



Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops in Athen.

EU-Projekt „FEMaS“

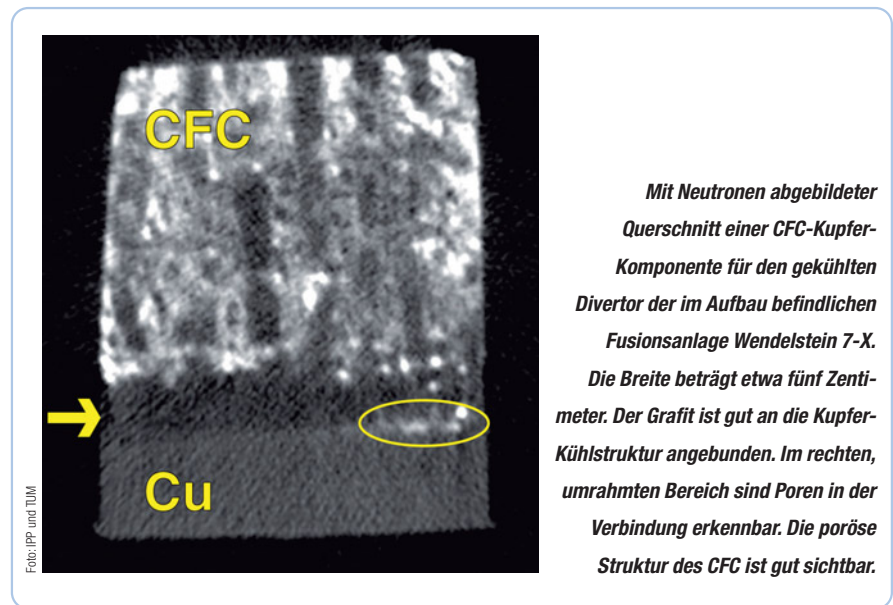
Auf dem Weg in die dritte Dimension

Synchrotron- und Neutronenmethoden erlauben Materialanalysen in drei Dimensionen. Eine einzigartige Möglichkeit, tief verborgene Defekte sichtbar zu machen.

► Zum Abschluss der ersten Hälfte der Projektlaufzeit veranstaltete das EU-Projekt FEMaS (Fusion Energy Materials Science) vom 13. bis 15. Januar am nationalen Zentrum für wissenschaftliche Forschung „Demokritos“ in Athen seinen zweiten Workshop. Im Rahmen des siebten Forschungsrahmenprogramms der EU wird diese Koordinierungsmaßnahme unter Konsortialführerschaft des Bereichs Materialforschung des IPP durchgeführt. FEMaS verfolgt das Ziel, den international tätigen Fusions-Materialforschern einen Zugang zu Synchrotron- und Neutronenquellen, aber auch zu Methoden der mikro-mechanischen Materialcharakterisierung und modernsten Transmissions-Elektronenmikroskopen zu ermöglichen. Inhaltlich stehen Wolfram- und Stahlbasierte neue Materialien, Beschichtungen, sowie das Studium von Neutronenschäden in Fusionsmaterialien im Mittelpunkt der FEMaS-Aktivitäten.

Mehr als 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf dem Gebiet der Materialforschung von 27 Forschungseinrichtungen und Universitäten aus 17 Europäischen Mitgliedsstaaten nahmen an dem Workshop teil. Die Bedeutung des

Themas und insbesondere des laufenden Projektes wurde durch die Anwesenheit der zuständigen Programmverantwortlichen der Europäischen Kommission, Dr. Rosa Antidormi, unterstrichen. In den Beiträgen berichteten die Projekt-



Mit Neutronen abgebildeter Querschnitt einer CFC-Kupfer-Komponente für den gekühlten Divertor der im Aufbau befindlichen Fusionsanlage Wendelstein 7-X. Die Breite beträgt etwa fünf Zentimeter. Der Graphit ist gut an die Kupfer-Kühlstruktur angebunden. Im rechten, umrahmten Bereich sind Poren in der Verbindung erkennbar. Die poröse Struktur des CFC ist gut sichtbar.

partner über die gemeinsamen Forschungsaktivitäten, die durch FEMaS angestoßen wurden. Nach einem ersten Workshop im Januar 2009 waren insgesamt weitere 65 konkrete Aktivitäten vereinbart worden, bei denen gemeinsame Materialentwicklungen und -analysen stattfinden.

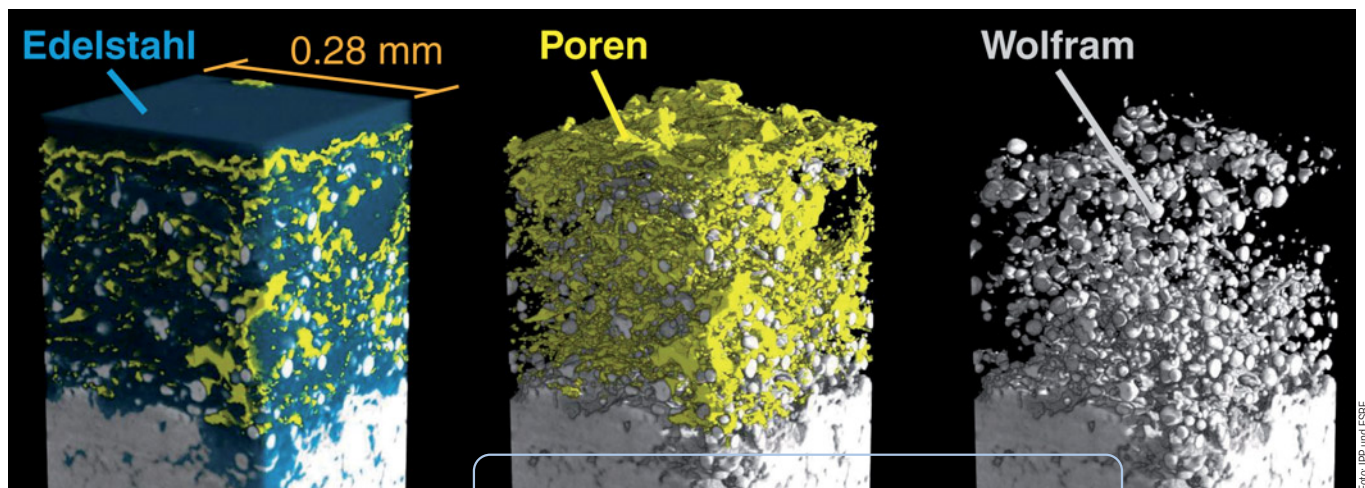
Den Materialforschern des IPP ist es im Rahmen von FEMaS zum ersten Mal gelungen, tomografische Untersuchungen, also dreidimensionale Abbildungen, an Wolfram-Komponenten für Fusionsanlagen durchzuführen. Dabei wurden sowohl Röntgenstrahlen an der Europäischen

Zerschneiden, Schleifen oder Polieren die Materialien aufwändig bearbeitet – und dabei meist zerstört – werden müssen.

Die Abbildung unten zeigt die Grenzfläche zwischen einer Wolframbeschichtung und einer Edelstahl-Oberfläche. Mit Hilfe harter und hochintensiver Röntgenstrahlung (52 Kilo-Elektronenvolt Energie), wie sie an der ESRF in Grenoble verfügbar ist, kann die Probe nicht nur durchleuchtet und dreidimensional abgebildet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Absorption der Röntgenstrahlung in den verschiedenen Materialien können zusätzlich

In der Herstellung genügend kleiner Proben, die noch durchleuchtet werden können, lag bei den Untersuchungen deshalb eine besondere Herausforderung. Mit Hilfe der neuen Tomografie-Messungen ist es nun jedoch möglich, die Grenzflächen und ihre Eigenschaften zu studieren. Da Wolfram nach derzeitigem Kenntnisstand das bestgeeignetste Material für die erste Wand in einem Fusionsreaktor ist, ist diese neue Möglichkeit für die Fusionsforschung von besonderem Interesse.

Tomografie ist auch mit Neutronen möglich, wie sie am FRM II direkt in der Nachbarschaft des IPP in Gar-



Tomografische Rekonstruktion der Wolfram-Stahl-Grenzfläche.

Die Wolframschicht (grau) ist gut an das Stahlsubstrat (blau) angebunden, wobei die Vermischungszone mit Poren (gelb) durchsetzt ist.

Synchrotronquelle ESRF in Grenoble, als auch Neutronen an der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz FRM II in Garching benutzt. Darüber hinaus konnte am Synchrotron BESSY II, Helmholtz-Zentrum Berlin, eine spezielle Präparationskammer in Betrieb genommen werden, in der im Vakuum Mehrkomponenten-Schichten für eine tiefenaufgelöste chemische Analyse hergestellt wurden. All diese Techniken erlauben den Zugang zur „dritten Dimension“ in Materialien und Komponenten, ohne dass durch

die dreidimensionalen Strukturen und ihre Grenzflächen getrennt nach Stahl, Wolfram und den vorhandenen Poren sichtbar gemacht werden. Kleinste Strukturen von etwa zwei bis drei Mikrometern werden so aufgelöst und erlauben eine Beurteilung der Grenzfläche.

Besonders schwierig ist die Abbildung von Wolfram, da es Röntgenstrahlung sehr gut abschirmt: für die Experimente an der Synchrotronquelle werden Wolframbleche normalerweise als Blenden verwendet!

ching zur Verfügung stehen. Anders als Röntgenstrahlung können Neutronen aber Materialien viel leichter durchdringen. Daher ist eine Abbildung größerer Komponenten möglich, dies jedoch auf Kosten der Auflösung. In der Abbildung links ist eine einzelne Ebene im Inneren einer Kupfer-CFC-Komponente zu sehen, wie sie als dreidimensionale Rekonstruktion in der Abbildung auf Seite 6 dargestellt ist. Die abgebildete Komponente ist ein Teil eines Vorseriens-Targetelements des aktiv gekühlten Divertors für den im Aufbau befind-

Ausschnitt der 3D-Rekonstruktion der CFC-Kupfer-Komponente aus mehr als 2.000 Einzelaufnahmen. Im rechten Teil ist ein (vorher bekannter) Verbindungsfehler zwischen Kupfer (unten) und dem porösen CFC-Material zu sehen.

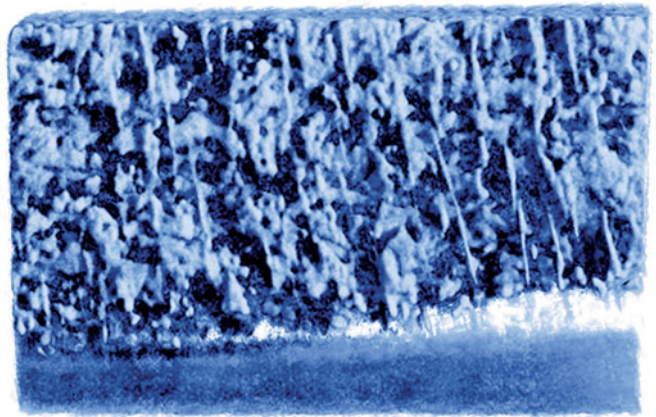


Foto: PP und TUM

lichen Stellarator Wendelstein 7-X, der aus faserverstärktem Grafit auf einer Kupfer-Kühlstruktur besteht. Die Maße des Quaders betragen etwa 55 x 5 x 11 Kubikmillimeter und werden bei der Messung in mehr als 2.000 Scheiben abgebildet. Dabei können Strukturen bis etwa 25 Mikrometer Größe erkannt werden.

Die untersuchte Komponente war zunächst im Teststand GLADIS Wärmeflusstests mit 5.000 Zyklen von jeweils zehn Sekunden Dauer und zehn Megawatt pro Quadratmeter unterzogen worden. Wie thermische Analysen der Targetelemente von Wendelstein 7-X gezeigt haben,

führen die Belastungszyklen nicht zur Ausbildung kritischer Risse an der Grenzfläche (Seite 4, gelber Pfeil) zwischen Kupfer und faserverstärktem Kohlenstoff (CFC). Jedoch wurden kleinere Defekte vermutet, deren räumliche Ausdehnung mit der klassischen Metallografie aber nicht bestimmt werden konnte. Die Neutronen-Tomografie erlaubt die Analyse tief in der Komponente liegender Bindungsfehler und die Beurteilung ihrer Ausdehnung. Eine weitere wichtige Frage, nämlich ob sich die CFC-Struktur während der zyklischen Tests verändert, konnte ebenfalls beantwortet werden. Es wurde kein Unterschied in der Verteilung der

Porosität zwischen einer unbelasteten CFC-Komponente und der zyklierten Probe festgestellt. Die tomografische Analyse ist somit eine einzigartige Methode, um Defekte an Grenzflächen in Komponenten tief im Material zu entdecken und rechtfertigt deshalb den hohen experimentellen Aufwand und die komplizierte Datenanalyse.

Die in FEMaS begonnenen neuen Kooperationen sollen in der verbleibenden Projektlaufzeit bis Ende 2011 weiter ausgebaut und vertieft werden. Anschließend ist geplant, diese Aktivitäten z.B. im Rahmen von EFDA-Tasks weiterzuführen.

Christian Linsmeier und Elmar Neitzert

Wendelstein 7-X

Kühle Unterwelt fertig gestellt

Mit einer Funktionsprüfung wurde jetzt der Aufbau der Wasserkühlung für den Stellarator erfolgreich abgeschlossen. Den 4,8 Millionen Euro-Auftrag für das komplexe System aus unzähligen Pumpen, Rohrleitungen, Armaturen, Wärmetauschern und Filtern hat – nach einer europaweiten Ausschreibung – eine Firma in Greifswald ausgeführt.

Blick in die Unterwelt von Wendelstein 7-X: Mehr als ein Kilometer Rohrleitungen unterschiedlichster Weite wurde für das Kühlsystem verbaut.

Ein Hundert Millionen Grad heiß soll das Plasma in der Fusionsanlage Wendelstein 7-X sein. Um diese hohe Temperatur zu erreichen, wird später während der Experimente eine Mikrowellenheizung zweimal pro Tag bis zu 30 Minuten lang zehn Megawatt Heizleistung in das Plas-

ma hineinpumpen. Weitere Heizungen kommen hinzu. Entsprechend groß sind die Anforderungen an die Kühlung, die diese gewaltigen Wärmemengen von den Wänden des Plasmagefäßes wieder abführen muss – und die ebenso für ein späteres Kraftwerk gebraucht wird. Hier

ist dann nicht nur, wie in der Greifswalder Experimentieranlage Wendelstein 7-X, die Abwärme wegzuleiten, sondern auch die im Plasma selbst erzeugte Fusionsenergie zu einer Turbine und einem Strom erzeugenden Generator zu transportieren.