

Die Plasmaquelle beschiesst die Spiegel mit Ionen – zu ähnlichen Bedingungen wie im Fusionsreaktor.

Spiegel für den Fusionsreaktor

Die Kernfusion zählt zu den möglichen Alternativen zu konventionellen Energieerzeugungstechnologien. Technische Lösungsansätze für die Realisierung des ITER sind zurzeit Gegenstand der Forschung, an der auch die Schweiz im Rahmen internationaler Projekte beteiligt ist.

Im Fusionsreaktor herrscht ein raues Klima. Neutronen- und Ionenstrahlung sowie hohe Plasmatemperaturen stellen enorme Anforderungen an die verwendeten Materialien. An der Universität Basel werden neuartige Materialbeschichtungen entwickelt, damit die Primärspiegel ihre Aufgabe beim Anfahren und Betrieb des Fusionsreaktors erfüllen können: Sie müssen das Licht aus der Vakuumkammer über weitere Spiegel zur installierten Diagnostik und Messtechnik leiten, denn durch den intensiven Neutronenbeschuss kann kein direkter Sichtkontakt gegeben werden.

Plasma in Vakuumkammer

Als erster Schritt zum Start der Fusionsreaktion müssen Luft und Verunreinigungen aus der Vakuumkammer entfernt

werden. Danach schaltet man die leistungsstarken Magnete ein und lässt den gasförmigen Brennstoff ein. Nun wird in der Kammer eine elektrische Spannung angelegt, so dass das Gas ionisiert und ein Plasma bildet.

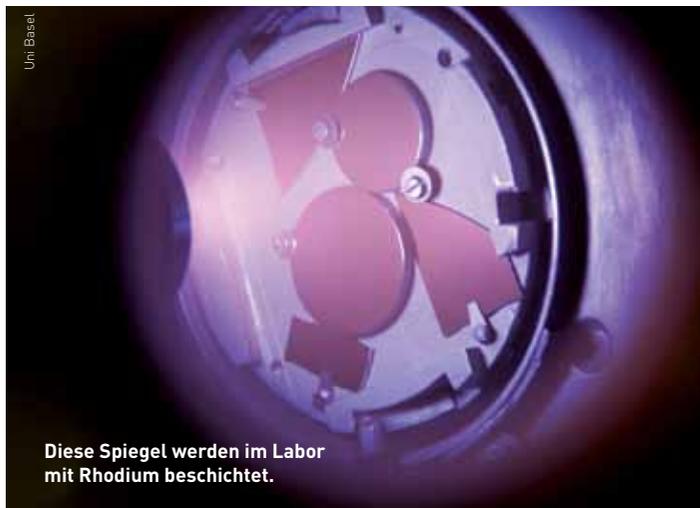
Dieses Plasma schafft die Grundlage für die Fusion von Deuterium und Tritium, den beiden Wasserstoff-Isotopen. Während des Betriebs muss vor allem verhindert werden, dass das heisse Fusionsplasma aus seinem «Magnetkäfig» ausbricht und die Wände berührt, da in diesem Fall Partikel aus der Wand verdampfen würden. Solche Verunreinigungen kühlen das Plasma ab und die Fusion kommt zum Erliegen. Sowohl der Anfahrprozess als auch der nachfolgende Betrieb des Fusionsreaktors werden nicht machbar sein, falls nicht

geeignete Messsysteme zur Verfügung stehen. Für die vielfältigen optischen Messungen sind gut funktionierende Primärspiegel eine grundlegende Voraussetzung. Solche werden zurzeit an verschiedenen Forschungsinstituten, so auch am Physik-Departement der Universität Basel, entwickelt. Damit liegt ein wesentlicher Schlüssel für das Gelingen des im Bau befindlichen Experimental-Fusionsreaktors ITER bei diesen Forschungsgruppen. Unterstützung erhalten die Forschenden durch den Bund, durch das Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF) sowie das Bundesamt für Energie (BFE). Neben dem Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP) der ETH Lausanne, dem Schweizer Kompetenzzentrum für Plasmaphysik, ist seit langem auch die Uni-

versität Basel mit Forschungsarbeiten des Teams um den Physiker Dr. Laurent Marot am Lehrstuhl von Prof. Ernst Meyer im Bereich von Materialbeschichtungen tätig.

Chancen und Gefahren

Laurent Marot: «Im Gegensatz zu den weltweit im Einsatz stehenden Kernkraftwerken arbeitet ein Fusionsreaktor mit anderen Brennstoffen und auch geringeren Mengen. Die Gefahr einer unkontrollierten Kettenreaktion besteht nicht, da das Fusionsplasma nur bei genau den eingestellten Bedingungen weiter brennen kann. Ansonsten erlischt es sofort. Die Halbwertszeiten der bei der Fusion anfallenden radioaktiven Abfälle sind im Vergleich zu Uranium und Plutonium sehr klein. Somit sind die Abfälle nach wenigen Generationen ungefährlich und



Diese Spiegel werden im Labor mit Rhodium beschichtet.

benötigen kein Endlager. Sowohl die Betriebssicherheit als auch die langfristige Versorgung mit Brennstoffen sind wesentliche Pluspunkte. Neben den grossen technologischen Herausforderungen bei der Entwicklung und der Realisierung des ITER geben auch die Prozessstabilität sowie die interne Erzeugung von Tritium in der Fachwelt immer wieder zu Diskussionen Anlass. Während Deuterium aus Meerwasser gewonnen werden kann – also kaum limitiert ist – ist Tritium durch den aus dem Plasma erfolgenden Neutronenbeschuss aus den im Reaktor eingebauten Lithium-Modulen zu erzeugen.»

Messsysteme

Die ringförmige Vakuumkammer des ITER, Tokamak genannt, wird mit rund 50 unterschiedlichen Mess- und Diagnostik-Systemen ausgestattet, um das dort gebildete Plasma zu steuern, zu kontrollieren und zu optimieren. Gemessen werden Grössen wie Temperatur, Dichte, Helium-Menge oder Verunreinigungen. Der Ausgangspunkt ist das gesamte sichtbare und auch Teile des unsichtbaren Lichtspektrums. Eingesetzt wird die komplette Bandbreite an bekannten Instrumenten wie Laser, Röntgengeräte, Spektrometer und Strahlungsmessgeräte. Zudem gibt es Neutronenkameras, Partikel-Monitoren, Druck- und Gas-Analysegeräte. Über Spiegel lassen sich die Lichtwellen den einzelnen

Systemen zuführen. Funktioniert allerdings der Primärspiegel nicht mehr einwandfrei, werden Messwerte verfälscht und die Steuerung der Fusionsreaktion evtl. beeinträchtigt oder sogar verunmöglicht.

Arbeiten an der Uni Basel

Laurent Marot: «Wir konzentrieren uns auf die Untersuchung der Erosions- und Ablagerungsmechanismen, welche die optische Reflektion von potenziellen Materialien beeinflussen. Dabei sind Stoffe mit einer hohen Dichte gefragt, wie Molybdän und Rhodium, die auf ein Basismetall aufgebracht werden können.»

Das Team arbeitet sowohl an mono- als auch polykristallinen Materialien und nutzt die seit langem vorhandenen Kompetenzen des Instituts im Bereich der Nanokristalle. Denn sind die Kristallite kleiner als die auftreffende Wellenlänge, so werden durch Ionenätzen und Neutronenbeschuss die Spiegeleigenschaften weniger stark verändert.

Im ITER sollen diese Primärspiegel einen Durchmesser von ca. 40 cm und eine Dicke von 4 bis 5 cm aufweisen. Im Labor werden heute als Prüflinge zum Teil beschichtete Proben mit einem Durchmesser von bis zu 3 cm eingesetzt.

In der Plasma-Abscheidungskammer erfolgt die gezielte Oberflächenbeschichtung mit den gewünschten Materialien. Dazu nutzen die Forscher das Magnetronspattern, also die

Kathodenzerstäubung im Vakuum, bei der durch Beschuss mit energiereichen Ionen einzelne Atome aus einem Festkörper herausgelöst werden, in die Gasphase übergehen und sich auf der Gegenseite als Schicht ablagnern. Diese Sputterdeposition stellt also eine Beschichtungstechnik dar, mit der gezielte Materialeigenschaften erzeugt werden können.

Primärspiegel im Innern

Laurent Marot: «Geplant sind ca. 80 Stück, mit welchen die gesamte Diagnostik arbeiten soll. Wir stehen auch in engem Kontakt mit den für den Bau der Diagnostikelemente beauftragten Labors bzw. dem dafür verantwortlichen Konsortium.» Die technologischen und organisatorischen Anforderungen zum Bau des ITER sind enorm. Es werden umfangreiche Mittel an Ressourcen und Finanzen benötigt.

Weltweit sind Forschung und Industrie daran, Lösungen zu finden und konkrete Elemente zu bauen. Wer behält schliesslich Recht: die Kritiker oder die Optimisten? Hätten die Forschungsarbeiten, wie sie an der Universität in Basel und am CRPP in Lausanne durchgeführt werden, auch einen Zweck gehabt, falls ITER zeigt, dass das Ziel einer kommerziellen Fusionsenergienutzung noch immer nicht erreichbar ist?

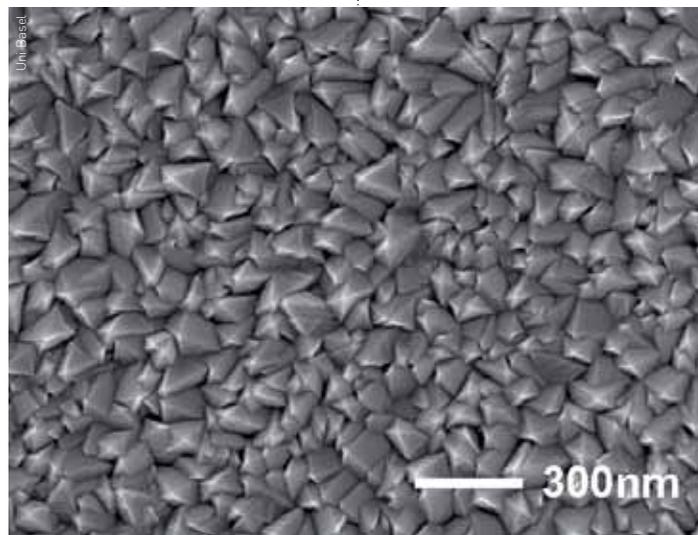
Industrie profitiert

Neben der Grundlagenforschung im Bereich der Beschichtungstechnologie, wie sie vom Team um Laurent Marot durchgeführt wird, sind damit auch Ausbildungsmöglichkeiten für Physiker und Wissenschaftler verbunden. Die bisherigen Arbeiten zeugen darüber hinaus von einer Vielfalt an Nutzungsoptionen. Dieses Know-how wurde beispielsweise vom früheren Leiter der Gruppe Nanostrukturen und Composites, Prof. Dr. Peter Oelhafen, auch für die Entwicklung von Sonnenschutzgläsern und thermischen Sonnenkollektoren eingesetzt. Solche Produkte sind heute auf dem Markt und tragen zur Einsparung bzw. Gewinnung von Energie bei. Vakuumbeschichtungen wie Magnetronspattern sind heute in der Industrie weit verbreitete Methoden zur Veredelung von Produkten. Dünnschichttechnologie und nanostrukturierte Beschichtungen stellen für die Lösung zahlreicher technologischer Problemstellungen eine wichtige Option dar. ☞

Jürg Wellstein, Fachjournalist

Info:

Dr. Laurent Marot
Universität Basel
Claude Vaucher, Staatssekretariat für Bildung und Forschung
www.energieforschung.ch
www.iter.org



Oberflächenstruktur von Molybdän, einem geeigneten Material für die Beschichtung der Primärspiegel.