



Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

Axel Pichlmaier, Technischer Direktor FRM II

Ahaus, 14. September 2022

Dank an A. Görg et al für wertvolle Unterstützung

- 
1. Die Forschungs-Neutronenquelle
 2. Forschung am FRM II
 3. Entsorgung der Brennelemente



1

Die Forschungs-Neutronenquelle



München

Garching

FRM II

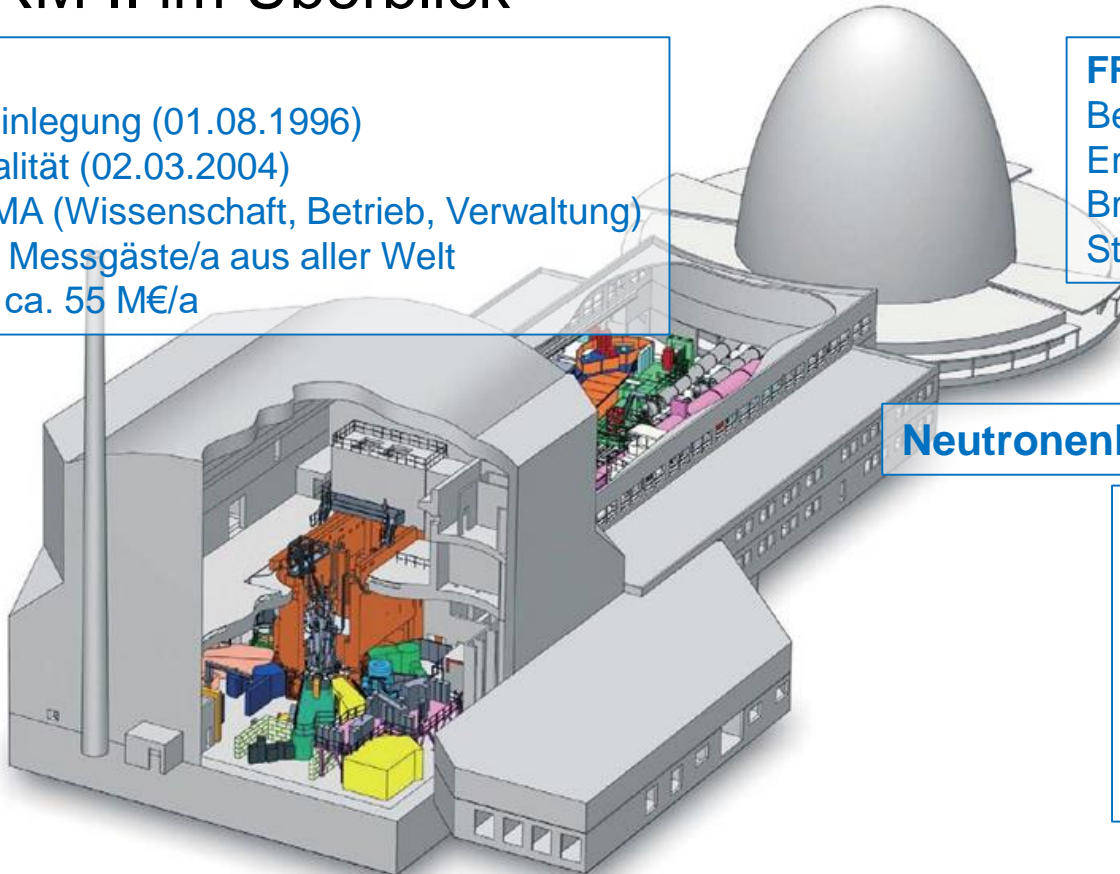
Der FRM II im Überblick

FRM II

Grundsteinlegung (01.08.1996)
Erstkritikalität (02.03.2004)
Ca. 400 MA (Wissenschaft, Betrieb, Verwaltung)
Ca. 1200 Messgäste/a aus aller Welt
Haushalt ca. 55 M€/a

FRM („Atom-Ei“)

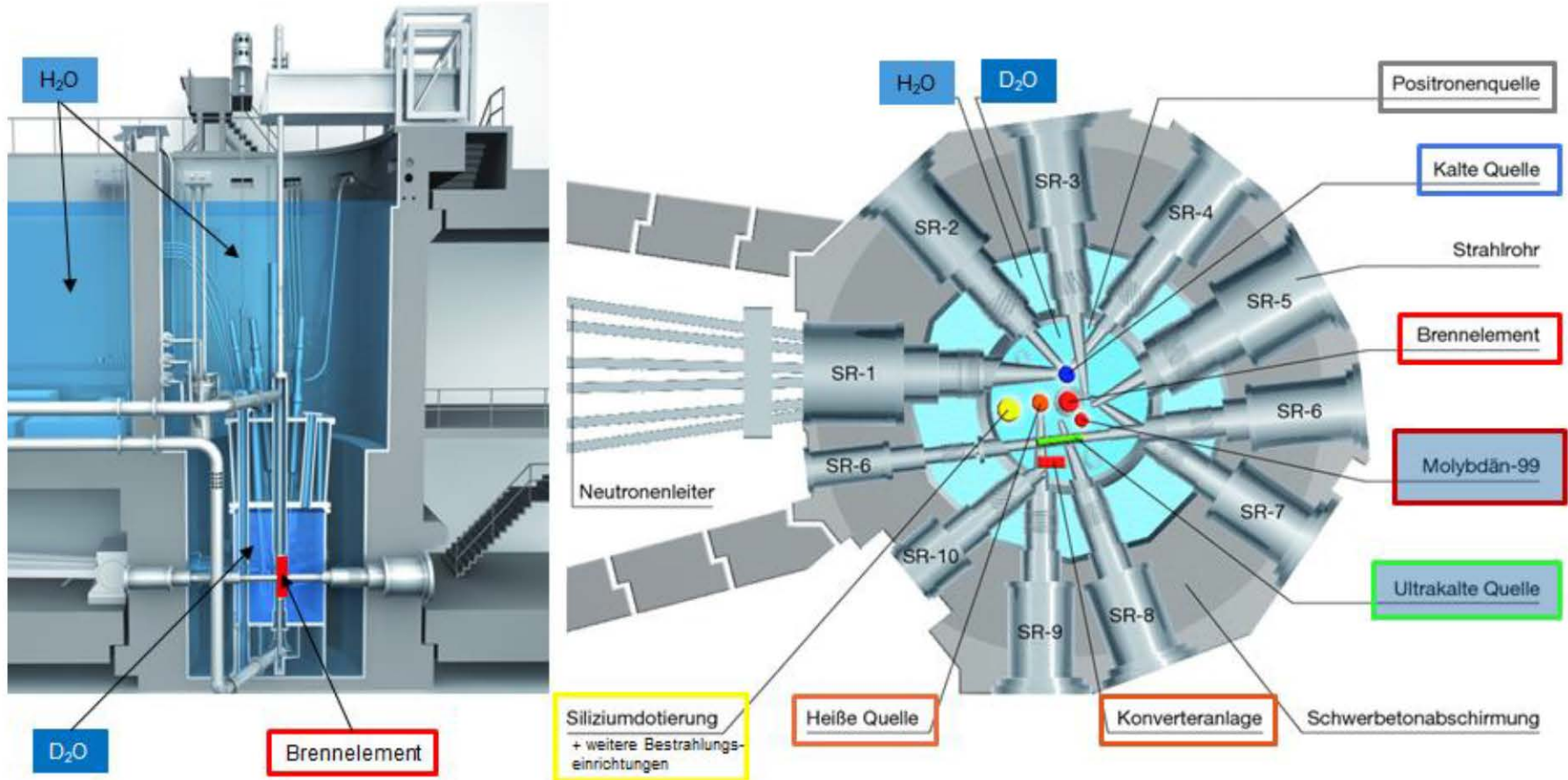
Betrieb 1957 – 2000
Erste kerntechnische Anlage in D
Brennelemente zurück nach USA
Stilllegung läuft



Neutronenleiterhalle

Fluss: $8 \cdot 10^{14}$ Neutronen/cm²/s
Moderator: **Schwerwasser**
Zykluslänge: 60 Tage
4 **Zyklen** pro Jahr
Temperatur: < 50 °C
Druck: < 10 bar
thermische **Leistung:** 20 MW

Freie Neutronen unterschiedlicher Energie



Vielfältige Möglichkeiten zur Forschung mit Neutronen

- **Jährlich bis zu 1.200 internationale Wissenschaftler:innen**
- **Mehr als 300 Publikationen**
- **Ca. 60 Promotionen und Masterarbeiten**
- **30 Instrumente im Nutzerbetrieb**

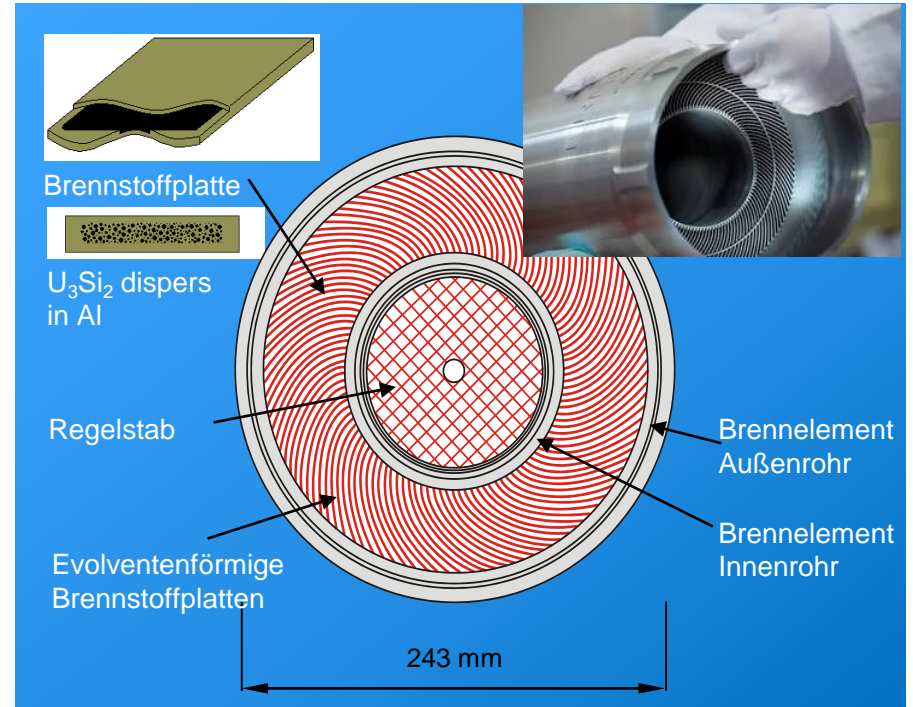


FRM II ist wichtig für ...

... wissenschaftliche Fragestellungen, sowie für medizinische und industrielle Nutzung.

Das FRM II-Brennelement

- **Jährlich bis zu 240 Tage Neutronen in 4 Zyklen zu je 60 Tagen mit je einem Brennelement.**
- 20 MW thermische Leistung
- ca. 8 kg Uran
- Hohlzylinder
 - ca. 1,3 m Länge,
 - ca. 24 cm Durchmesser,
 - Gesamtgewicht 53 kg
- Brennstoff: U_3Si_2 in Al dispergiert, in 113 Platten aus AlFeNi
- Ähnliche Brennelemente/Brennstoffe:
 - HFIR Oak Ridge
 - RHF Grenoble



 Bereits 238 Brennelemente zuverlässig und fehlerfrei eingesetzt (ILL und FRM II).

Betriebsgenehmigung des FRM II

→ Der FRM II hat eine gültige Betriebsgenehmigung

- Nebenbestimmung 9.2 der 3. Teilerrichtungsgenehmigung:
„Die erforderliche Genehmigung zur Umrüstung und zum Betrieb des Reaktors mit einem [...] Brennstoff mit abgesenktem Anreicherungsgrad von höchstens 50 % Uran-235 Anreicherung ist [...] so rechtzeitig zu beantragen, dass die Umrüstung [...] spätestens zum 31. Dezember 2010 abgeschlossen ist.“
- Nach Ansicht des BUND Naturschutz Bayern e.V. (BUND) verfügt der FRM II nicht mehr über eine gültige Betriebsgenehmigung.



Klage des BUND beim Bayerischen Verwaltungsgerichtshof.

Uran hoher und niedrigerer Anreicherung

- **Natururan** besteht aus den beiden Isotopen Uran-235 (0,7 %) und Uran-238 (99,3 %).
- Physikalisch gilt: in thermischen Reaktoren, zu denen der FRM II gehört, ist nur Uran-235 nutzbar.
- Die Trennung beider Isotope erfolgt z. B. in Zentrifugen. Dadurch kann der Gehalt von Uran-235 erhöht werden. Dieser Prozess heißt **Anreicherung**.
- Für Kernkraftwerke erfolgt die Anreicherung auf bis zu max. ca. 6 %; für den FRM II und alle anderen Hochleistungs-Forschungsreaktoren weltweit bis auf bis zu 93 %.

Trivia

- (1) Anreicherung < 20 %: **LEU**
- (2) Anreicherung > 20 %: **HEU**
- (3) Je höher die Anreicherung, desto höher sind die Schutzmaßnahmen.
- (4) Eine hohe Anreicherung erlaubt ein kompaktes Brennelement; das ist vorteilhaft für die Nutzung der Neutronen für die Forschung.



Für den FRM II wird U_3Si_2 verwendet, kein reines Uran.

Brennstoff-Forschung seit 2003

- In **internationaler Kooperation**, u. a. mit Frankreich und USA, erforscht am FRM II eine ca. fünfzehnköpfige Forschungsgruppe mögliche Brennstoffe.
- Eine **dichtere Packung** des Brennstoffs ist erforderlich, um die Verminderung der Anreicherung zu kompensieren.
- Ein solcher Brennstoff ist derzeit **weltweit nicht verfügbar** und muss nach seiner Entwicklung für den Einsatz am FRM II qualifiziert werden.

Brennstoffkandidaten

- (1) Eine hochdichte Variante des aktuell verwendeten U_3Si_2
(**hochdichtes disperses U_3Si_2**)
- (2) Legiertes Uran Molybdän Pulver in Al Matrix (**disperses U Mo**)
- (3) Legiertes Uran Molybdän in Folienform (**monolithisches U Mo**)



Bis heute wurde weltweit noch kein Hochfluss Forschungsreaktor umgerüstet.

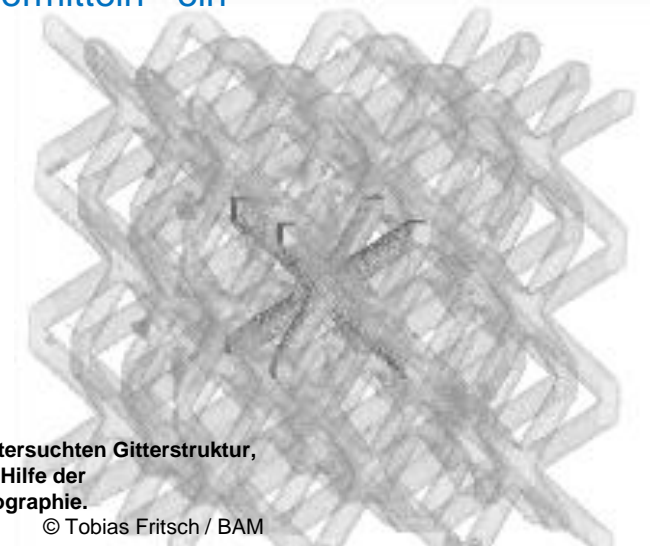


2

Forschung am FRM II

Energiesparende Turbinen aus dem 3D-Drucker

- Mit 3D-Druck hergestellte Bauteile eröffnen völlig neue Möglichkeiten, enthalten aber oft Spannungen, die zu Rissen führen können.
- Am FRM II ist es gelungen, diese Spannungen zerstörungsfrei zu ermitteln - ein Schlüssel zur Verbesserung der Produktionsprozesse.

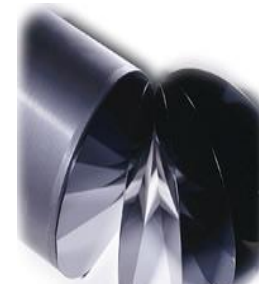


Industrie: Silizium n-Dotierung

- Hochreines Silizium für die Halbleiterindustrie, z. B. Hochspannungs-Gleichstromübertragung, Leistungselektronik für Elektroautos.
- Nur wenige geeignete Reaktoren weltweit: BR2 (Belgien), Hanaro (Südkorea), OPAL (Australien) und FRM II (Deutschland).
- Herstellung über Transmutation : **Silizium-30** → **Phosphor-31**



Silizium Einkristalle



Silizium-Wafer



Hochspannungs-
Gleichstrom-
Übertragungsanlage

▶ Hohe Nachfrage: am FRM II bis zu 15 Tonnen pro Jahr (ca. 10 % des Weltmarkts).

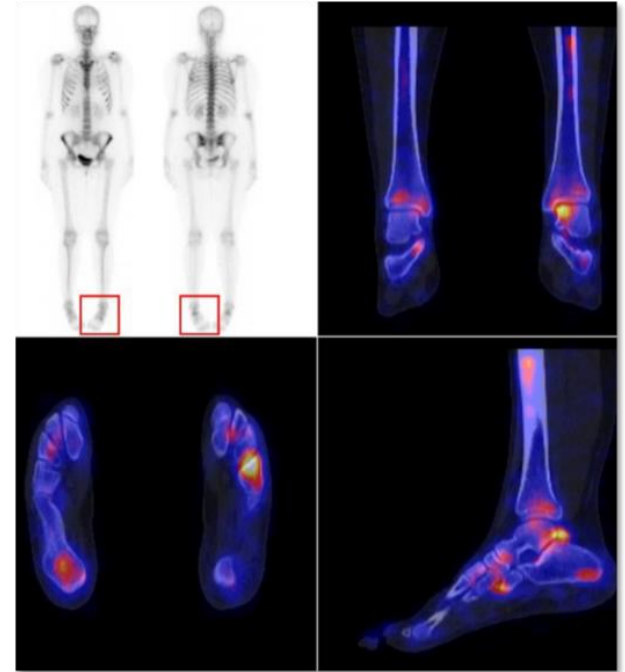
Medizin: Radioisotopenproduktion am FRM II

- **Holmium-166** (z. B. Lebermetastasen)
- **Lutetium-177** (z. B. Prostatakrebs)
- **Kobalt-60** (z. B. Bestrahlungsanlagen)

- Hoher Neutronenfluss erforderlich: wie am FRM II.

August 2022:

Genehmigung zur Produktion von **Molybdän-99** erteilt
(Tumordiagnose, 60 000 Behandlungen pro Woche alleine in
Deutschland)



Ein hoher Neutronenfluss ist besonders gut für die Radioisotopenproduktion geeignet.

Gesundheit: Was graue Zellen glücklich macht

Am FRM II konnte gezeigt werden, dass Lithium im Gehirn einer depressiven Person anders verteilt ist als bei einer gesunden Person:

Bei der gesunden Person befindet sich deutlich mehr Lithium in der weißen Substanz als in der grauen Substanz.

Bei der suizidgefährdeten Person hingegen ist die Konzentration ausgeglichen; ein systematischer Unterschied ist nicht feststellbar.





3

Entsorgung der
Brennelemente

Warum sollen die Brennelemente im Zwischenlager Ahaus aufbewahrt werden?

Langjährige bestehende Verträge:

Im Jahr **1993** hat die Stadt Ahaus im Rahmen einer Ergänzung des Ansiedlungsvertrages der Aufbewahrung von Brennelementen aus deutschen Forschungsreaktoren zugestimmt.

Die damalige Betreiberin des Zwischenlagers Ahaus hat im Jahr **2000** mit dem FRM II einen Vertrag über die zukünftige Aufbewahrung der ausgedienten FRM II Brennelemente geschlossen.



Außenansicht des Zwischenlagers Ahaus



Entsorgung der Brennelemente ist die Voraussetzung für den Weiterbetrieb des FRM II.

Wie werden die Brennelemente sicher verpackt?

Der Transport- und Lagerbehälter CASTOR MTR3 schließt fünf FRM II-Brennelemente sicher und dicht ein.

Im Zwischenlager Ahaus sollen bis zu 21 Behälter mit Brennelementen aus dem FRM II aufbewahrt werden. Die abgebrannten Brennelemente aus dem FRM II werden in CASTOR-Behältern der Bauart MTR3 sicher transportiert und gelagert.



CASTOR-Behälter des Typs MTR3



2019: Transport und Lagerbehälter für Brennelemente zugelassen.

Wie soll der Transport der Brennelemente nach Ahaus erfolgen?

Die Brennelemente des FRM II sollen mit mehreren Einzeltransporten nach Ahaus gebracht werden.

Pro Transport wird jeweils ein Behälter auf ein spezielles Transportfahrzeug geladen.

Dieses Fahrzeug besteht aus **einer Zugmaschine und einem Tiefbett-Auflieger**, die nach der "Richtlinie zum Schutz vor Störmaßnahmen oder sonstigen Einwirkungen Dritter beim Transport von Kernbrennstoffen auf Straße und Schiene" (SEWD-Richtlinie des BMU) ausgelegt sind.



Transportfahrzeug bei der Kalthandhabung
am FRM II



Während des Transports wird der gesetzlich vorgegebene Grenzwert für die Ortsdosisleistung („Strahlung“) mit großem Abstand eingehalten.

Erforderliche Zulassungen und Genehmigungen

- (1) Verkehrsrechtliche Zulassung des Transport- und Lagerbehälters vom Typ CASTOR® MTR3. ✓
- (2) Genehmigung nach § 4 AtG für den Transport der abgebrannten Brennelemente aus dem FRM II in das Zwischenlager Ahaus (erwartet nach Erteilung der Aufbewahrungsgenehmigung).
- (3) Genehmigung nach § 6 AtG für die Aufbewahrung der FRM II-Brennelemente im Zwischenlager Ahaus (erwartet nach Erfüllung der technischen und administrativen Voraussetzungen).



Die Genehmigungen erteilt das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung.

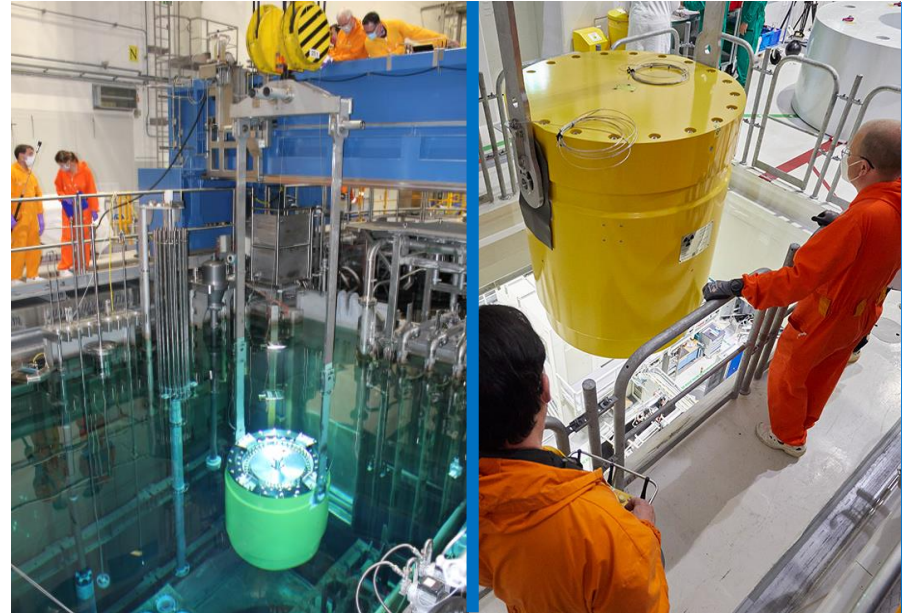
Kalthandhabung erfolgreich umgesetzt

Die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) hat die geplanten Transporte der abgebrannten Brennelemente von Garching ins Zwischenlager nach Ahaus sorgfältig vorbereitet.

Genehmigungsvoraussetzung erfüllt:

- **Handhabung des Transport- und Lagerbehälters CASTOR® MTR3**
- **Be- und Entladen des Transportfahrzeugs**

Webseite zur Entsorgung der Brennelemente:
<https://www.frm2.tum.de/frm2/entsorgung-der-brennelemente/>



Die erfolgreiche Kalthandhabung ist Genehmigungsvoraussetzung.

Zusammenfassung

Der FRM II ist ein einmaliges Werkzeug für Wissenschaft, Medizin und Industrie. Er erfüllt höchste internationale Standards.

Nach Erfüllen aller technischen und administrativen Voraussetzungen soll der Transport abgebrannter Brennelemente erfolgen.

Danke fürs Zuhören

– und zögern Sie nicht, Ihre Fragen zu stellen!





Neugierig?

