

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist „Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft“. Als einzige deutsche Exzellenzuniversität mit nationaler Großforschung bieten wir unseren Studierenden, Forschenden und Beschäftigten einmalige Lern-, Lehr- und Arbeitsbedingungen. Die Wurzeln der universitären Bildungsstätte reichen bis ins Jahr 1825 zurück. Seine heutige Form erhielt das KIT, indem sich die Universität Karlsruhe (TH) und das Forschungszentrum Karlsruhe 2009 zusammenschlossen.

Das Programm Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE) am KIT ist Teil im Forschungsbereich Energie der Helmholtz-Gemeinschaft und steht für die gesellschaftliche Vorsorgeforschung zur nuklearen Sicherheit.

Die **Sicherheitsbewertung von Kernreaktoren** sowie der **Schutz der Bevölkerung** und unserer Umwelt vor Strahlenexpositionen sind strategische, langfristige Ziele der NUSAFE-Vorsorgeforschung – auch nach Beendigung der nuklearen Stromerzeugung in Deutschland. International hat die Kernenergie eine langfristige Perspektive: Länder wie China, Südkorea, Japan und die USA bauen neue Kernkraftwerke, und auch europäische Nachbarn wie z. B. Frankreich und Finnland setzen weiterhin auf Kernenergie.

Radioaktive Abfälle verantwortungsbewusst zu entsorgen und in einem Endlager sicher zu verwahren, bleibt eine Herausforderung für sehr lange Zeit. Die **Sicherheit eines Endlagersystems** muss nach gesetzlicher Vorgabe für einen Zeitraum von einer Million Jahre nachgewiesen werden. Das Programm NUSAFE betreibt Forschung zur Endlagerung radioaktiver Abfälle. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf grundlegenden Prozessen, die einen relevanten Einfluss auf die Langzeitsicherheit haben. Wir erforschen, wie sich radioaktiver Abfall im Laufe der Zeit verändert und verhält und wie sogenannte Radionuklide – also radioaktive Elemente – sicher in Endlagern verwahrt werden können. Außerdem untersuchen wir, welche Schritte weiterhin erforderlich sind: Was muss beim Rückbau kerntechnischer Anlagen beachtet werden? Wie sollten problematische (Sonder-)Abfallarten behandelt werden? Welche zusätzlichen Fragestellungen ergeben sich aus

der absehbaren verlängerten Zwischenlagerung ausgedienter Brennelemente? Wie ist die Kernmaterialüberwachung zu organisieren?

Um diese Fragen zu beantworten, betreiben wir **einzigartige Laborinfrastrukturen** und schaffen damit die notwendigen Voraussetzungen für exzellente nukleare Sicherheitsforschung. Wir widmen uns außerdem intensiv der **Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen und technischen Nachwuchses**, der bei Behörden, in der Industrie und der Wissenschaft dringend benötigt wird.



COSMOS-H Thermo-Hydraulik Versuchsanlage.

Im Folgenden werden die Vorlesungen, die am KIT in dem Bereich der nuklearen Sicherheitsforschung angeboten werden, kurz dargestellt.

Das **Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR)** versteht sich als internationales Institut der Energieforschung. Innovation und Forschung umfassen Fusionstechnologie, Solar-thermie, thermische Speicher, thermoelektrische Wandlungskonzepte und sicherheitstechnische Analysen kerntechnischer Anlagen vom Beschleuniger bis zu Kraftwerken.

In dem Bereich Kerntechnik werden vom INR die folgenden Vorlesungen angeboten:

Kernkraftwerkstechnik:

Ausbildungsziel der Lehrveranstaltung ist die Qualifizierung für eine forschungsnahe berufliche Tätigkeit in der Kernkraftwerkstechnik. Die Teilnehmenden können die wichtigsten Komponenten von Kernkraftwerken und deren Funktion beschreiben. Sie können eigenständig und gestalterisch Kernkraftwerke auslegen oder modifizieren. Sie eignen sich ein breites Wissen in dieser Kraftwerkstechnik an, einschließlich spezifischer Kenntnisse in der Kernauslegung, in der Auslegung des Primär- und Sekundärsystems und in der nuklearen Sicherheitstechnik. Auf Grundlage der erlernten Thermodynamik und Neutronenphysik können sie das spezifische Verhalten der Kernkraftwerkskomponenten beschreiben und analysieren, sowie Risiken selbst beurteilen. Teilnehmende der Vorlesung verfügen über ein geschultes analytisches Denken und Urteilsvermögen in der Konstruktion von Kernkraftwerken.

In einem weiteren Vorlesungsmodul werden **innovative nukleare Systeme** behandelt:

Ziel der Vorlesung ist die Vermittlung des aktuellen Standes und der Entwicklungsrichtungen der Kerntechnik. Nukleare Systeme, die aus der heutigen Sicht gute Perspektiven haben, werden vorgestellt. Die wesentlichen Eigenschaften solcher Systeme und dazugehörigen Herausforderungen werden dargestellt und diskutiert. Dazu gehören der aktuelle Stand und die Entwicklungstendenzen in der Kerntechnik sowie fortgeschrittene Konzepte des wassergekühlten Reaktors, schneller Reaktoren, die auch als Transmutationssysteme zur Behandlung nuklearer Abfälle eingesetzt werden können, und Entwicklungsrichtungen des gasgekühlten Reaktors, sowie Fusionssysteme.

In der Vorlesung Energiesysteme II werden die **Grundlagen der Reaktorphysik** vermittelt:

Die Studierenden erwerben umfassende Kenntnisse in der Physik von Kernspaltungsreaktoren: Neutronenfluss, Wirkungsquerschnitte, Spaltung, Brutprozesse, Kettenreaktion, kritische Größe eines Kernsystems, Moderation, Reaktordynamik, Transport- und Diffusionsgleichung für die Neutronenflussverteilung, Leistungsdichteverteilungen im Reaktor, Ein-, Zwei- und Mehrgruppen-Theorien für das Neutronenspektrum. Basierend auf

den reaktorphysikalischen Kenntnissen können die Studierenden die Fähigkeiten verschiedener Reaktortypen – Leicht- und Schwerwasserreaktoren, Kernkraftwerke der Generation IV – sowie ihre grundlegenden nuklearen Sicherheitskonzepte verstehen, vergleichen und bewerten. Die Studierenden sind für die Weiterbildung im Bereich Kernenergie und Sicherheitstechnik sowie für (auch forschungsnahe) berufliche Tätigkeiten in der Nuklearindustrie qualifiziert.

In einer weiteren Vorlesung werden die **Grundlagen der Reaktorsicherheit** vermittelt:

Die Vorlesung diskutiert die Grundprinzipien und Konzepte der Reaktorsicherheit einschließlich der Methoden zur Sicherheitsbewertung und schwerer, Kern zerstörender Reaktorunfälle. Ziel der Vorlesung ist es, die Grundlagen der Reaktorsicherheit zu vermitteln, welche zur Beurteilung der Sicherheit kerntechnischer Anlagen und der Bewertung von Reaktorunfällen wie Tschernobyl und Fukushima benötigt werden. Ausgehend von der Erläuterung der Hauptsysteme eines Kernkraftwerks werden die Sicherheitssysteme und -konzepte verschiedener Reaktortypen diskutiert. Die Entstehung und das Fortschreiten von Unfällen und Störfällen sowie die Methoden zu deren Bewertung werden ausführlich dargelegt. Anschließend wird der Fukushima-Unfall analysiert, dessen radiologischen Folgen dargestellt und die Gegenmaßnahmen zur Minimierung der Konsequenzen solcher Unfälle andiskutiert. Abschließend werden neue Entwicklungen der Sicherheit von Reaktoren der Dritten und Vierten Generation vorgestellt.

Das **Institut für Angewandte Materialien (IAM)** verfolgt einen interdisziplinären Ansatz in der Materialforschung, der die Vielfalt materialwissenschaftlicher Fragestellungen über mehrere Skalen abdeckt. Mit nationalen und internationalen Partnern erforscht es Werkstoffe von ihrem atomaren Aufbau bis zu ihrer Funktion im Produkt und schlägt dabei die Brücke von der Materialentwicklung über die Prozesstechnologie bis zur Systemintegration. Das IAM verfügt über breite methodische Kompetenzen in den Bereichen Herstellung und Verarbeitung, Charakterisierung und Simulation.

Das IAM gestaltet die Lehre im Studiengang Materialwissenschaft und Werkstofftechnik und trägt die materialwissenschaftliche Ausbildung für weitere Studiengänge der Ingenieur- und Naturwissenschaften.

Am **Institut für Angewandte Materialien – Angewandte Werkstoffphysik (IAM-AWP)** wird folgende Vorlesung angeboten, die auch einen starken Bezug zur nuklearen Sicherheit hat.

Werkstoffeinsatz bei hohen Temperaturen:

Der Lehrinhalt umfasst die vielfältigen Anwendungsgebiete und Anforderungsprofile für Hochtemperaturwerkstoffe. Dazu werden die Grundlagen der Hochtemperaturoxidation und die Einflüsse der Gasatmosphäre auf das Hochtemperaturkorrosionsverhalten vermittelt, sowie Schutzmaßnahmen gegen diese Korrosionsform aufgezeigt. Darüber hinaus werden auch komplexe mechanische Belastungen bei hohen Temperaturen erläutert. Des Weiteren werden die verschiedenen Hochtemperaturwerkstoffe behandelt: Stähle, Ni-Basislegierungen, Co-Basislegierungen, ODS-Legierungen, Refraktäre Legierungen sowie Keramiken und Verbundwerkstoffe.

Am **Institute for Applied Materials – Mechanics of Materials and Interfaces (IAM-MMI)** wird in einer weiteren Vorlesung, u. a. auch für die kerntechnische Ausbildung, die Auslegung hochbelasteter Bauteile behandelt.

Der Inhalt der Vorlesung umfasst Auslegungsvorschriften, klassische Stoffgesetze der Elasto-Plastizität und des Kriechens sowie Lebensdauerregeln für Kriechen, Ermüdung und Kriech-Ermüdungs-Wechselwirkung. Die Studierenden können die Regeln gängiger Auslegungsvorschriften für die Beurteilung von Bauteilen, die im Betrieb hohen thermo-mechanischen und/oder Bestrahlungsbelastungen unterliegen, benennen. Sie verstehen, welche Stoffgesetze beim Stand der Technik sowie Stand der Forschung zur Abschätzung der unter diesen Belastungen auftretenden Verformung und Schädigung und zur Vorhersage der zu erwartenden Lebensdauer verwendet werden. Sie haben einen Einblick über den Einsatz dieser in der Regel nichtlinearen Stoffgesetze in Finite-Elemente-Programmen und können die wesentlichen Punkte, die dabei zu beachten sind, beurteilen.

Das **Institut für Nukleare Entsorgung (INE)** befasst sich vorwiegend mit der Sicherheitsforschung zur Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe mit den Schwerpunkten Endlagersysteme/-komponenten, Radiochemie und Speziation von Radionukliden. Des Weiteren sind Arbeiten zum sicheren Rückbau kerntechnischer Anlagen sowie zur Geoenergie Teil des Forschungsportfolios.

Für Studierende wurde ein Radiochemie-Modul eingerichtet, das aus Grundlagen- und weiterführenden Vorlesungen zur Radiochemie sowie Laborkursen besteht. Der Fokus der Vorlesung "Radiochemie I" und "Radiochemie II" liegt auf der grundlegenden und angewandten Radiochemie. Ziel der Vorlesung ist es, die Grundlagen der Radio- und Kernchemie zu vermitteln, um die Kenntnisse zur Radioaktivität hinsichtlich der zugehörigen Theorie und der Anwendung zu vertiefen.

Ergänzt wird diese Grundlagenvorlesung durch die Vorlesung zur "Chemie der f-Elemente" sowie durch die Vorlesung "Instrumental Analytics".

Ergänzend zu den Vorlesungen wird für die Studierenden im Radiochemie-Modul sowie für die Studierenden der Universität Heidelberg eine gemeinsames dreiwöchiges Blockpraktikum im Fortbildungszentrum Technik und Umwelt sowie im Kontrollbereich des INE angeboten.

Darüber hinaus wird vom INE, gemeinsam mit dem INR, die Vorlesung: **Ausgewählte Probleme der angewandten Reaktorphysik** mit Übungen angeboten.

Die folgenden Themen werden dabei für die Studierenden behandelt: Radioaktive Umwandlungen der Atomkerne, Kernprozesse, Kernspaltung und verzögerte Neutronen, Grundbegriffe der Wirkungsquerschnitt, Grundprinzipien der Kettenreaktion, Statische Theorie des monoenergetischen Reaktors, Einführung in die Reaktorkinetik sowie ein Kernphysikalisches Praktikum.

Die Abteilung **„Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke“ des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)** befasst sich mit der Forschung und Entwicklung von Rückbautechnologien.

Forschungsschwerpunkt des Instituts bildet das gesamte maschinentechnische Gebiet im Bauwesen und Baubetrieb. Durch die zusätzliche Berücksichtigung der Besonderheiten in der Kerntechnik wird das Know-How aller Sparten gebündelt. Wissenschaftliche Tiefe und Nähe zur Praxis geben sich hier synergetisch und komplementär die Hand. Für die interessierten Studierenden werden speziell in diesem Fachgebiet folgende Vorlesungsmodule angeboten:

- Umwelt- und recyclinggerechte Demontage von Bauwerken. Mittels dieser Vorlesung sollen Studierende lernen Abbruch-, Demontage- und



Besuche der KTE – Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH im Rahmen der Vorlesung „Rückbau kerntechnischer Anlagen“

Entsorgungsarbeiten für bauliche und technische Anlagen selbständig zu planen, zu beantragen und vor Ort umzusetzen. Hierzu gehören die rechtlichen, technischen und praktischen Aspekte, angefangen von den Kriterien der passenden Verfahren über einen Abbruch- und Genehmigungsantrag, bis hin zu den entsprechenden Recycling- und Entsorgungsmöglichkeiten. Auch wird ein Überblick über die möglichen Schadstoffe (z. B. Asbest, Mineralfasern) und den entsprechenden Schutzvorkehrungen gegeben.

- Rückbau kerntechnischer Anlagen. Mittels dieser Vorlesung sollen Studierende u. a. in die Lage versetzt werden, Rückbaukonzepte zu erarbeiten und die benötigten Techniken und Verfahren zu wählen und einzusetzen, die Grundlagen der Genehmigung umzusetzen und entsprechende Anträge zu verfassen, Anforderungen der entsprechenden Gesetze zu berücksichtigen und umzusetzen.

Abschließend sei angemerkt, dass sich am KIT für die Studierenden im Rahmen von Forschungsarbeiten an den verschiedenen Instituten, die im **Programm NUSAFE** tätig sind, zahlreiche Möglichkeiten der Anfertigung einer Bachelor- oder Masterarbeit ergeben. Darüber hinaus werden auch Promotionsarbeiten an den Instituten angeboten.

KONTAKT

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

<https://www.kit.edu>

<https://twitter.com/KITKarlsruhe>

<https://www.facebook.com/KIT.Karlsruhe.Official>

<https://www.youtube.com/user/KITVideoclips>

Programm Nukleare Entsorgung, Sicherheit und Strahlenforschung (NUSAFE)

<https://www.nusafe.kit.edu/>

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR)

<https://www.inr.kit.edu/>

Institut für Angewandte Materialien (IAM)

<https://www.iam.kit.edu/>

Institut für Nukleare Entsorgung (INE)

<https://www.ine.kit.edu/>

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)

<https://www.tmb.kit.edu/>

Autoren

Dr. Walter Tromm

Programmsprecher NUSAFE;
Sicherheitsforschung für Kernreaktoren,
Notfallschutzmaßnahmen

walter.tromm@kit.edu

Prof. Dr. Sascha Gentes

Institut für Technologie und
Management im Baubetrieb (TMB)
Leiter der Abteilung Rückbau

sascha.gentes@kit.edu

