

# Rundherum sicher!

**Information für die Bevölkerung  
nach § 53 Strahlenschutzverordnung**



## Inhalt

Der Campus Garching – ein idealer Standort.....	6
Die Neutronenquelle FRM II – ein einzigartiges Mikroskop.....	7
Konzeption der Anlage .....	10
Sicherheit an erster Stelle .....	11
Überwachung des FRM II und seiner Umgebung .....	17
FRM II für Besucher offen .....	18
Katastrophenschutz.....	19
Alarmierung .....	21
Einsatzleitung .....	21
Messorganisation .....	21
Unterrichtung der Bevölkerung.....	24
Verkehrslenkung.....	24
Aufenthaltsempfehlungen.....	24
Ausgabe und Einnahme von Jodtabletten.....	25
Evakuierung.....	25
Kindergärten und Schulen.....	26
Zusammenarbeit mit zuständigen Behörden und Stellen.....	26
Nachgefragt .....	27
Fazit.....	29
Fachausdrücke und ihre Bedeutung.....	30
Impressum.....	36

## Liebe Mitbürgerinnen und Mitbürger,

die Sicherheit für Mensch und Umwelt zu gewährleisten steht für die Verantwortlichen der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) an allererster Stelle. Seit nunmehr 13 Jahren ist die Garchinger Neutronenquelle zum Wohle von Wissenschaft und Gesellschaft in Betrieb, ohne Gefährdung von Personen und Umwelt – ebenso, wie das bei ihrem Vorgänger, dem Forschungsreaktor München, während der gesamten Betriebszeit von fast fünfzig Jahren der Fall war. Die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) ist der modernste Forschungsreaktor weltweit und verfügt über ein ausgeklügeltes, redundantes, d. h. durch das Vorhandensein mehrerer, voneinander unabhängiger Komponenten gekennzeichnetes Sicherheitssystem. Der Aufbau der Anlage macht sich darüber hinaus die physikalischen Gesetze so zunutze, dass bei einer etwaigen Störung das gesamte System in einen sicheren, passiven Zustand übergeht, ohne negative Auswirkungen auf die Beschäftigten und Studierenden am Campus Garching und auf die Anwohner zu haben. Dieses allerhöchste Sicherheitsniveau der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) wurde wiederholt von unabhängigen Experten bestätigt. Aufgrund der Katastrophenschutzrichtlinien für kerntechnische Anlagen haben die Technische Universität München, das Landratsamt München und die Regierung von Oberbayern einen detaillierten und ständig aktualisierten Katastrophenschutzplan entwickelt, um in einem hypothetischen Extremfall schnell, effektiv und zielgerichtet agieren zu können.

Dies geschieht aus unserer Verantwortung für Sie, die näheren und ferneren Nachbarn des Campus Garching, die Studierenden und Mitarbeiter, die zahlreichen Besucher, die jedes Jahr die Faszination der Forschung mit Neutronen unmittelbar erleben wollen, sowie die externen Nutzer aus Wissenschaft und Industrie, die für ihre Forschungen und Anwendungen auf eine leistungsstarke Neutronenquelle angewiesen sind. Denn längst ist die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) über eine reine Forschungseinrichtung der Technischen Universität München hinausgewachsen. Durch die starke Beteiligung der Partner aus der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten Wissenschaftsorganisation Deutschlands, hat sich die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) zu einer



Forschungseinrichtung weiterentwickelt, die vom Freistaat Bayern und vom Bund getragen wird. Zur Information für Anwohner und Interessierte, zur weiteren Stärkung des gewachsenen Vertrauens, aber auch um unserer gesetzlichen Verpflichtung nach § 53 Strahlenschutzverordnung nachzukommen, legen die Technische Universität München und die Regierung von Oberbayern diese Broschüre für den FRM II nun zum dritten Mal vor. Sie informiert über die Funktionsweise der Garchinger Forschungs-Neutronenquelle, die wissenschaftliche Arbeit mit Neutronen und das dazugehörige Sicherheitskonzept. Wir hoffen sehr, Ihrem Informationsbedarf fundiert entsprechen zu können.

München / Garching, im März 2017

The signature of Albert Berger, written in black ink.

Albert Berger  
Kanzler der Technischen  
Universität München

The signature of Brigitte Brunner, written in black ink.

Brigitte Brunner  
Regierungspräsidentin  
von Oberbayern

## Der Campus Garching – ein idealer Standort

Der Forschungscampus in der Universitätsstadt Garching gehört zu den bedeutendsten und modernsten Forschungs- und Ausbildungsstätten Europas. Alles begann 1957 mit einer Forschungs-Neutronenquelle, dem wegen seiner markanten Form sogenannten „Atom-Ei“. Es ist längst zum Wahrzeichen Garchings und seines Forschungsgeländes geworden. Um diese Neutronenquelle entstand im Laufe von über fünf Jahrzehnten eine Vielzahl von Instituten. Heute ist hier der natur- und ingenieurwissenschaftliche Standort der Technischen Universität München (TUM) mit den Fakultäten für Physik, Chemie, Maschinenwesen, Mathematik und Informatik. In unmittelbarer Nachbarschaft finden sich vier Institute der Max-Planck-Gesellschaft, Institute der Ludwig-Maximilians-Universität München, der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, das Hauptquartier der Europäischen Südsternwarte (ESO), das europäische Forschungszentrum von General Electric und weitere Forschungseinrichtungen. Mit der U-Bahn im Herzen des Campus kann das Zentrum Münchens tagsüber im 10-Minuten-Takt erreicht werden. Die Perspektiven sind gut: Der Campus Garching wächst weiter.

Die fachliche Vielfalt sowie die Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen macht die wissenschaftliche Kompetenz des Forschungsgeländes aus. Die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) hat hier den idealen Standort. Seit 2005 wird sie von einer Vielzahl von Disziplinen für die wissenschaftliche Forschung genutzt. Physiker, Chemiker, Ingenieure, Mediziner, Biologen und Wissenschaftler anderer Fachbereiche arbeiten hier interdisziplinär zusammen. Als Wissenschaftliches Zentralinstitut der Technischen Universität dient sie der Spitzenausbildung der Studenten. Die Wechselwirkung mit benachbarten naturwissenschaftlichen Instituten auf dem Campus, in München und Freising-Weihenstephan befriertet Forschung und Lehre außerordentlich. Für deutsche und ausländische Wissenschaftler bietet der FRM II eine leistungsstarke moderne Neutronenquelle mit ausgezeichnetem Forschungspotenzial. Durch seine international einmalige Anwendungsorientierung ist der FRM II Anziehungs- und Kristallisierungspunkt für die Ansiedlung einer Reihe von High-Tech-Unternehmen.

## Die Neutronenquelle FRM II – ein einzigartiges Mikroskop

Die Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) ist kein Kernkraftwerk. Sie dient ebenso, wie das alte „Atom-Ei“, nicht der Erzeugung von elektrischer Energie, sondern ausschließlich als Neutronenquelle für wissenschaftliche Untersuchungen und Bestrahlungen. Die Neutronen, die beim Spaltprozess im Reaktor entstehen, dienen als einzigartige Sonden. Mit dem FRM II steht Wissenschaftlern ein einmaliges Werkzeug für moderne Materialwissenschaften und Grundlagenforschung zur Verfügung. Wegen des hohen Neutronenflusses der Quelle, den sehr brillanten Neutronenstrahlen und der modernen Instrumentierung ist der FRM II in sehr unterschiedlichen Forschungsgebieten einsetzbar. Einige der Anwendungen sind nur in Garching möglich, viele der Experimentiereinrichtungen sind weltweit die leistungsstärksten ihrer Art. Die Arbeiten reichen von der reinen Grundlagenforschung und gehen über anwendungsnahe Untersuchungen, die Produktion von Halbleitermaterialien oder Pharmaka bis hin zur Behandlung von Krebspatienten. Etwa 30 Prozent der Nutzung dienen industriellen und medizinischen Anwendungen. Ähnlich wie Licht haben Neutronen Welleneigenschaften. In einem Streuexperiment treffen sie auf eine zu untersuchende Probe und werden an deren Atomen abgelenkt. Die räumliche Verteilung der gestreuten Neutronen sowie deren aufgetretene Geschwindigkeitsänderung geben Auskunft über die atomare Struktur und Dynamik in der Probe. Mit diesen Informationen können beispielsweise Spannungszustände in einem Bauteil und die Ursachen von Materialermüdung sichtbar gemacht werden.

Zielgerichtet gelenkte Neutronenstrahlen durchdringen mühelos massive metallische Werkstücke. Somit kann die Neutronentomographie das Innere komplexer Werkstücke sichtbar machen. Dies dient dem Nachweis von Korrosionsprodukten, Rissbildungen oder Materialinhomogenitäten an technischen Proben. Radiographien in Millisekundenschritten machen schnell ablaufende Prozesse sichtbar. Hiermit gibt man der Industrie eine Methode zur zerstörungsfreien Werkstückprüfung an die Hand.



Außerdem können die Strukturen neuer Materialien aufgeklärt oder Eigenschaften wie Supraleitung untersucht werden. Wegen ihrer besonderen Wechselwirkung mit Wasserstoff sind Neutronen auch zur Untersuchung biologischer Proben sehr geeignet.

Durch Neutronen können Elemente umgewandelt werden. Das lässt sich zur Herstellung von Radiopharmaka, extrem homogen dotiertem Silizium als Hochleistungsmaterial für die Halbleiterindustrie oder zum Nachweis von Spurenelementen mittels der sogenannten Neutronenaktivierungsanalyse nutzen.

Oberflächennahe Tumoren können im Rahmen einer speziellen Krebstherapie mit schnellen Neutronen bestrahlt werden. Sie wurde bereits seit 1985 am „Atom-Ei“ eingesetzt und steht am FRM II unter ärztlicher Kontrolle weiterhin zur Verfügung.

Um weitere Anwendungsgebiete zu erschließen und die Arbeit mit ihnen zu optimieren, sind natürlich auch die Neutronen selbst Gegenstand moderner Grundlagenforschung.

## Konzeption der Anlage

Der FRM II ist ausschließlich als Neutronenquelle für wissenschaftliche Experimente und Anwendungen ausgelegt und kann nicht zur Erzeugung elektrischer Energie eingesetzt werden. Sein modernes Konzept beruht auf der Verwendung eines sogenannten Kompaktkerns.

Zum Einsatz kommt jeweils für 60 Tage ein einziges, zylinderförmiges 130 cm hohes Brennelement mit einem Außendurchmesser von 24 cm. Die Brennstoffzone ist etwa 70 cm hoch und enthält ca. 7,6 kg spaltbares Uran. Dieses Brennelement ist im Zentrum eines mit Schwerwasser ( $D_2O$ ) gefüllten Moderatoranks eingebaut. Dieser wiederum befindet sich im Reaktorbecken, das mit 700 m<sup>3</sup> hochreinem Wasser ( $H_2O$ ) gefüllt ist.

Das Brennelement des FRM II im Zentralkanal des Moderatoranks wird von Kühlwasser aus dem Reaktorbecken durchströmt, welches

sich dabei auf ca. 50 °C erwärmt. Insgesamt sorgen drei gestaffelte Kühlkreisläufe dafür, dass einerseits die im Leistungsbetrieb durch die Kernspaltung entstehende Wärme sicher abgeführt wird und andererseits eine doppelte, überwachte Aktivitätsbarriere hin zum Kühlturm besteht. Die Reaktorleistung wird über den zentralen Regelstab im Innern des Brennelements geregelt. Bei der Spaltung des Urans werden Neutronen freigesetzt. Die kompakte Bauweise des FRM II-Brennelements führt dazu, dass mehr als 70 Prozent der Neutronen die Uranzone verlassen und außerhalb des Brennelements im Moderator eine sehr hohe Neutronenflussdichte ausbilden ( $8 \cdot 10^{14}$  Neutronen cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, das sind 800 Billionen Neutronen pro Quadratzentimeter und Sekunde). In dieses dichte Neutronenfeld ragen zehn horizontale und zwei schräge Strahlrohre sowie diverse vertikal angeordnete Bestrahlungskanäle hinein. Die vertikalen Bestrahlungskanäle dienen der Bestrahlung von Proben.

Die eigentlichen Experimentierplätze befinden sich außerhalb des Reaktorbeckens in Verlängerung der Strahlrohre in der Experimentierhalle des Reaktorgebäudes sowie entlang der Neutronenleiter in der Neutronenleiterhalle (West). Letztere liegt zwischen dem FRM II-Gebäude und dem alten „Atom-Ei“. Die neu errichtete Neutronenleiterhalle (Ost) wird, sobald sie entsprechend ausgerüstet ist, ebenfalls für Experimente genutzt werden.

## Sicherheit an erster Stelle

Planung, Bau und Betrieb kerntechnischer Anlagen in Deutschland unterliegen strengsten Sicherheitsauflagen. So wurden bei der Planung des FRM II in den ausführlichen Beratungen der Strahlenschutzkommission (SSK) und Reaktorsicherheitskommission (RSK) als unabhängige Beratungsgremien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und von weiteren Gutachtern alle nur denkbaren Störfälle betrachtet. Einbezogen in die Untersuchungen wurden unter anderem die Auswirkungen von Hochwasser, komplettem Stromausfall, Erdbeben, Flugzeugabstürzen – auch großer Verkehrsmaschinen – sowie unterstellte Störfälle wie den hypothetischen Fall einer partiellen oder kompletten Kernschmelze. Die umfassende Vorsorge gegen etwaige

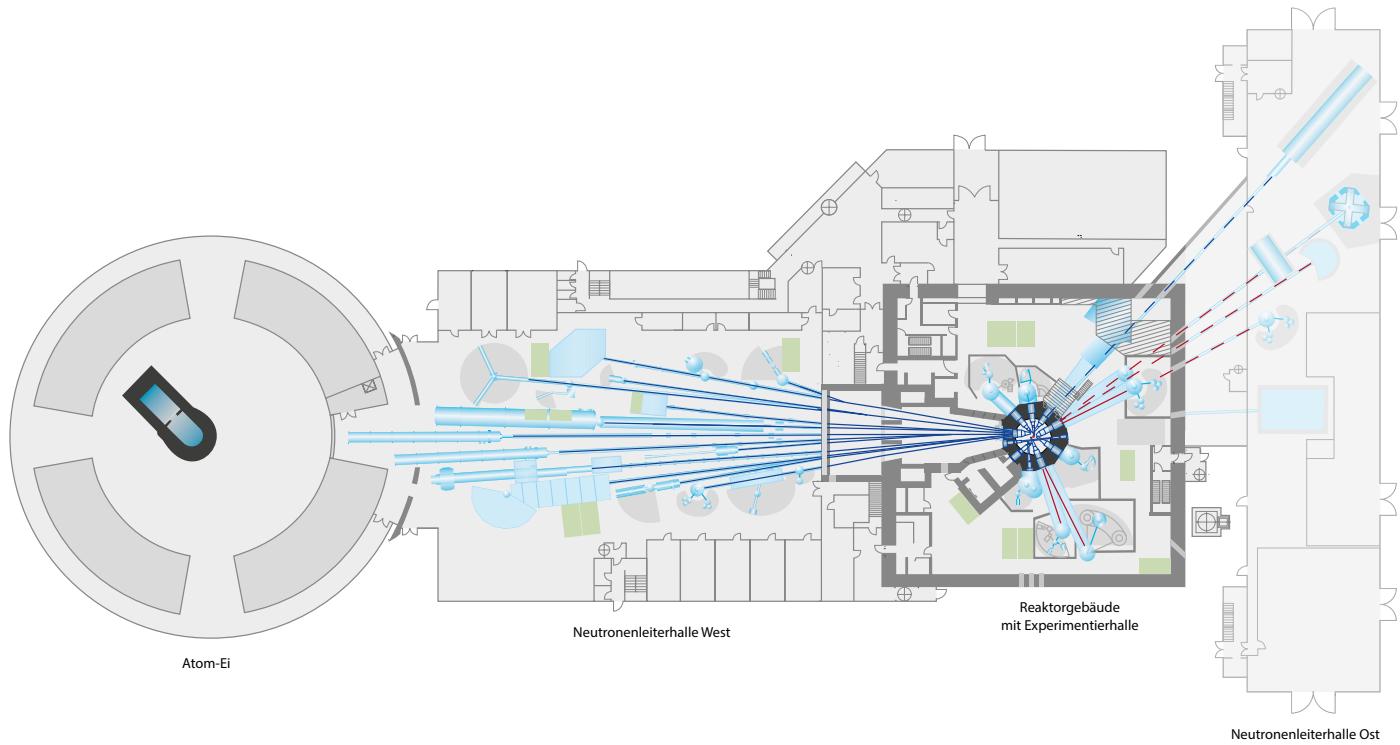
Störfälle wurde der Technischen Universität München, als Betreiberin des FRM II sowohl im Rahmen der Begutachtung und Erteilung der Betriebsgenehmigung als auch nach der anlagenspezifischen Sicherheitsüberprüfung (RSK-SÜ), die unter Berücksichtigung der Ereignisse von Fukushima (Japan) durchgeführt wurde, bescheinigt.

Sowohl im Normalbetrieb als auch bei Betriebsstörungen steht die Sicherheit des Personals, der Bevölkerung und der Umwelt im Vordergrund. Dies wird durch eine Kombination von passiv und aktiv wirkenden Sicherheitsmechanismen erreicht.

Das System beinhaltet passive Sicherheitsmerkmale, die auf Naturgesetzen beruhen und deshalb niemals ausfallen können. Sie wirken passiv in dem Sinne, dass dazu keinerlei Aktionen durch den Men-

schen oder durch etwa dafür vorgesehene Anlagenkomponenten erforderlich sind.

Durch die äußerst kompakte Bauweise des FRM II-Brennelements sind diese Schutzmechanismen beim FRM II besonders stark wirksam. Das kleinvolumige Brennelement des FRM II funktioniert nur in der vorgesehenen Umgebung: Es benötigt leichtes Wasser zwischen den Brennstoffplatten des Brennelements und schweres Wasser im umgebenden Moderatorank. Wenn eine Komponente fehlt oder verändert wird, z. B. bei einer starken Durchmischung von schwerem und leichtem Wasser, erlischt automatisch die Kettenreaktion. Zu den aktiven Schutzeinrichtungen des FRM II zählen die beiden voneinander unabhängigen Abschaltsysteme und das Kühlssystem. Die beiden Abschaltsysteme dienen der schnellen und sicheren Abschal-



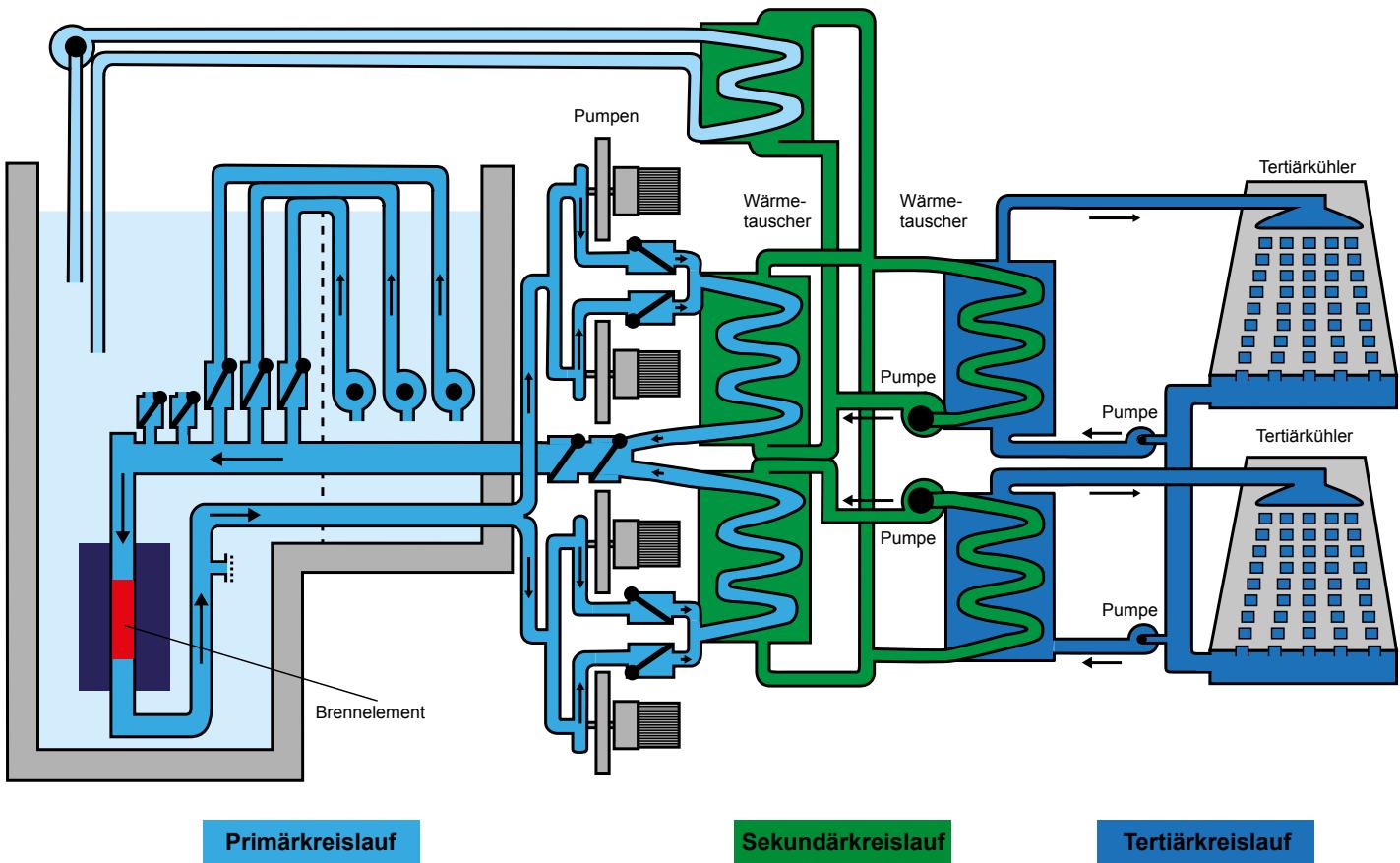
Grundrissplan der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) mit dem Atom-Ei.

tung des Reaktors und umfassen den zentralen, im Innenkanal des Brennelements befindlichen Regelstab und das davon unabhängige System von fünf im Moderatorank befestigten Abschaltstäben. Jedes der beiden Systeme reicht für sich alleine aus, den Reaktor rasch und dauerhaft abzuschalten.

Das Kühlungssystem besteht aus einem geschlossenen Primärkreis und einem ebenfalls geschlossenen Sekundärkreis, beide innerhalb des Reaktorgebäudes. Der Tertiärkreis führt die Wärme über einen kleinen Kühlurm durch Verdunstung ab. Der Primärkühlkreis und das Reaktorbecken bilden eine konstruktive Einheit. Sie sind vom Rest des Gebäudes durch eine ca. 5 cm breite Fuge getrennt. Erschütte-

rungen, die von außen auf das Gebäude wirken, werden also nicht auf den Primärkreislauf übertragen. Jede Unregelmäßigkeit im Kühlungssystem führt zu einer sofortigen Abschaltung des Reaktors.

Der FRM II ist eine Anlage zur Gewinnung von Neutronen und unterscheidet sich somit deutlich von einem Kernkraftwerk zur Stromerzeugung. Die thermische Leistung, also die maximal erzeugte Wärmeenergie, beträgt 20 Megawatt (20 MW). Ein Kernkraftwerk erzeugt bis zu 200 mal so viel Leistung (4000 MW). Diese gravierenden Leistungsunterschiede ermöglichen völlig andere technische Lösungen zur Abführung der sogenannten Nachzerfallswärme nach einer Reaktorabschaltung. Nur eine Sekunde nach Abschaltung des



Primärkreislauf

Sekundärkreislauf

Tertiärkreislauf

FRM II beträgt die abzuführende Leistung des FRM II nur noch ca. 1,2 MW, bei einem Kernkraftwerk dagegen bis zu 220 MW. Daher benötigt der FRM II nach der Abschaltung zur Abführung der Nachzerfallsärme weder elektrische Energie von außen noch die Verfügbarkeit der vorhandenen Notstromaggregate.

Nach einer Reaktorabschaltung laufen unverzüglich die in dreifacher Redundanz vorhandenen Nachkühlpumpen an. Diese werden von einem dreifach vorhandenen Satz an Batterien betrieben und fördern zur Kühlung Beckenwasser durch das Brennelement. Eine einzige Pumpe würde bereits ausreichen, um die Nachwärme des Reaktors abzuführen. Nach ca. drei Stunden ist die Nachzerfallsleistung so gering, dass auf diese Pumpen ganz verzichtet werden kann. Die dann noch anfallende Wärme wird durch Naturkonvektion in das Beckenwasser abgegeben. Selbst beim kompletten Ausfall aller Kühlsysteme würden die 700 m<sup>3</sup> Wasser des Reaktorbeckens zum Abführen der gesamten Restwärme des Brennelements ausreichen. Das Wasser würde sich dabei maximal auf 80 °C erwärmen. Ohne jeden weiteren Eingriff von außen garantieren also Naturgesetze stets das Abführen der gesamten Restwärme des FRM II-Brennelements, ein weiteres passives Sicherheitsmerkmal.

Bei der Kernspaltung des Urans im Brennelement entstehen Spaltprodukte, die radioaktiv sind. Der FRM II verfügt über drei Barrieren, die eine Freisetzung verhindern:

- Die Brennstoffplatten sorgen dafür, dass die entstehenden Spaltprodukte im Brennstoff eingeschlossen bleiben.
- Sollten radioaktive Spaltprodukte aufgrund eines schweren Unfalls aus dem Brennelement austreten, so stellt das Wasser des Reaktorbeckens eine wirkungsvolle Barriere dar.
- Das Reaktorgebäude bildet mit einer 1,80 m dicken Außenwand aus armiertem Beton die letzte Barriere gegen eine unkontrollierte Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Diese drei Barrieren tragen dazu bei, dass das Sicherheitskonzept des FRM II höchsten Ansprüchen genügt.

## Überwachung des FRM II und seiner Umgebung

Die Qualität und Funktionstüchtigkeit der technischen Ausrüstung sowie die Fachkunde des Personals, die durch eine stetige Fortbildung gewährleistet wird, werden durch die atomrechtliche Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde – das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) – permanent überwacht. Das StMUV bedient sich dabei unabhängiger Sachverständiger.

Des Weiteren überprüfen aufgrund internationaler Verpflichtungen Inspektoren der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) und der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) am FRM II kontinuierlich den Bestand an Kernbrennstoffen.

Die Abgabe von gasförmigen oder flüssigen radioaktiven Stoffen (Emissionen) über die Fortluft (Kamin) oder das Abwasser sind äußerst gering, vor allem bezüglich der radiologisch bedeutsamen Aerosole und Jod. Sowohl der Strahlenschutz des FRM II als auch die Aufsichtsbehörde kontrollieren laufend und unabhängig voneinander, dass die vorgegebenen radiologischen Grenzwerte innerhalb der Anlage und in der Umgebung eingehalten werden und damit keine Gefahr für Mensch und Umwelt entsteht.

Messgeräte befinden sich im Fortluftkamin des Reaktors, im Reaktorgebäude und auf dem FRM II bzw. Campusgelände. Alle relevanten Messwerte werden kontinuierlich an das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) übertragen (Kernreaktorfernüberwachungssystem). Zusätzlich betreibt das LfU im Umkreis der bayerischen kerntechnischen Anlagen ein eigenes Messnetz.

## FRM II für Besucher offen

Wer mehr über das Sicherheitskonzept sowie die Forschung am FRM II erfahren möchte, kann die Anlage besichtigen. Der FRM II steht nicht nur Fachleuten, sondern auch der interessierten Öffentlichkeit nach Anmeldung offen. Darüber hinaus findet einmal jährlich, üblicherweise im Oktober, ein Tag der offenen Tür statt. Für alle Besucher gilt, dass sie einen gültigen Personalausweis oder Reisepass mitführen und sich aus Sicherheitsgründen einer Personenkontrolle, vergleichbar mit der am Flughafen, unterziehen müssen.

Eine Führung in kleinen Gruppen beinhaltet die Besichtigung von drei Stationen. Von einem Besucherfenster aus können die Reaktorhalle mit dem Reaktorbecken und die darin befindlichen Einbauten eingesehen werden. Daneben zeigt der Rundgang durch die Experimentierhalle die eindrucksvolle Instrumentierung und gibt einen Einblick in die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der Neutronen.

Den Abschluss bildet ein Blick in die Neutronenleiterhalle mit ihren sehr spezifischen Instrumenten, insbesondere den Neutronenleitern, welche analog zu Lichtleitern die Neutronen über größere Distanzen zu den Instrumenten führen.



Blick auf die Experimentierebene im Reaktorgebäude. In der Bildmitte das Reaktorbecken von außen.

Interessierte Besuchergruppen können sich über den Besucherdienst ([besucherdienst@frm2.tum.de](mailto:besucherdienst@frm2.tum.de)) oder telefonisch unter 089.289.12147 informieren oder einen ersten Kontakt über das Internet aufnehmen:



[www frm2 tum de](http://www frm2 tum de)

## Katastrophenschutz

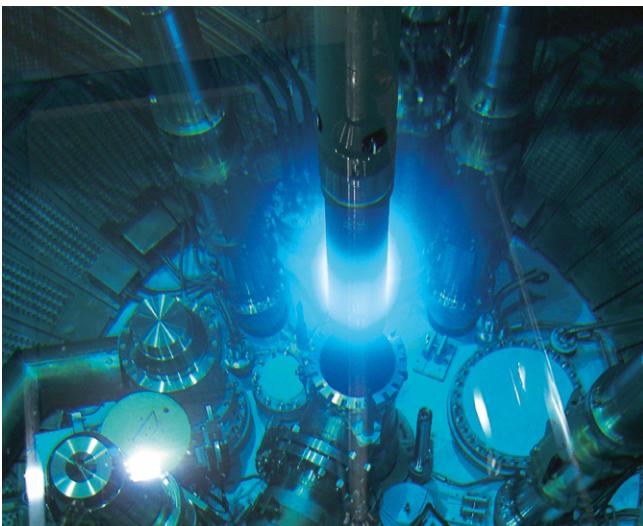
Die Verantwortung gegenüber den Mitarbeitern, Studierenden und Nachbarn erfordert auch eine detaillierte Planung für den Katastrophenfall. Dafür wird der gravierendste Fall, eine vollständige Kernschmelze, als Hypothese zugrunde gelegt. Selbst in diesem Fall wäre das Reaktorgebäude ein wirksamer radiologischer Schutz. Die 1,80 Meter dicken Außenwände des Reaktorgebäudes schützen zuverlässig gegen Direktstrahlung.

Darüber hinaus kann das Reaktorgebäude nahezu luftdicht abgeschlossen werden. Berechnungen belegen, dass die Filteranlagen der Lüftung imstande sind, die Spaltprodukte auch im hypothetischen Fall einer vollständigen Kernschmelze hinreichend zurückzuhalten. Die maximale effektive Dosis infolge von Direktstrahlung und Abgabe über den Kamin in der bewohnten Umgebung würde dann etwa 6,5 mSv (Millisievert) für eine erwachsene Person betragen.

Die Technische Universität München als Betreiberin der Forschungs-Neutronenquelle und das Landratsamt München als zuständige Katastrophenschutzbehörde haben neben der Vorsorge zum Schutz der Bediensteten auf dem Forschungsgelände auch Vorkehrungen für alle anderen Personen in der Umgebung getroffen.

Für das Gelände des FRM II besteht ein innerbetrieblicher Alarmplan, in dem alle Sofort- und Hilfsmaßnahmen aufgezeigt sind. Dieser Plan wird ständig auf dem aktuellen Stand gehalten und dient auch als Grundlage für Katastrophenschutzübungen.

Das Landratsamt München hat, aufbauend auf dem innerbetrieblichen Alarmplan des FRM II, einen besonderen Katastrophenschutz-



Beim Wechseln des Brennelements wird die charakteristische blaue Cherenkov-Strahlung sichtbar.

plan entwickelt. Dieser koordiniert in einer Notfallsituation alle nötigen Schutz- und Hilfsmaßnahmen für die Menschen, die sich in der Umgebung des Reaktorgeländes aufhalten. Grundlage hierfür sind die von Bund und Ländern gemeinsam erarbeiteten „Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen“, die in Bayern durch die „Richtlinien für die Erstellung objektbezogener Katastrophenschutz-Sonderpläne für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen sowie für Maßnahmen des Katastrophenschutzes bei kerntechnischen Unfällen“ (vom 04.11.2015) noch konkretisiert wurden.

Die Katastrophenschutzbehörden sind auf die Einleitung der folgenden Maßnahmen vorbereitet:

- Alarmierung
- Bildung der Führungsgruppe Katastrophenschutz
- Organisation von radiologischen Messungen
- Warnung und Information der Bevölkerung, einschließlich Schulen, Kindergärten und ähnlichen Einrichtungen
- Verkehrslenkung
- Aufenthaltsempfehlungen und andere mögliche Maßnahmen (z. B. Ausgabe von Kaliumjodid-Tabletten)
- Zusammenarbeit mit zuständigen Behörden und Stellen.

## Alarmierung

Bei einem Stör- oder Unfall wird der Betreiber des FRM II unverzüglich nach einem detailliert festgelegten Meldeschema die zuständigen Behörden und Stellen informieren. Die Alarm- und Meldewege sowie die Funktionsfähigkeit der hierfür vorgesehenen geschützten Leitungen werden von der Polizei zusammen mit dem Betreiber des FRM II fortlaufend überprüft.

## Einsatzleitung

Nach einem Störfall mit möglichen Auswirkungen auf die Umgebung wird das Landratsamt München die Einsatzleitung übernehmen und – falls notwendig – die Katastrophenschutzmaßnahmen einleiten und koordinieren.

## Messorganisation

Zur Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen führt das LfU in Bayern ständig Messungen durch. Ergänzt werden diese Messnetze durch die Messeinrichtungen des FRM II und nach einem Störfall zusätzlich durch den verstärkten Einsatz mobiler Messtrupps der Katastrophenschutzbehörde und der Feuerwehren. Diese Messtrupps führen Messaufgaben und Probenahmen in der Umgebung des Forschungsgeländes durch und teilen die Ergebnisse dem Bayerischen Landesamt für Umwelt mit, das auf der Grundlage der Daten zusammen mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz das Landratsamt München berät und die erforderlichen Maßnahmen vorschlägt.

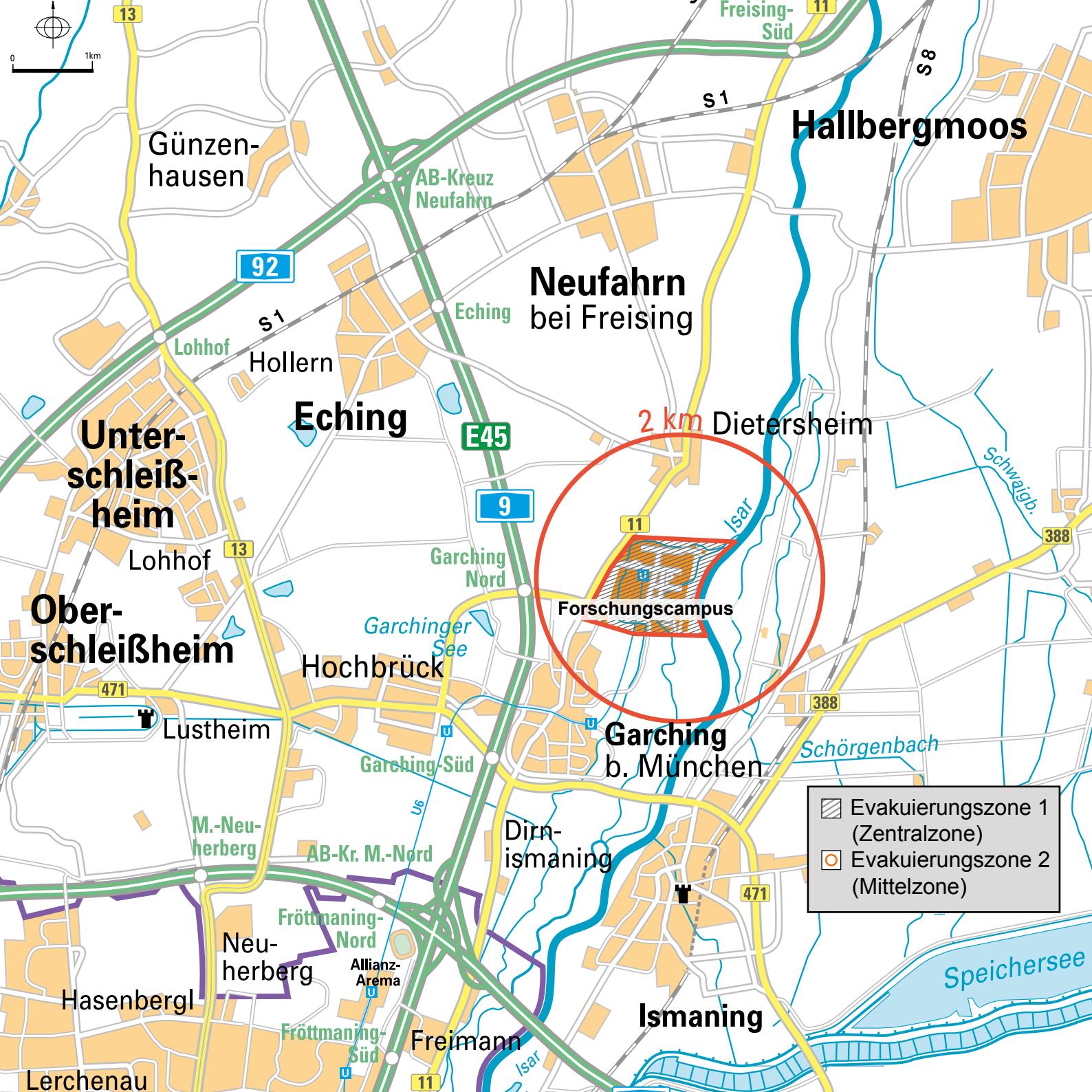
In Deutschland wird die Umweltradioaktivität laufend flächendeckend, u. a. durch automatische Messsysteme, überwacht. Aktuelle Messdaten für Bayern und zusätzliche Informationen können alle Bürgerinnen und Bürger im Internet einsehen, z. B. unter:



[www.lfu.bayern.de/strahlung/kfue\\_messdaten](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/kfue_messdaten)



<http://odlinfo.bfs.de>



## Unterrichtung der Bevölkerung

Die Bevölkerung wird auf folgenden Wegen gewarnt und informiert:

- Durchsagen über Lautsprecherwagen von Polizei, Feuerwehr und Katastrophenschutz
- Informationen über Rundfunk, Fernsehen, Videotext und Internet
- Warninformationen über die Smartphone-App „KATWARN“.

Die Rundfunkdurchsagen erfolgen über die Sender, die auch Verkehrs durchsagen senden (z. B. Bayern 3, Antenne Bayern und einige weitere Privatsender). Die Durchsagen werden der aktuellen Situation angepasst und regelmäßig gesendet. In einem solchen Fall sollte das Radio also immer angeschaltet bleiben. Zusätzlich können diese Informationen auch über die Videotexttafeln des Bayerischen Rundfunks sowie über die Internetseite des Landratsamtes München abgerufen werden:



[www.landkreis-muenchen.de](http://www.landkreis-muenchen.de)

## Verkehrslenkung

Sollte es aufgrund der Messdaten oder der Zufahrt von Hilfskräften erforderlich werden, erfolgt eine Verkehrslenkung. Für sie sind Einsatzkräfte der Polizei und Feuerwehr vorgesehen. Die Hinweise im Radio sind zu beachten.

## Aufenthaltsempfehlungen

Im Falle eines Unfalls würden freigesetzte radioaktive Stoffe vor allem über die Luft transportiert. Da der Aufenthalt in Gebäuden einen beträchtlichen Schutz bietet, wird die Katastrophenschutzbehörde – falls nötig – empfehlen, im Haus zu bleiben und Türen und Fenster zu schließen sowie Lüftungs- und Klimaanlagen abzuschalten. Somit wird der Kontakt mit radioaktiven Stoffen weitgehend vermieden. Die unabhängige Strahlenschutzkommission (SSK) empfiehlt ab einer prognostizierten effektiven Dosis von 10 mSv (Millisievert) durch äußere Exposition in sieben Tagen und der Folgedosis durch die in die-

sem Zeitraum inhalierten Radionuklide den Aufenthalt in Gebäuden. Beim FRM II wird selbst im hypothetischen Fall einer Kernschmelze eine solche Maßnahme im bewohnten Umkreis nicht erforderlich sein.

## Ausgabe und Einnahme von Jodtabletten

Radioaktives Jod gehört zu den Stoffen, die bei einem Unfall in einer kerntechnischen Anlage freigesetzt werden könnten. Durch Einlagerung in die Schilddrüse kann die Strahlung den Körper besonders belasten. Die rechtzeitige Einnahme von Kaliumjodid-Tabletten führt zu einer Sättigung der Schilddrüse mit nichtradioaktivem Jod, so dass radioaktives Jod nur noch sehr begrenzt vom Körper aufgenommen werden kann. In der Nähe von kerntechnischen Anlagen werden deshalb Jodtabletten durch die Behörden – konkret vom Landratsamt München sowie den betroffenen Städten und Gemeinden – bereitgehalten.

Diese Tabletten sollten ausschließlich nach entsprechender behördlicher Aufforderung durch Lautsprecher- und Rundfunkdurchsagen eingenommen werden, da sie gesundheitliche Risiken haben, wenn sie unnötig oder zu hoch dosiert eingenommen werden.

## Evakuierung

Die Strahlenschutzkommission (SSK) empfiehlt ab einer zu erwartenden effektiven Dosis von 100 mSv (Millisievert) durch äußere Exposition in sieben Tagen und der effektiven Folgedosis durch die in diesem Zeitraum inhalierten Radionuklide Evakuierungsmaßnahmen. Solche Werte werden auch beim schlimmsten denkbaren Unfall am FRM II nicht auftreten, da die Radioaktivität sicher im Gebäude eingeschlossen bleibt. Obwohl selbst im Fall einer Kernschmelze die maximale effektive Dosis beim FRM II mit etwa 6,5 mSv weit unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten bleibt, sieht der Katastrophenschutzplan dennoch Evakuierungsmaßnahmen vor. Dies geschieht in Fortschreibung des Alarm- und Einsatzplanes für den FRM (Atom-Ei), der für den FRM II kontinuierlich auf dem aktuellen Stand gehalten wird.

Der Katastrophenschutzplan umfasst als Evakuierungsstufe 1 (Zentralzone) das gesamte Forschungsgelände, die Evakuierungsstufe 2 (Mittelzone) reicht bis zu einem Umkreis von 2 km um den FRM II. Diese Bereiche sind in der Karte auf Seite 22/23 dargestellt.

Die Führungsgruppe Katastrophenschutz legt das genaue Evakuierungsgebiet fest. Alle Betroffenen erhalten über Rundfunk- oder Lautsprecherdurchsagen sowie über Smartphone-Mitteilungen die notwendigen Informationen über:

- Evakuierungswege
- Sammelstellen, an denen Personen ohne eigenen PKW abgeholt werden
- Ansprechstellen für Personen, die nicht in der Lage sind, in einem PKW mitzufahren oder sich an eine Sammelstelle zu begeben
- Kontaminationskontrollen.

## Kindergärten und Schulen

Die Katastrophenschutzbehörde wird im Bedarfsfall Schulen, Kindergärten und ähnliche Einrichtungen gesondert und direkt informieren und dafür sorgen, dass Kinder und Personal in den Einrichtungen bleiben oder – falls notwendig – in Sicherheit gebracht werden. An den Aufnahmeorten wird dann dafür gesorgt, dass die Familien wieder zusammengeführt werden.

## Zusammenarbeit mit zuständigen Behörden und Stellen

Im Bedarfsfall bildet das Landratsamt München eine Führungsgruppe Katastrophenschutz, die einerseits den Einsatz der Hilfskräfte koordiniert und andererseits mit allen betroffenen Behörden und Stellen Kontakt hält. Herauszuhoben ist hierbei besonders die Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt.

## Nachgefragt

### Welche natürliche Strahlenexposition gibt es in der Umgebung des FRM II?

Jeder Mensch ist ständig einer natürlichen Umgebungsstrahlung ausgesetzt. Sie schwankt sehr stark von Ort zu Ort und hängt zum Beispiel von der Höhe über dem Meeresspiegel ab. Im Raum München beträgt die effektive Dosis im Freien knapp 1 mSv/Jahr (= 1000 µSv/Jahr), resultierend aus Höhen- und Bodenstrahlung. Hinzu kommen noch die Belastungen durch Inkorporation von natürlichen radioaktiven Stoffen und vor allem durch Inhalation von Radon mit seinen radioaktiven Zerfallsprodukten, so dass sich insgesamt eine Strahlenexposition im Mittel von ca. 2,1 mSv/Jahr (= 2100 µSv/Jahr) im Raum München ergibt.

### Wie hoch ist die effektive Dosis, die Personen in der Umgebung des FRM II zusätzlich infolge der betrieblichen Abgabe von Radionukliden über die Fortluft erhalten?

Wie vom Gesetzgeber gefordert, haben unabhängige Gutachter dies im Zuge des Genehmigungsverfahrens für eine fiktive „Referenzperson“ berechnet, die sich im Jahr permanent (365 Tage á 24 Stunden) am Zaun des FRM II aufhält und sich ausschließlich von Produkten ernährt, die dort wachsen. Im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition im Freien (s. o.) ist diese Dosis weniger als ein Hundertstel: Bei voller Ausschöpfung der Genehmigungswerte des FRM II für die Abgabe radioaktiver Stoffe beträgt die effektive Dosis für eine erwachsene Referenzperson nur 18 µSv/Jahr.

Die bisherigen Betriebserfahrungen seit den ersten vom FRM II erzeugten Neutronen im März 2004 bis Ende 2015 haben gezeigt, dass selbst für diese „Referenzperson“ die Berechnungen der Strahlenexposition, basierend auf realen Abgabewerten von radioaktiven Stoffen, noch weit unter den hypothetischen Annahmen liegen. Für die erwachsene „Referenzperson“ betrug die effektive Dosis durchschnittlich ca. 0,4 µSv/Jahr, für das Kleinkind durchschnittlich ca. 0,7 µSv/Jahr.

Für die nächste bewohnte Umgebung des FRM II betragen die Dosiswerte für Erwachsene höchstens ca. 0,05 µSv/Jahr und für das Kleinkind höchstens ca. 0,08 µSv/Jahr.

#### **Welche Dosis resultiert aus der Abgabe von Radioaktivität in die Isar?**

Die Radiochemie und der FRM II der Technischen Universität München in Garching geben zusammen so wenig Radioaktivität über den Wasserpfad ab, dass die Aktivität an der maximal belasteten Stelle, nämlich der Einleitstelle in die Isar, im Jahresmittel weit unter dem Promillebereich liegt, also weniger als ein Tausendstel der vorhandenen natürlichen Radioaktivität des Flusses.

Auch bei der Abgabe von schwach radioaktiven Abwässern aus dem FRM II wurde im Zuge des Genehmigungsverfahrens von dem Gutachter für eine fiktive „Referenzperson“ auf Grund der Einleitungen des FRM II bei voller Ausschöpfung der beantragten Genehmigungswerte die maximale effektive Dosis berechnet. Sie beträgt für eine erwachsene Referenzperson bei sehr konservativer Betrachtung 3,2 µSv/Jahr.

Die tatsächlichen radioaktiven Abgaben, resultierend aus dem bisherigen Betrieb, führten bisher zu Dosisbelastungen, die weit weniger als ein Hundertstel dieses Wertes betragen.

Die konservativen Berechnungen nach den gesetzlichen Vorgaben auf Grund der tatsächlich erfolgten Abgaben von Abwässern aus dem FRM II führten bei der erwachsenen „Referenzperson“ maximal zu einer Dosis von weniger als 0,12 µSv/Jahr im Nahbereich der Einleitstelle. Für das Kleinkind ergeben sich rein rechnerisch ca. 0,06 µSv/Jahr, wobei anzuführen ist, dass hier der dominante, aber gesetzlich zu berücksichtigende sogenannte „Muttermilchpfad“ überhaupt nicht zum Tragen kommt.

## **Fazit**

Die gesetzlich vorgegebenen, als unbedenklich zu bewertenden Grenzwerte für die jährliche Dosisbelastung der Bevölkerung auf Grund der Abgabe von radioaktiven Stoffen über die Fortluft oder das Abwasser einer Anlage, die mit radioaktiven Stoffen umgeht, sind auf 300 µSv/Jahr festgeschrieben.

Die konservativ berechneten, auf tatsächlichen Abgaben beruhenden Dosen – sowohl für erwachsene Personen wie auch für Kleinkinder – auf Grund der Emissionen des FRM II über Abwasser und Fortluft betragen etwa ein Zweitausendstel der gesetzlichen Vorgaben. Die Dosisbelastungen sowohl für Erwachsene als auch für Kleinkinder sind somit so minimal, dass sie vernachlässigt werden können, da die Dosisbelastung weit innerhalb der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenbelastung liegt, der jeder Mensch, ob Erwachsener oder Kleinkind, sowieso ausgesetzt ist.

Die Ergebnisse der jährlichen Berechnungen der Strahlenexpositionen der Bevölkerung in der Umgebung des FRM II, ermittelt vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU), sind im Internet veröffentlicht unter:



[www.lfu.bayern.de/strahlung/](http://www.lfu.bayern.de/strahlung/)

# Fachausdrücke und ihre Bedeutung

In dieser Broschüre oder in anderen Artikeln, die sich mit dem Strahlenschutz und der Wirkung von Radioaktivität auf Mensch und Umwelt befassen, kommen immer wieder Begriffe vor, die im Folgenden erläutert werden:

## Aerosole

Kleinste luftgetragene Teilchen (z. B. Staub).

## Aktivität

Zahl, der in einer radioaktiven Substanz pro Sekunde zerfallenden Atomkerne. Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq). Wird die Aktivität auf andere Größen wie auf die Masse, das Volumen oder die Fläche bezogen, spricht man von spezifischer Aktivität, Aktivitätskonzentration oder Flächenaktivität.

## Alpha( $\alpha$ )-Strahlung

Ionisierende Teilchenstrahlung, die bei einem radioaktiven Zerfall (Alphazerfall) auftritt. Der zerfallende Atomkern emittiert einen He-Kern (He-Atom ohne die Elektronenhülle).  $\alpha$ -Strahlung lässt sich zumeist bereits mit einem Blatt Papier abschirmen.

## Äquivalentdosis

Messgröße, mit deren Hilfe die biologische Strahlenwirkung auf den Menschen beschrieben wird. Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv). Kleine Dosen werden häufig in Tausendstel Sievert (Millisievert, mSv) oder in Millionstel Sievert (Mikrosievert,  $\mu$ Sv) angegeben. → Ionisierende Strahlen können biologisches Gewebe schädigen, indem sie Zellen zerstören oder verändern. Der Grad der Schädigung hängt von der Art und der Menge der aufgenommenen Strahlung ab. Bei Angabe der Äquivalentdosis ist die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlenarten (Alpha-, Beta-, Gamma-Strahlung oder Neutronenstrahlung) berücksichtigt.

## Atom

Kleinstes Teilchen eines chemischen Elements. Atome haben einen Kern, der aus Protonen und Neutronen besteht, sowie eine Hülle

aus Elektronen. Der Kern ist 10 000 bis 100 000 mal kleiner als der Atomdurchmesser.

## Becquerel (Bq)

Einheit der Aktivität. Die Aktivität 1 Bq liegt vor, wenn ein Atomkern je Sekunde zerfällt.

## Beta( $\beta$ )-Strahlung

Ionisierende Teilchenstrahlung, die bei einem radioaktiven Zerfall (Betazerfall) auftritt. Der zerfallende Atomkern emittiert Elektronen ( $\beta^-$ ) oder Positronen ( $\beta^+$ ).  $\beta$ -Strahlung lässt sich zumeist durch einen wenige Meter dicken Kunststoff (z. B. Plexiglas) abschirmen.

## Cherenkov-Strahlung

Tiefblaues Licht, das in unmittelbarer Umgebung des Brennelements im Wasser zu beobachten ist. Es entsteht durch energiereiche Elektronen, die das Wasser mit einer höheren Geschwindigkeit als das Licht durchqueren.

## Dekontamination

Beseitigung oder Verminderung von oberflächlichen radioaktiven Verunreinigungen, im einfachsten Falle durch Abwaschen.

## Dosis

Maß für eine im Weiteren näher definierte Strahlenwirkung auf Materie (siehe z. B. Äquivalentdosis).

## Dosis, effektive

Kurzbezeichnung für effektive → Äquivalentdosis. Es wird dabei berücksichtigt, dass die verschiedenen Organe des menschlichen Körpers unterschiedlich empfindlich auf radioaktive Strahlung reagieren.

## Dosisleistung

Pro Zeiteinheit auftretende Strahlendosis. Die Einheit der Äquivalent-Dosisleistung wird in Sievert pro Stunde (Sv/h) angegeben.

## Emission

Abgabe von gasförmigen, flüssigen oder festen Stoffen an die Atmosphäre oder in Gewässer.

## **Fortluft**

Bezeichnung bei Nuklearanlagen für die über den Fortluftkamin abgegebene gefilterte Luft.

## **Gamma( $\gamma$ )-Strahlung**

Hochenergetische elektromagnetische Strahlung, die von einem Atomkern ausgestrahlt wird.  $\gamma$ -Strahlung lässt sich effizient nur durch Materialien hoher Dichte wie Blei abschirmen. Je nach Energie werden hierzu beispielsweise wenige mm bis einige 10 cm Blei benötigt.

## **Halbwertszeit**

Zeitspanne, in der sich die Anfangsmenge eines Radionuklides und damit auch dessen Aktivität um die Hälfte reduziert. Die Halbwertszeit ist für jedes Radionuklid charakteristisch.

## **Halbwertszeit, biologische**

Zeitspanne, in der eine vom Körper aufgenommene Anfangsmenge von Radionukliden durch natürliche Ausscheidung um die Hälfte abnimmt.

## **Halbwertszeit, effektive**

Zeitspanne, in der im menschlichen Körper die Menge eines Radionuklides durch das Zusammenwirken von radioaktivem Zerfall und biologischer Ausscheidung um die Hälfte abnimmt.

## **Immission**

Einwirkung von radioaktiven Stoffen auf Menschen, Tiere und Vegetation.

## **Inkorporation**

Aufnahme bestimmter Produkte, z. B. radioaktiver Stoffe in den Körper. Die wichtigsten Inkorporationspfade sind Einatmen (Inhalation) oder Verschlucken (Ingestion).

## **Isotope**

Atome eines Elements, die sich in der Zahl der Neutronen im Kern unterscheiden. Die chemischen Eigenschaften aller Isotope eines bestimmten Elements sind gleich (→ Nuklid).

## **Kontamination**

Unerwünschte Verunreinigung von Gegenständen, Personen oder der Umwelt durch bestimmte Stoffe, z. B. durch radioaktive Substanzen (→ Dekontamination).

## **Kontaminations-Monitor**

Messgerät, welches Kontaminationen durch radioaktive Substanzen an Personen und Gegenständen aufspürt und anzeigt.

## **Naturkonvektion**

Umwälzung von Wasser im Reaktorbecken durch temperaturbedingte unterschiedliche Dichten (warmes Wasser steigt nach oben).

## **Nuklid**

Atomart, die durch bestimmte Protonen- und Neutronenzahl und einen bestimmten Energiezustand bestimmt ist (→ Isotop).

## **Radioaktivität**

Eigenschaft bestimmter Atome, sich ohne äußere Einwirkung in andere Atomkerne umzuwandeln (zu zerfallen) und dabei ebenfalls eine charakteristische, energiereiche Strahlung auszusenden. Das entstehende Atom kann stabil oder wiederum radioaktiv sein.

## **Radionuklide, Radioisotop**

Instabile → Nuklide, Isotope, die spontan unter Strahlenemission zerfallen.

## **Radiopharmaka**

Medikament, dessen Wirkung auf der Strahlung eines Radioisotops beruht. Radiopharmaka werden sowohl für Diagnose als auch für die Therapie eingesetzt.

## **Redundanz**

Mehrfaches Vorhandensein von Systemen, bei denen bereits die Funktion eines einzigen für das Erfüllen der Aufgabe ausreichend ist.

## **Spaltprodukte, radioaktive**

Radionuklide, die bei der Spaltung von Kernbrennstoffen entstehen. Wichtige Spaltprodukte sind Strontium-90, Jod-131 und Cäsium-137.

## **Strahlenexposition**

Vorgang, bei dem Menschen oder Gegenstände radioaktiver Strahlung ausgesetzt werden. Es ist zwischen äußerer und innerer Exposition zu unterscheiden. Einer äußeren Exposition sind Menschen ausgesetzt, die sich in der Nähe einer Strahlenquelle befinden. Im Gegensatz dazu entsteht eine innere Exposition, wenn radioaktive Stoffe in den Körper aufgenommen wurden (→ Inkorporation).

## **Strahlenschäden, akute**

Durch die Einwirkung einer hohen Dosis einer → ionisierenden Strahlung hervorgerufenes Krankheitsbild, das innerhalb kurzer Zeit nach der Exposition auftritt. Der Schweregrad akuter Strahlenschäden hängt von der Dosis ab. Allerdings gibt es eine Schwellendosis, unterhalb derer keine akuten Gesundheitsschäden auftreten.

## **Strahlenschäden, stochastische**

Durch die Einwirkung ionisierender Strahlung hervorgerufene Spätenschäden, die als Schädigung des Erbgutes oder als Krebskrankung auch erst Jahre nach der Exposition auftreten können. Bei den stochastischen Strahlenschäden hängt nicht die Schwere der Erkrankung, sondern die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens von der Dosis ab.

## **Strahlung, ionisierende**

Sammelbegriff für alle Strahlenarten, die geladene Atom- und Molekülbausteine (Ionen) erzeugen können. Beim radioaktiven Zerfall wird von Atomkernen ionisierende Strahlung ausgesandt, deren Art und Energie charakteristisch für das Radionuklid ist. Man unterscheidet zwischen Alpha( $\alpha$ )-Strahlung aus Helium-Atomkernen, Beta( $\beta$ )-Strahlung aus negativ geladenen Elektronen oder positiv geladenen Positronen und elektromagnetischer Gamma( $\gamma$ )-Strahlung. Die  $\gamma$ -Strahlung tritt im Allgemeinen auch als Begleiterscheinung der  $\alpha$ -Strahlung und der  $\beta$ -Strahlung auf.



**Herausgeber**

Technische Universität München  
Forschungs-Neutronenquelle  
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)  
Lichtenbergstr. 1  
85748 Garching  
Tel. 089.289.12141  
frm2@frm2.tum.de

**Weitere Informationen**

[www frm2 tum de](http://www frm2 tum de)

**Redaktion**

Ramona Bucher  
Connie Hesse  
Anton Kastenmüller  
Christine Kortenbruck  
Michael Schmidt

**Fotonachweis**

Umschlagseite: Ernst A. Graf / TUM  
Seite 5: Wenzel Schürmann / TUM  
Seite 8/9: Ernst A. Graf / TUM  
Seite 14/15: Ramona Bucher / JCNS  
Seite 18: Wenzel Schürmann / TUM  
Seite 20: Wenzel Schürmann / TUM  
Seite 35: Ernst A. Graf / TUM

**Gestaltung**

Britta Eriskat, München

**Stand**

März 2017