

Jenseits der Neutronenleiterhalle West steht der ehemalige Forschungsreaktor **FRM** („Atom-Ei“), auch als FRM (alt) bezeichnet. Er ist seit 2000 nicht mehr in Betrieb.

3 Kernreaktion

Während des Betriebs findet im Kern des FRM II eine gesteuerte **Kernspaltung** statt. Dabei werden Atomkerne des Uranisotops $U-235$ durch Absorption von „thermischen“ Neutronen² (~ 1 eV) in zwei leichtere Atomkerne zerlegt. Dabei entstehen Wärme in Form von kinetischer Energie und hochenergetische Neutronen (~ 2 MeV). Letztere werden dann in einem **Moderator** abgebremst, so dass sie wieder als thermische Neutronen für die nächste Spaltung zur Verfügung stehen.



Im FRM II wird als Moderator Schweres Wasser (D_2O) verwendet, da es gut moderiert und gleichzeitig praktisch keine Neutronen absorbiert. Allerdings ist D_2O relativ teuer und bei der Moderation wird in geringen Mengen radioaktives Tritium erzeugt.

Die Steuerung der Kernreaktion erfolgt durch das Einbringen von **Absorbern**, also neutronenaufnehmenden Materialien. Dies sind am FRM II primär der Regelstab und die Abschaltstäbe, aber auch unabsichtlich bei der Kernreaktion entstehende neutronenabsorbierende Zerfallsprodukte wie z. B. Xenon-135.

¹ Bei Kernkraftwerken befindet sich der Reaktor in einem geschlossenen Druckbehälter, da sie zum Erreichen wirtschaftlich sinnvoller Wirkungsgrade mit hohem Druck und hoher Temperatur betrieben werden müssen.

² „Thermische“ Neutronen sind Neutronen, deren Energie derjenigen von freien Elektronen bei Umgebungstemperatur entspricht (also im FRM II ca. 50°C).

4 Brennelement und Steuerstäbe



Der Kern des FRM II besteht aus einem einzelnen, speziell für Forschungsreaktoren entwickelten, zylindrischen **Brennelement** von etwa 1,3 m Länge und 24 cm Durchmesser. Es enthält etwa 8 kg Uran, davon 90,5 % spaltbares U-235³. Jedes Brennelement ist für eine Betriebszeit („Zyklus“) von 60 Tagen ausgelegt, pro Jahr werden normalerweise vier Brennelemente verbraucht.

Im Betrieb befindet sich das Brennelement innerhalb des Zentralkanal, der als senkrecht Rohr durch den Moderator tank führt. Dort ist es außen von Schwerwasser als Moderator umgeben, während es innen von Leichtwasser als Kühlmittel durchströmt wird.

Am Zyklusende wird das Brennelement aus dem Zentralkanal ausgebaut und in einem Lagergestell im Absetzbecken gelagert, wo es mehrere Jahre „abklingt“, d. h. die Aktivität und Wärmeproduktion der Spaltprodukte nimmt ab. Anschließend kann es in einen Lager- und Transportbehälter (CASTOR®) umgeladen und in einem Zwischenlager eingelagert werden.

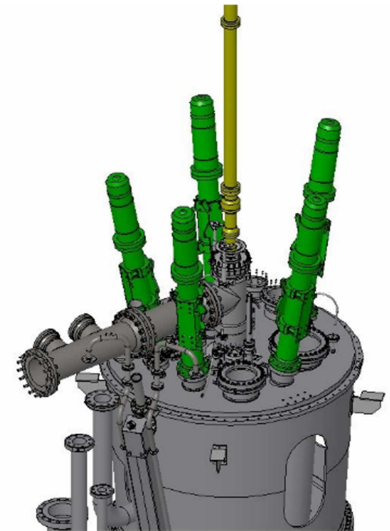
Um die Leistung des Brennelements zu regeln und es bei abgeschaltetem Reaktor sicher unterkritisch zu machen, verfügt der FRM II über fünf Abschaltstäbe und einen Regelstab. Alle sechs Stäbe sind mit Absorbern aus Hafnium ausgestattet

und verfügen über Magnetkupplungen, die sie mit den jeweiligen Antriebseinheiten verbinden.

Die **Abschaltstäbe** dienen dabei ausschließlich der Abschaltung des Reaktors. Bei Auslösung der Reaktorschnellabschaltung (RESA) werden die Magnetkupplungen abgeschaltet und die Stäbe fallen durch ihr Eigengewicht in ihre unteren Endlagen nahe dem Brennelement. Bereits das Einfallen von vier der fünf Abschaltstäbe reicht aus, um den Reaktor aus jedem Betriebszustand unterkritisch zu machen. Die Antriebe haben ausschließlich die Aufgabe, sie beim Anfahren in die obere Endlage zu bewegen.

Der einzelne **Regelstab** wird zentral von oben in das Brennelement hineingefahren. Durch sein Ausfahren wird der Reaktor kritisch gemacht und seine Position bestimmt die aktuelle Reaktorleistung. Im Falle einer RESA fällt auch der Regelstab durch Abschalten der Magnetkupplung in seine untere Endposition im Brennelement. Dies alleine reicht aus, um den Reaktor unterkritisch zu machen.

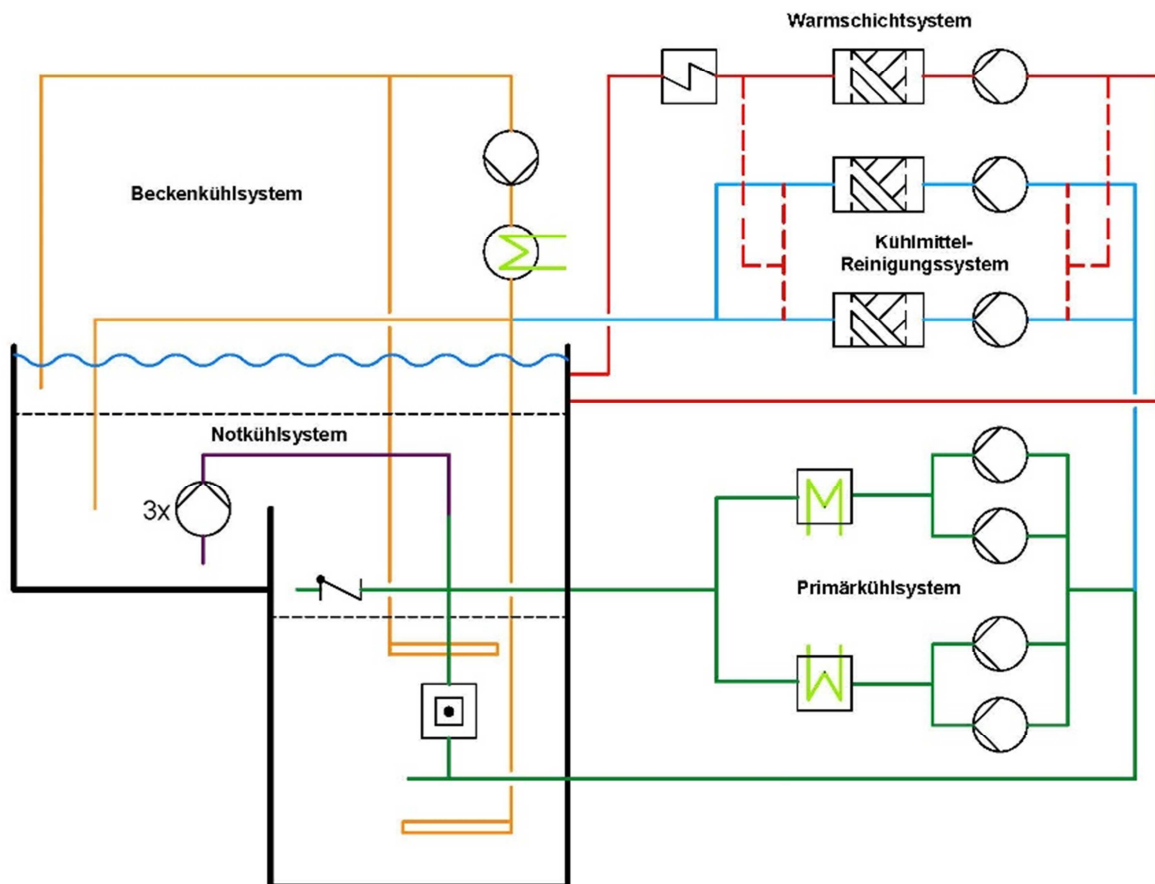
Der Antrieb des Regelstabes befindet sich oberhalb des Reaktorbeckens in der Steuerbrücke. Er muss daher vor Arbeiten im Reaktorbecken abgekoppelt und zur Seite weggefahren werden. Der Regelstab selbst verbleibt dabei abgekoppelt im Brennelement.



5 Primär- und Beckenkühlkreisläufe

Im Leistungsbetrieb erzeugt das Brennelement ständig 20 MW an Wärme. Dazu kommen weitere Wärmequellen, wie die abgebrannten Brennelemente im Absetzbecken oder die Konverterplatten der Strahlrohrkonverteranlage. Diese Wärme wird durch zwei Systeme abgeführt, die zwar als „Kreisläufe“ bezeichnet werden, aber tatsächlich jeweils Anschlüsse zum Reaktorbecken haben und damit indirekt verbunden sind:

³ Wegen des hohen Spaltstoffanteils spricht man von „hochangereichertem Uran“. Zum Vergleich: In Brennelementen für Kernkraftwerke liegt die mittlere Anreicherung bei 4,5 %.



Der **Primärkühlkreislauf** (im Bild grün) ist der wichtigste Kühlkreislauf der Anlage, da er die Kühlung des Reaktorkerns sicherstellt. Damit hat er zum einen die größte Wärmelast abzuführen, zum anderen schützt er das Brennelement vor einer Überhitzung, die zu dessen Beschädigung und damit zur Freisetzung von Aktivität führen könnte.

Der Primärkreis wird von den vier Primärpumpen umgewälzt, zwei Primärwärmetauscher führen die Wärme an den Sekundärkühlkreislauf ab. Ein kleiner Teil des Primärinventars wird dabei ständig an die Kühlmittelreinigung abgegeben und gleichzeitig über eine Saugleitung aus dem Reaktorbecken wieder ergänzt.

Bei einem Ausfall einer oder mehrerer Primärpumpen bzw. der Wärmetauscher wird der Reaktor automatisch abgeschaltet und die drei **Notkühlpumpen** gestartet. Diese fördern für 3 Std. Wasser vom Absetzbecken über das Brennelement ins Reaktorbecken, welches die Nachzerfallswärme nach der Abschaltung aufnehmen kann, ohne sich auf mehr als 80 °C zu erhitzen.

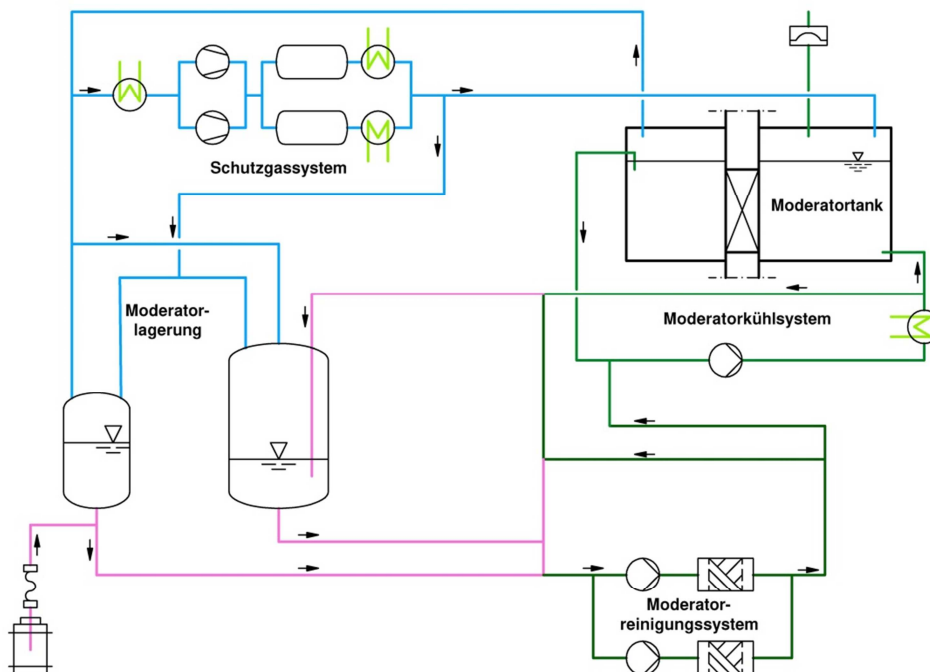
Das **Beckenkühlsystem** (im Bild orange) besitzt saug- und druckseitige Verbindungen zu Reaktor- und Absetzbecken. Damit wird im Betrieb Wärme aus dem Beckenwasser über den Beckenkühler an den Sekundärkreislauf abgeführt.

Die zweisträngige **Kühlmittelreinigung** entfernt Aktivität und Korrosionsprodukte aus dem Kühlmittel. Dazu ist es parallel zu Primär- und Beckenkühlsystem geschaltet. Ein dritter getrennter Strang reinigt als **Wärmeschichtsystem** die oberste, ca. 1,5 m dicke, Wasserschicht von Reaktor- und Absetzbecken. Durch einen Heizer wird diese „Wärmeschicht“ dabei stets einige Grad wärmer als der Rest des Beckenwassers gehalten, so dass sie die Becken abdeckt und ein Aufstieg von Aktivitäten aus tieferen Schichten an die Wasseroberfläche verhindert wird.

6 Moderatorkreislauf

Der Zentralkanal mit dem Brennelement befindet sich innerhalb des Moderator tanks, der mit 16,5 m³ Schwerwasser gefüllt ist. Dieses Inventar nimmt einen Teil der Wärmeleistung aus der Kernreaktion auf, der über das **Moderatorkühlsystem** an den Sekundärkühlkreis abgeführt wird.

An das Moderatorkühlsystem sind weitere Hilfssysteme des Moderatorkreislaufes angeschlossen: Zum einen das **Moderatorreinigungssystem**, welches ähnlich dem Kühlmittelreinigungssystem für Leichtwasser aufgebaut ist und auch die gleiche Aufgabe erfüllt. Zum anderen die **Moderatorlagerung**, die in zwei Behältern frisches D₂O zum Nachspeisen bereithält, Volumenänderungen des Moderators puffert und bei Bedarf auch den gesamten Inhalt des Moderator tanks aufnehmen kann.



Die „Lufträume“ aller mit Schwerwasser gefüllten Behälter in der Anlage sind mit Helium gefüllt, um die Reinheit des D₂O zu erhalten und einen definierten Systemdruck aufzuprägen. Das **Schutzgassystem** wälzt dieses Heliumgas um, kühlt es und entfernt Radiolysegase. Gleichzeitig verbindet es alle Heliumvolumina untereinander, so dass Änderungen des D₂O-Volumens in den Behältern gaseitig ausgeglichen werden⁴.

7 Bestrahlungs- und Experimentiereinrichtungen

Die Hauptaufgabe des FRM II besteht in der Bereitstellung von Neutronen für die Forschung. Dies geschieht auf zwei Wegen:

Bestrahlung von Proben:

Am FRM II stehen mehrere Systeme zur Verfügung, mit denen Proben im Neutronenfeld des Reaktors bestrahlt werden können: Die **Kapselbestrahlungsanlage** und die **Rohrpostanlage** transportieren Proben über mehrsträngige, fest installierte Rohrsysteme in den Reaktor und am Ende der

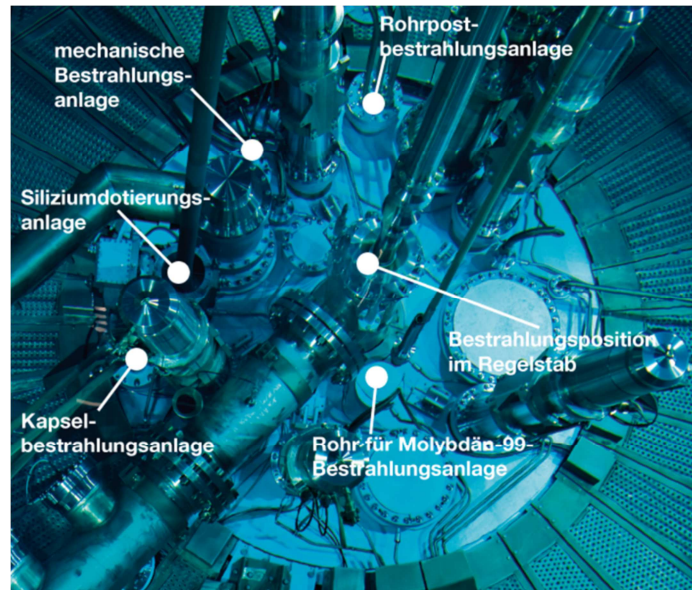
⁴ Dies wird als „Verschiebegas“ bezeichnet: Wird Schwerwasser von Behälter A nach Behälter B gepumpt, so fließt durch die Füllstandsänderung Heliumgas von B nach A. Das Gesamtvolumen von Gas und Wasser in jedem Behälter bleibt dabei stets gleich.

Bestrahlungszeit wieder heraus. Das Funktionsprinzip ist vergleichbar, allerdings unterscheiden sich beide Systeme in Probengröße, Neutronenfluss und Transportmedium⁵.

Größere Proben können manuell mit der **Bestrahlungseinrichtung für großvolumige Proben** in den Reaktor eingebracht werden⁶. Aufgrund der Vorgehensweise spricht man hierbei auch von „Angelschnurbestrahlung“.

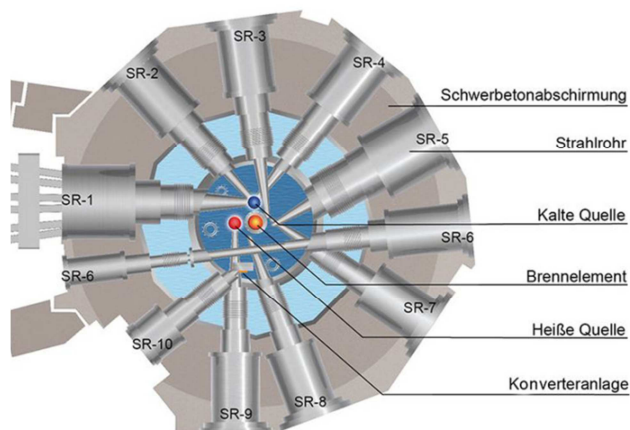
Mit der **Siliziumdotierungsanlage** werden für industrielle Zwecke bis zu 36 kg schwere Siliziumkristalle bestrahlt. Dazu werden sie mit einer Handhabungseinrichtung in den Moderatortank abgesenkt und während der Bestrahlung ständig gedreht, um eine homogene Dotierung zu erhalten.

Eine weitere Bestrahlungsposition befindet sich im Inneren des Regelstabs. Außerdem ist für die Zukunft der Einbau einer Bestrahlungsanlage zur Erzeugung von Molybdän-99 am FRM II vorgesehen.



Auskopplung von Neutronen für Experimente:

Zur Versorgung von Experimenten mit Neutronen aus dem Reaktor verfügt der FRM II über insgesamt zwölf **Strahlrohre**. Diese sind so in den Moderatortank eingebaut, dass sie Neutronen aus dem Neutronenfeld des Kerns oder aus einer sekundären Neutronenquelle aus dem Reaktor heraus leiten. Über **Neutronenleiter** werden die Neutronen anschließend zu den Experimenten in der Experimentierhalle oder in der Neutronenleiterhalle West geführt. Die Versorgung weiterer Experimente in der Neutronenleiterhalle Ost ist in Planung.



Die Leckageüberwachung sowie die Kühlung und Trocknung der Heliumfüllung in den Strahlrohren geschieht durch das **Helium-Flutsystem für Strahlrohre**.

Die Einbaulage der waagerechten Strahlrohre 1 bis 10 wird im Bild links gezeigt. Die Strahlrohre 11 und 12 ragen schräg von oben in den Moderatortank und sind nicht abgebildet.

Um das verfügbare Neutronenspektrum des FRM II zu erweitern befinden sich drei sekundäre Neutronenquellen im Moderatortank:

Die **Kalte Neutronenquelle** enthält flüssiges Deuterium bei ca. 25 K, welches die Reaktor-neutronen weiter bis auf Energien von 40 meV und niedriger moderiert. Sie versorgt die Strahlrohre 1, 2 und 4.

Die **Heiße Neutronenquelle** enthält auf ca. 2000 °C aufgeheizten Graphit, in dem Neutronen auf Energien von mehreren hundert meV beschleunigt werden. Sie versorgt das Strahlrohr 9.

Die **Strahlrohrkonverteranlage** schließlich enthält hochangereichertes Uran, in dem die Reaktor-neutronen Kernspaltungen auslösen. Die erzeugten schnellen Spaltneutronen (ca. 1,9 MeV) werden im Strahlrohr 10 genutzt.

⁵ Kapselbestrahlungsanlage: Neutronenfluss $1,3 \cdot 10^{14}$ n/(cm²·s), Größe bis 34 cm³, Transportmedium Wasser (gleichzeitig Kühlung)
Rohrpostanlage: Neutronenfluss $5 \cdot 10^{12}$ bis $7 \cdot 10^{13}$ n/(cm²·s), Größe bis 13 cm³, Transportmedium CO₂ (ungekühlt)

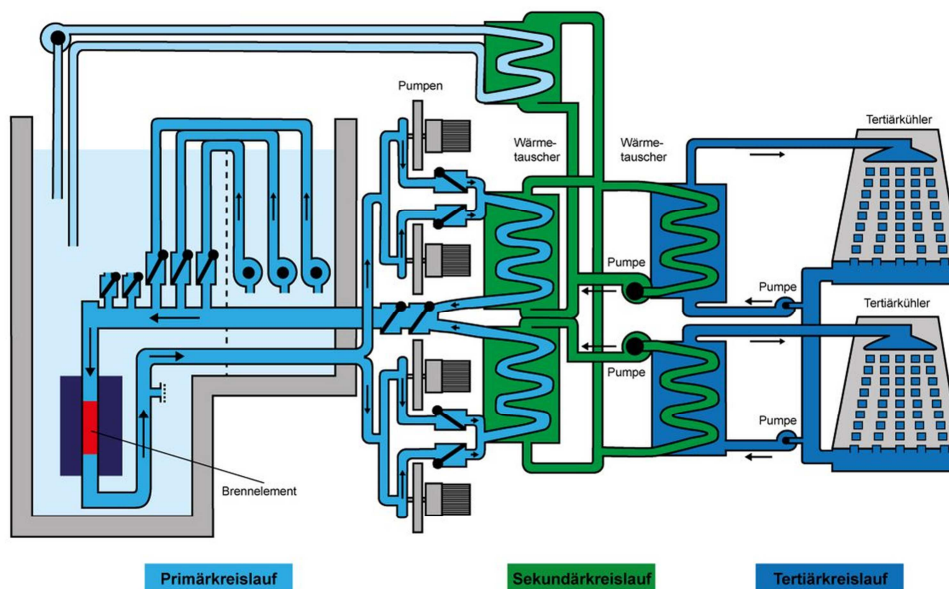
⁶ Neutronenfluss $1,2 \cdot 10^{13}$ n/(cm²·s), Größe bis 120 cm³,

Das tangential durch den kompletten Reaktor führende Strahlrohr 6 ist derzeit nicht in Gebrauch. Es soll in der Zukunft für eine Ultrakalte Neutronenquelle mit noch deutlich niedrigeren Elektronenenergien genutzt werden.

8 Kühlwassersysteme

Das **Tertiärkühlsystem** stellt die Hauptwärmesenke des FRM II dar. Es übernimmt die abgeführte Wärme aus den Reaktorsystemen – namentlich vor allem aus Primärkühlkreis, Beckenkühlsystem und Moderatorkühlsystem – und aus der Kalten Quelle und führt diese über einen **Kühlturm** mit vier Zellenkühlern an die Umgebungsluft ab. Ein angeschlossener **Reinigungskreislauf** filtert Schmutz und Fremdkörper aus dem Tertiärkühlwasser, eine **Dosiereinrichtung** übernimmt die chemische Konditionierung des Kühlwassers.

Um bei einer Wärmetauscherleckage keine Aktivität aus dem Reaktor in das (zur Umgebung offene) Tertiärkühlsystem auszutragen, geben die reaktornahen Kühlsysteme ihre Wärme nicht direkt an das Tertiärkühlwasser ab. Stattdessen ist dazwischen noch ein **Sekundärkühlkreis** geschaltet.



Eine ähnliche Struktur sorgt für die Wärmeabfuhr der übrigen Systeme im Kontrollbereich. Hier werden die Kühlstellen vom **Zwischenkühlkreis Kontrollbereich** gekühlt, dessen Wärmesenke das **Brunnenwasser-Kühlsystem** darstellt. Letzteres ist unabhängig vom Tertiärkühlsystem und bezieht sein Kühlwasser aus einem Horizontalbrunnen. Nach der Wärmeaufnahme wird es an die Isar abgegeben. Ein Teilstrom des Brunnenwasser-Kühlsystems geht auch zum Kühlturm als Ergänzungswasser für die Verdunstungsverluste.

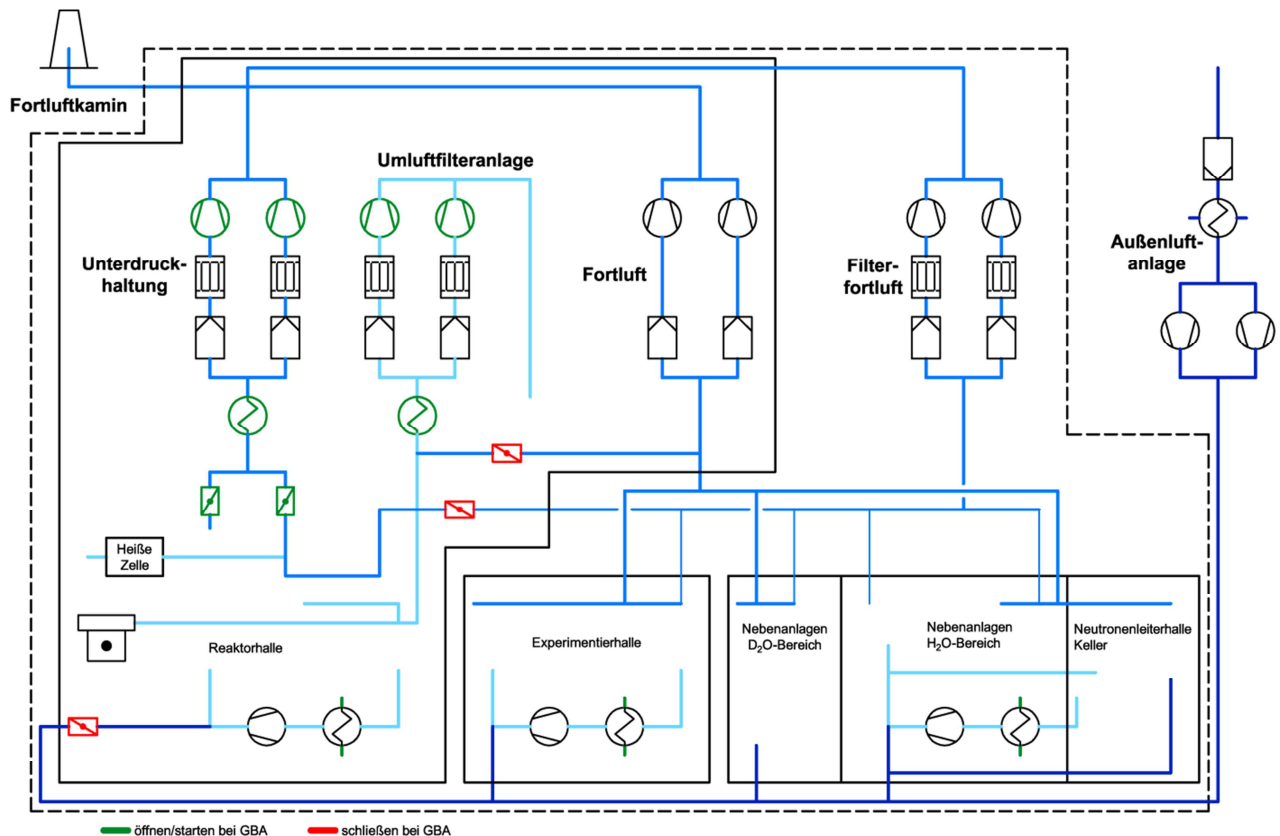
Die dritte unabhängige Kühlkette am FRM II stellt das **Kühlsystem für Instrumente** dar, welches vor allem die Experimente in den beiden Neutronenleiterhallen und die Druckluftkompressoren im Hilfsanlagegebäude kühlt. Die Wärme wird an einen Trockenkühler und (bei Bedarf) Kältemaschinen abgegeben.

9 Lüftungssysteme

Das umfangreichste Lüftungssystem am FRM II ist die Kontrollbereichslüftung im Reaktorgebäude. Sie belüftet und klimatisiert den Kontrollbereich und kann das Reaktorgebäude bei Bedarf auch lüftungstechnisch von der Außenwelt abschließen.

Die Zuluft wird über die einsträngige **Außenluftanlage** in die Anlage gefördert und dabei gefiltert, angewärmt und befeuchtet. Innerhalb des Reaktorgebäudes erfolgt die Umlüftung und Kühlung durch drei **Umluftanlagen**, die jeweils für verschiedene Raumbereiche zuständig sind⁷.

Abluftseitig stehen zwei parallele, jeweils zweisträngige Fortluftsysteme zur Verfügung: Die **Fortluftanlage** und die **Filterfortluftanlage**. Letztere ist kleiner dimensioniert und enthält zusätzliche Aktivkohlefilter zur Rückhaltung von Aerosolen und radioaktiven Edelgasen. Im Normalfall sind die Räume des Kontrollbereichs auf die Fortluftanlage geschaltet. Bei Verdacht auf Aktivitätsfreisetzung können die einzelnen Raumbereiche aber manuell auf die Filterfortluft umgeschaltet werden. Die Heiße Zelle ist aufgrund des Aktivitätspotentials sogar dauerhaft an die Filterfortluft angebunden.



Um bei einer Leckage eine unkontrollierte Verteilung von Aktivität in der Anlage zu verhindern, herrscht in allen Raumbereichen ein unterschiedlich starker Unterdruck (-1 bis -6 mbar). Die Verteilung der Unterdrücke ist so angelegt, dass die sich ergebenden Luftströmungen immer von Bereichen niedrigeren Freisetzungspotentials in Bereiche höheren Freisetzungspotentials führen. Der tiefste Unterdruck herrscht in der Heißen Zelle.

Bei Anregung des Reaktorschutzsignals „**Gebäudeabschluss**“ werden alle Verbindungen zur Außenluftanlage und zu den beiden Fortluftanlagen geschlossen. Damit ist die Abgabe von Luft aus der Reaktorhalle unterbunden. Gleichzeitig werden zwei besondere Lüftungssysteme für den Störfall gestartet: Die **Umluftfilteranlage** wälzt die Luft in der Reaktorhalle über Aktivkohlefilter um, um so die Aktivität aus der Hallenluft zu entfernen. Die **Unterdruckhalteanlage** gibt eine minimale Fortluftmenge (weniger als 1 % der Normalmenge) kontrolliert über Aktivkohlefilter ab und hält so den Unterdruck in der Reaktorhalle stabil, um auch bei Gebäudeundichtigkeiten einen Aktivitätsausstrag sicher zu vermeiden.

Weitere Lüftungssysteme stellen die Klimatisierung und Luftumwälzung in den übrigen Gebäuden des FRM II sicher. Einige davon sind sogar notstromversorgt, da sie sicherheitstechnisch wichtige

⁷ Je ein Teilsystem für Reaktorhalle, Experimentierhalle und H₂O-Bereich. Der D₂O-Bereich besitzt kein Umluftsystem.

Räume (Leittechnik, Schaltanlagen, Batterien) versorgen. Ihr Aufbau und ihre Aufgabenstellung entsprechen jedoch weitestgehend normalen Gebäudelüftungen, wie man sie auch außerhalb der Kerntechnik findet.

10 Stromversorgung

Der FRM II bezieht seinen Strom aus dem **20 kV-Normalnetzring** des Forschungscampus Garching, im Falle von Störungen besteht auch eine Querverbindung zum **20 kV-Notnetzring** des Forschungscampus. Damit erfolgt die Bereitstellung der elektrischen Versorgung für die Eigenbedarfsschienen.

Innerhalb des Eigenbedarfssystems gibt es verschiedene Hierarchieebenen, die jedoch nach den versorgten Systemen getrennt sind.

Für die Reaktoranlage:

- zwei **400 V-Hauptverteilungen**; direkt vom 20 kV-Anschluss versorgt
- zwei **400 V-Verteilungen**; jeweils alternativ von einer Hauptverteilung oder von einem Notstromdiesel versorgt
- zwei **400 V-Unterverteilungen** für die Reaktoranlage und eine **400 V-Unterverteilung** für die Notwarte; jeweils von einer 400 V-Verteilung versorgt

Für die Experimentiereinrichtungen:

- vier **400 V-Hauptverteilungen** und eine **700 V-Hauptverteilungen**; direkt vom 20 kV-Anschluss versorgt
- vier **400 V-Unterverteilungen**; Versorgung ist auf die überlagerten 400 V-Hauptverteilungen aufgeteilt

Unterhalb der beiden notstromversorgten 400 V-Verteilungen sind die **Niederspannungsschienen** verteilt, die immer parallel zur Versorgung aus der 400 V-Ebene noch eine Batterieversorgung haben:

- drei 220 V-Gleichstromverteilungen für die Notkühlpumpen
- vier 24 V-Gleichverteilungen für die Leittechnik, die Warte und die Notwarte
- drei 230 V-Wechselstromverteilungen (unterbrechungslos) für diverse sonstige Rechnersysteme
- zwei 230 V-Anschlüsse für die Konverterkühlpumpen

Im Notstromfall fallen die 400 V-Hauptverteilungen der Reaktoranlage und alle Schienen für Experimentiereinrichtungen aus. Die übrigen Schienen werden von den Notstromdieseln versorgt.

Einen guten Überblick über die elektrische Eigenbedarfsversorgung gibt der „Übersichtsschaltplan FRM II / FRM(alt)“ (7000-001-01).

11 Leittechnik

Wie in allen kerntechnischen Anlagen wird am FRM II zwischen der betrieblichen Leittechnik und der Sicherheitsleittechnik unterschieden.

Die **betriebliche Leittechnik** dient der Regelung und Überwachung der Anlage im normalen und anormalen Betrieb⁸. Sie stellt außerdem die Verfügbarkeit aller Komponenten durch Einhaltung der Betriebsparameter sicher. Die Anforderungen an die Auslegung der betrieblichen Leittechnik entsprechen dem allgemeinen Industriestandard.

⁸ Vom „anormalen Betrieb“ wird gesprochen, wenn der Betriebszustand der Anlage aufgrund von Störungen vom vorgesehenen Betriebszustand abweicht, die Anlage aber – u. U. mit vom Sollzustand abweichenden Anlagenparametern – weiterbetrieben werden kann.

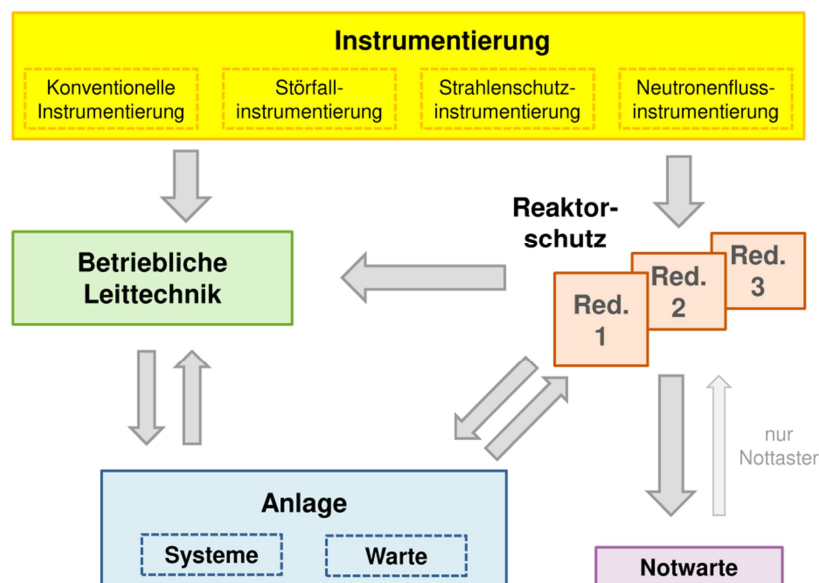
Die **Sicherheitsleittechnik** dient der Überwachung im gestörten Betrieb und löst Schutzaktionen aus, wenn die Anlagenparameter auf eine drohende oder existierende Verletzung von Schutzzielen hinweisen. Als Schutzziele gelten dabei:

1. **Kontrolle der Reaktivität:** Der Reaktor kann jederzeit sicher abgeschaltet und langfristig im unterkritischen Zustand gehalten werden.
2. **Kühlung des Brennelements:** Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor ist sichergestellt, so dass die Temperaturen des Brennelements stets in den zulässigen Grenzen bleiben.
3. **Einschluss der radioaktiven Stoffe:** Die Freisetzung von Aktivität an die Umgebung wird begrenzt. Eine unkontrollierte Freisetzung wird zu jedem Zeitpunkt verhindert.

Zur Sicherheitsleittechnik gehören vor allem der Reaktorschutz und seine Instrumentierung, aber auch die Störfallinstrumentierung und große Teile der Neutronenfluss- und Strahlenschutzinstrumentierung. Alle relevanten Messungen sind so ausgelegt, dass alle damit verbundenen Grenzwerte auch unter Störfallbedingungen sicher ansprechen. Bei ausgewählten Messungen wird sogar eine Funktionstüchtigkeit jenseits der Grenzwerte verlangt, um eine weitere Überwachung der wichtigsten Anlagenparameter auch nach Eintritt eines Störfalles zu gewährleisten.

Der Reaktorschutz ist so ausgelegt, dass seine Funktionsfähigkeit durch Einzelfehler oder systematische Fehler nicht beeinträchtigt wird. Die Auslösung von Schutzaktionen im Anforderungsfall muss immer sichergestellt sein, Fehlauflösungen müssen so weit wie möglich vermieden werden.

Ebenfalls zur Leittechnik gehört das **Prozessleitsystem** auf der Warte. Hier erfolgt die Darstellung und Dokumentation aller Messwerte zur Überwachung der Anlage. Gleichzeitig befinden sich im Prozessleitsystem auch die Steuerelemente, mit denen das Schichtpersonal die Anlage steuern und Einfluss auf die Prozesse ausüben kann.



12 Kraftwerk-Kennzeichnungssystem (KKS)

Zur eindeutigen Kennzeichnung innerhalb des FRM II wird das Kraftwerk-Kennzeichnungssystem (KKS)⁹ verwendet. Es teilt jedem System, jeder Komponente und jedem Signal eine eindeutige Kennzeichnung in Form einer 10- oder 14-stelligen Zahlen-Buchstaben-Kombination zu. Aus dieser lassen sich Art und Aufgabe einer Komponente, aber auch die Position innerhalb des Systems und (bei Signalen) die Art des Signals ablesen.

⁹ Das KKS wurde in den 70er Jahren für die Verwendung in Kraftwerken entwickelt und ist seitdem in vielen Anlagen in Deutschland sowie im Ausland gebauten Anlagen deutscher Hersteller üblich.

Gliederungsstufe 1 – System und Teilsystem

Am Anfang einer KKS steht ein dreistelliger Buchstabencode, welcher das System angibt, zu dem die Komponente gehört. Der erste Buchstabe gibt dabei die Systemart, der zweite die Systemgruppe, der dritte das eigentliche System. Anschließend folgt eine zweistellige Zahl, die innerhalb eines Systems das Teilsystem oder der Strang bezeichnet.

Beispiele:

C	= Leittechnische Anlagen
CL	= Reaktorschutz
CLE	= Reaktorschutz, Redundanz 1
CLE01	= Teilsystem A (des Reaktorschutzes, Red. 1)
K	= Nukleartechnische Hilfsanlagen
KL	= Lufttechnische Anlagen
KLA	= Lufttechnische Anlagen im Kontrollbereich
KLA70	= Filterfortluftanlage (der Lüftung im Kontrollbereich)
J	= Nukleare Energieerzeugung
JB	= Experimentiereinrichtungen im Reaktorbecken
JBA	= Strahlrohreinheiten
JBA06	= Strahlrohreinheit 6

Gliederungsstufe 2 – Aggregat oder Komponente

Den zweiten Teil der KKS bildet eine Gruppe aus zwei Buchstaben und einer dreistelligen Zahl. Die Buchstaben beschreiben, um was für eine Art von Aggregat es sich handelt (z.B. AP für Pumpe, BB für Behälter oder CT für Temperaturmessung). Die Zahl ist meist eine fortlaufende Nummerierung in Flussrichtung des Mediums, bisweilen wird die Hunderter-Stelle aber zu Kennzeichnung bestimmter Systembereiche oder Aufgabenstellungen (z.B. 4xx Entleerung oder 3xx Be-/Entlüftung) genutzt.

Beispiele:

PAB01 AA009	= Bypassklappe im Tertiärkühlkreis 1
JFA10 BR401	= Entleerungsleitung der Moderator kühlpumpe
JEA00 CP013	= Druckmessung hinter Primär kühlpumpe 3

Gliederungsstufe 3 – Betriebsmittel oder Signalkennzeichnung

Um Einzelbauteile von Komponenten oder leittechnische Signale zu kennzeichnen, wird eine dritte Gliederungsstufe aus zwei Buchstaben und einer zweistelligen Zahl ergänzt. In der Mechanik ist dies eher selten anzutreffen. In der Leittechnik dagegen trifft man diese Stufe häufig für Befehle oder Rückmeldungen an, beispielsweise als XB** für Endschaltermeldungen und Schaltanweisungen oder als XE** für Grenzwerte im Reaktorschutz.

Eine Übersicht über die Gliederungsstufen 1 und 2 gibt das BHB, Teil 0, Kapitel 3. Ein Einstieg in die Details der Gliederungsstufe 3 wird an dieser Stelle nicht empfohlen.