

Der ITER-Brennstoffkreislauf – Wasserstoffprozesstechnik für die Fusion

Chr. Day, ITP; M. Glugla, HVT; G. Janeschitz, FUSION

Einleitung

In der evakuierten Brennkammer eines Fusionsreaktors werden in einem nuklearen Prozess – ähnlich dem in der Sonne – die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium unter Energiegewinn bei Temperaturen von etwa hundert Millionen Grad in einem durch sehr hohe Magnetfelder eingeschlossenen Plasma zu Helium verschmolzen. Dabei können die physikalisch-technischen Reaktionsbedingungen zur Energiefreisetzung innerhalb des Plasmas nur aufrecht erhalten werden, wenn der Gas-

durchsatz sehr hoch ist und jeweils nur wenige Prozent des eingespeisten Deuteriums und Tritiums durch die Fusionsreaktion verbraucht werden. Die Brennstoffe werden daher im Fusionsreaktor in einem geschlossenen Brennstoffkreislaufprozessiert.

Das in Abb. 1 rot illustrierte, schlauchförmige Plasma ist von einem so genannten Brutblanket (gelblich) umhüllt. Unverbrauchtes Deuterium und Tritium werden zusammen mit dem Fusionsprodukt Helium kontinuierlich über Vakuumpumpen entfernt. In einem

inneren Brennstoffkreislauf wird dieses Helium gemeinsam mit durch Randprozesse gebildeten Begleitgasen abgetrennt und das gewonnene Gemisch aus reinem Deuterium und Tritium direkt zurück geführt. Während verbrauchtes Deuterium von außen ersetzt wird muss das radioaktive Tritium im Brutblanket der Reaktorbrennkammer selbst über Kernreaktionen aus Lithium gewonnen werden. In einem äußeren Brennstoffkreislauf wird das so erbrütete Tritium mit Hilfe von Helium aus dem Blanket herausgespült, abgetrennt und in

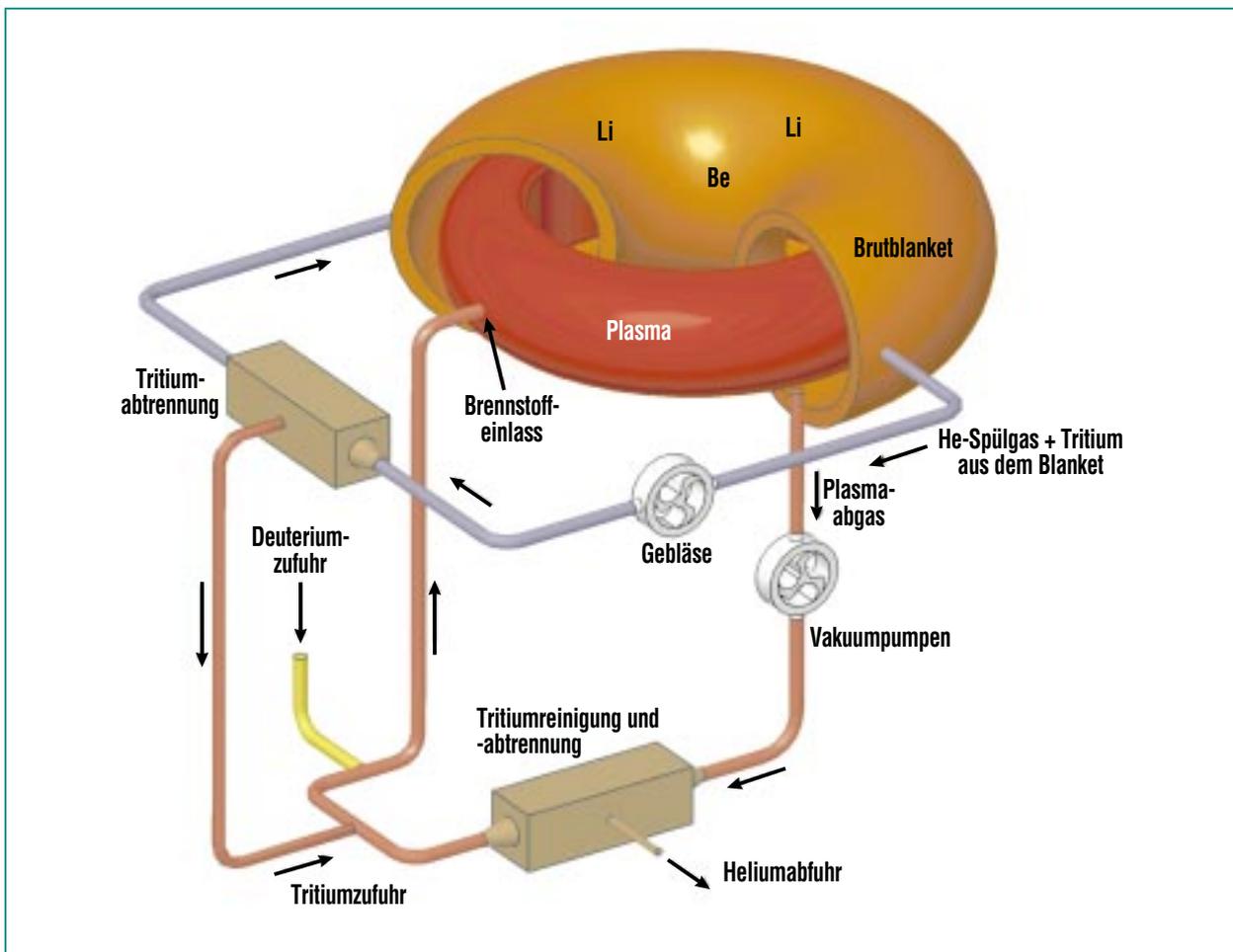


Abb. 1: Der Brennstoffkreislauf eines Fusionsreaktors gliedert sich in einen inneren (rot) und äußeren Teil (blau).

den inneren Brennstoffkreislauf eingeleitet.

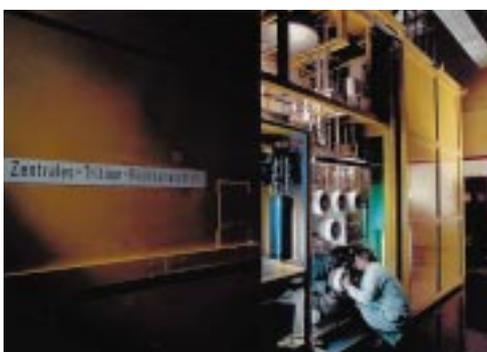
Die für den Umgang mit regulärem Wasserstoff seit Jahrzehnten bewährten Techniken sind nur eingeschränkt auf den Umgang mit Deuterium und dem radioaktiven Tritium übertragbar. Ausführliche Kenntnisse und Erfahrungen im Bereich der fusionspezifischen Vakuumtechnik und der Tritiumtechnologie sind daher unabdingbare Voraussetzungen für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb eines Fusionsreaktors. Innerhalb des Forschungszentrums Karlsruhe beschäftigen sich speziell das Institut für Technische Physik (ITP) und das Tritiumlabor Karlsruhe der Hauptabteilung Versuchstechnik (HVT) seit mehr als einer Dekade mit diesen Technologien. Beide Arbeitsgruppen können

bis heute nicht nur auf umfangreiche Forschungsergebnisse verweisen, sondern testen auch prototypische Komponenten für den derzeit im Bau befindlichen Experimentalreaktor ITER [1].

Das Tritiumlabor Karlsruhe – Tritium sicher eingeschlossen

Das Tritiumlabor Karlsruhe (TLK) ist das einzige wissenschaftliche Labor in der Europäischen Union welches Tritium in technischem Maßstab für fusionstypische Anwendungen hantieren kann. Das Labor verfügt über einen geschlossenen Tritiumkreislauf mit verschiedenen Systemen und hat damit bereits in vielerlei Hinsicht Ähnlichkeit mit der ITER-Tritiumanlage. Hier wie dort wird Tritium gespeichert, durch die Handhabung mit Deuterium,

Helium und anderen Begleitgasen vermischt und verunreinigt, in einer Reinigungsanlage ein nur Wasserstoffisotope (Wasserstoff, Deuterium und Tritium) enthaltendes sauberes Gas erzeugt und letztlich in einer Isotopentrennanlage in reiner Form zurückgewonnen. Dabei muss das Tritium in allen Phasen aus ökonomischen und ökologischen Gründen in ultradichten Apparaturen eingeschlossen und mit großer Präzision gemessen und analysiert werden. Sowohl die Forschungsaktivitäten als auch die beim Betrieb der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur des TLK gewonnenen Erfahrungen haben die Planung des ITER-Brennstoffkreislaufs bereits entscheidend beeinflusst. Abb. 2 zeigt in ausgewählten Bildern einige in Handschuhkästen installierte Tritiumsysteme.



Kryopumpen – heiße Gase kalt gefroren

Die hohen Brennstoffströme einer Fusionsanlage sind eine besondere Herausforderung für die Vakuumtechnik, da sowohl der Gasdurchsatz verkräftet werden als auch ein Hochvakuum zwischen den Plasmaentladungen aufrecht erhalten werden muss. Die zusätzlichen speziellen Anforderungen eines Fusionsexperimentes an die angeschlossenen Vakuumsysteme (Magnetfelder, Tritiumkompatibilität, Wartungsfreiheit) können dabei nur von großen, spezifisch entwickelten Kryopumpen erfüllt werden.

Kryopumpen sind Vakuumpumpen, die auf kryogenem Weg Vakuum erzeugen. Sie nutzen das Prinzip aus, dass alle Gase kon-

Abb. 2: Die Tritiummesstechnik (oben links), das zentrale Rückhaltesystem (unten links) und die Isotopentrennanlage (rechts) des TLK.

densieren bzw. an den vorhandenen Oberflächen adsorbieren, wenn die Temperaturen nur tief genug gewählt werden. Die Gase werden gebunden, verschwinden somit aus der Gasphase und der Gasdruck nimmt entsprechend ab. Die kalten Flächen der ITER-Kryopumpen sind mit speziellen Aktivkohlen beschichtet, die für die gleichzeitige Sorption von Helium und den Wasserstoffisotopen optimiert wurden.

Kryopumpen zeichnen sich durch ihre große Flexibilität im Design und ein sehr großes Saugvermögen bei einem sehr kleinen erreichbaren Enddruck aus. Sie sind daher perfekt für Anwendungen in der Kernfusion geeignet. Aus diesem Grund werden sie nicht nur zum Pumpen der Brennkammer in allen dort vorkommenden Betriebsmoden verwendet, sondern auch für andere plasmaher Systeme (Plasmaheizung, Brennstoffzufuhr). Ein weiterer Vorteil von Kryopumpen ist die Möglichkeit, sie in Form und Design optimal auf die gegebenen Platzverhältnisse anpassen zu können. Dafür wurden am Forschungszentrum die nötigen Auslegungswerkzeuge entwickelt, so dass jeder diskutierte Designentwurf schnell und begründet bewertet werden kann. Abb. 3 zeigt beispielhaft die ITER-Modellpumpe im Maßstab 1 : 2 sowie eine kürzlich für das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik entwickelte Kryopumpe zum Test der ITER-Neutralteilchen-Plasmaheizung.

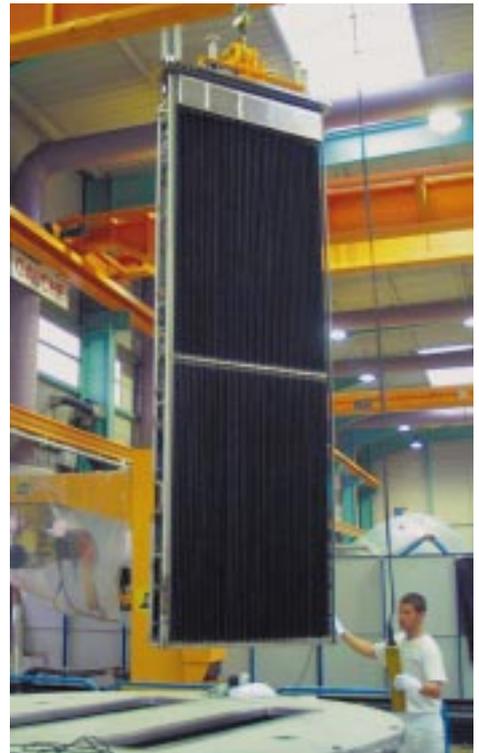


Abb. 3: Beispiele für am Forschungszentrum ausgeführte Kryopumpen für die Kernfusion: Die zylindrische Modellpumpe für ITER (oben links mit Blick auf die Ventilseite, unten beim Einbau) und die Rechteckpumpe für die Plasmaheizung (rechts).

Ausblick

Dem Forschungszentrum Karlsruhe fällt bei der Planung, dem Aufbau und der Inbetriebnahme der Tritiumanlage von ITER eine Schlüsselrolle zu. Mit den Forschungsergebnissen aus mehr als zehn Jahren auf dem Gebiet der Vakuum- und der Tritiumprozesstechnik wurden die Voraussetzungen geschaffen, Systeme und Komponenten zuverlässig für ITER skalieren zu können. Zusätzliche Schwerpunkte der Arbeitsfelder des Tritiumlabors und der am Institut für Technische Physik betei-

ligten Abteilungen werden neben konstruktionsbegleitenden Forschungsarbeiten auch Systemdesign, Projektverfolgung und Fertigungsbegleitung bis hin zur Inbetriebnahme von ITER sein. Die technologie-orientierten Beiträge und die große Erfahrung des Forschungszentrums auf dem Gebiet des Brennstoffkreislaufs sind ein Schlüsselement zum Erfolg von ITER.

Literatur

[1] <http://www.iter.org/>