

Das Tritium-Brutblanket

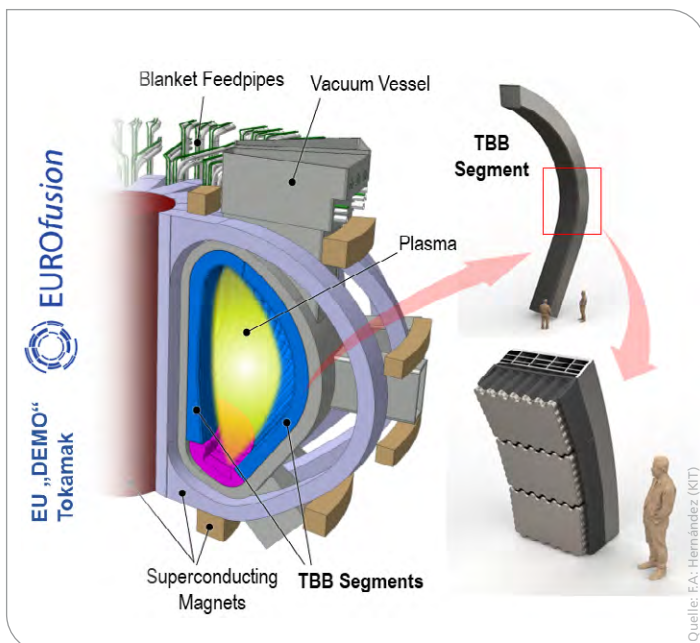
Einblicke in das Herz eines Kernfusionsreaktors

Das Tritium-Brutblanket (TBB) bildet bildlich gesprochen das Herz jedes mit Deuterium und Tritium betriebenen Kernfusionsreaktors. Dieses System befindet sich zwischen dem 150 Millionen Grad Celsius heißen Plasma und den supraleitenden Magneten mit einer Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt, die das Plasma einschließen. All diese Bauteile sind nur wenige Meter voneinander entfernt, was eine der größten technischen Herausforderungen der Fusionstechnologie darstellt. An dieser zentralen Position im Reaktor übernimmt das TBB essenzielle Funktionen. In der Natur ist Deuterium reichlich vorhanden, und zwar in Wasserquellen mit einer Konzentration von ca. 150 ppm. Tritium hingegen kommt fast nicht natürlich vor. Daher muss jeder Reaktor, der mit diesen beiden Fusionsbrennstoffen arbeitet, sein eigenes Tritium erzeugen. Dies ist eine der wichtigsten Funktionen des TBB. Die Kernfusion von Deuterium und Tritium erzeugt hochenergetische Heliumionen und schnelle Neutronen.

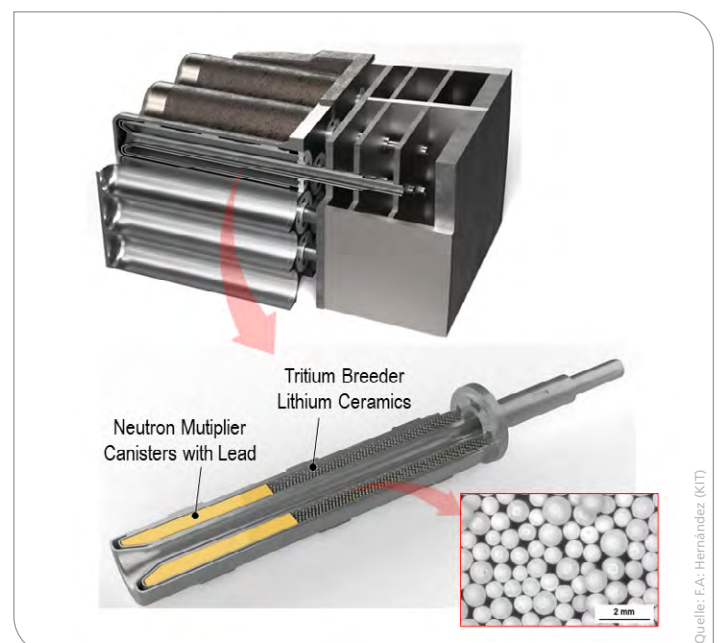
Nutzung der Fusionsneutronen

Die Heliumionen sind durch die von den supraleitenden Magneten erzeugten Magnetfelder im Plasma eingeschlossen. Die Neutronen hingegen, die von den Magnetfeldern nicht beeinflusst werden,

entkommen diesem Einschluss. Das erste – und im Idealfall letzte – Element, auf das die Neutronen treffen, ist das TBB. Bei den TBB-Komponenten, den sogenannten Segmenten, handelt es sich um ca. zehn Meter lange prismatische Strukturen, die im Querschnitt ca. einen Quadratmeter messen, aus einem Stahl mit reduzierter Aktivierung (EUROFER97). In diese Monoblock-Segmente sind tiefe, auf das Plasma gerichtete Löcher gebohrt, die mit sogenannten Brennstoff-Brüterpins gefüllt sind. Diese Pins enthalten eine Kombination aus Lithiumoxid-Keramikkugeln und mit Blei gefüllten Behältern. Die einfallenden Neutronen lösen die Umwandlung der Lithiumatome der Keramikkugeln in Tritium sowie Neutronenvermehrungsreaktionen im Blei aus, die weitere Tritium-Brutreaktionen auslösen können. All die verschiedenen Kernreaktionen, die im TBB stattfinden, erzeugen eine enorme Menge an Wärme. Die Energie der schnellen Neutronen im TBB wird also nicht nur zur Erzeugung des Brennstoffs Tritium, sondern auch zur Erzeugung von hochwertiger Wärme genutzt. Diese Wärme wird durch ein Kühlmittel abgeführt, das durch die Brennstoff-Brüterpins fließt. Als Kühlmittel dient Heliumgas, weil es eine optimale Betriebstemperatur ermöglicht, nicht nur für eine effiziente Tritiumgewinnung, sondern auch zur Maximierung des thermischen Wirkungsgrads der Anlage sowie zur Optimierung der Lebensdauer des Stahls.



Darstellung des geplanten EU-Kernfusionsreaktors DEMO, eines TBB-Segments und eines Ausschnitts aus dem mittleren Bereich des TBB.



Ausschnitt aus dem HCPB-TBB sowie eine Brennstoff-Brüterpin mit ihren Bestandteilen

An der Schnittstelle von Natur- und Ingenieurwissenschaften

Das Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR) des KIT leitet die deutsche und europäische TBB-Entwicklung innerhalb der Europäischen Atomgemeinschaft Euratom. Im Konsortium EUROfusion werden mehrere TBB-Konzepte verfolgt. Das beschriebene sogenannte Helium Cooled Pebble Bed (HCPB) gilt jedoch als Referenz für ein zukünftiges Kernfusionskraftwerk. Forschung und Entwicklung laufen ganzheitlich, wobei Forschende mehrerer physikalischer und ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen zusammenarbeiten und Aspekte der Kraftwerksintegration und Fertigung berücksichtigen, um die Industrialisierung und Kostenminimierung dieser Komponente sicherzustellen.

Kernkomponenten des TBB sind der Pin-Monoblock und die Brennstoff-Brüterpins, die Lithiumoxid-Keramikkugeln und bleihaltige Behälter enthalten. Der Pin-Monoblock wurde in Zusammenarbeit mit der voestalpine Foundry Group in Traisen/Österreich durch Gießen von EUROFER97-Stahl mit einer innovativen 3D-gedruckten Sandformtechnologie gefertigt, um das Zwischenprodukt mit tiefen Löchern herzustellen. In zukünftigen Schritten wird ein massiver EUROFER97-Block geschmiedet, um RAFM-Stahl von höchster Qualität mit den erforderlichen Eigenschaften zu erhalten.

Auf dem Weg zum Fusionskraftwerk

Das KIT ist auch für die Materialentwicklung und die Fertigungsdemonstration der Lithiumoxid-Keramikkugeln und der bleihaltigen Behälter verantwortlich. Dies schließt die gesamte Bandbreite der Charakterisierungsanalysen zur Materialqualifizierung ein, die an mehreren Instituten vorgenommen werden. Der Konstruktionszyklus am KIT endet mit dem Bau mittelgroßer integraler Prototypen, die unter relevanten thermohydraulischen und strukturellen Bedingungen im Hochdruck-Hochtemperatur-Heliumkreislauf HELOKA des INR getestet werden. In solchen Tests sammeln die Forschenden hochwertige Validierungsdaten. Diese Daten sind grundlegend für die Qualifizierung und Zulassung der Komponenten für die Pläne zur Realisierung eines zukünftigen Pilotkraftwerks oder Kraftwerks.



Pin-Monoblock-Prototyp des HCPB-TBB.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik (INR)

Prof. Dr.-Ing. John Jelonnek
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: +49 721 608-24874
E-Mail: john.jelonnek@kit.edu
Web: www.inr.kit.edu

Dr.-Ing. Francisco A. Hernández
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Tel.: +49 721 608-22473
E-Mail: francisco.hernandez@kit.edu
Web: www.inr.kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) · Präsident Professor Dr. Jan S. Hesthaven · Kaiserstraße 12 · 76131 Karlsruhe