

Projekte	Kosten in Mio. €
European Extremely Large Telescope (E-ELT)	960
Square Kilometer Array (SKA)	580
European Solar Telescope (EST)	80
Cherenkov Telescope Array (CTA)	200
Kilometer Cubed Neutrino Telescope (KM3NeT)	250

mer besser, den störenden Einfluss der Luftunruhe zu kompensieren. In den USA sind derzeit zwei neue Großteleskope in der Planung, das Thirty Meter Telescope (TMT) und das Giant Magellan Telescope (GMT) mit 24,5 Metern Spiegeldurchmesser.

Zu den „mittelgroßen“ Instrumenten auf dem Wunschzettel der europäischen Astronomen gehören ein Sonnenteleskop mit vier Metern Spiegelöffnung, ein Teleskop-Array für hochenergetische Gammastrahlung und ein Neutrinodetektor im Mittelmeer (Tabelle).

Die Pläne von Astronet sind grundsätzlich im Einklang mit den Roadmaps der Astroteilchenphysiker und der ESA.^{+) Zu den größten Weltraummissionen, die Astronet befürwortet, zählen LISA (Laser Interferometer Space Antenna) zum Nachweis von Gravitationswellen, ein neues Weltraum-Röntgenteleskop und Satellitensonden zu Saturn und Jupiter sowie ihren Monden.}

Die Astronet-Roadmap trägt auch der Öffentlichkeitsarbeit und der Bildung Rechnung. Schließlich fasziniert der Blick in die Sterne auch die breite Öffentlichkeit und motiviert oft genug junge Menschen, ein naturwissenschaftliches Studium einzuschlagen. Nun muss sich jedoch erst einmal zeigen, ob die Geldgeber bereit sind, 20 Prozent mehr als bisher in die Astronomie zu investieren. Der britische Astronom Michael Bode, „task leader“ der Astronet-Roadmap, relativierte diese Forderung: „Die Erhöhung entspricht dem Preis einer Flasche Wein pro Einwohner in Europa pro Jahr.“

Alexander Pawlak

+) vgl. Physik Journal, Januar 2006, S. 7 bzw. November 2008, S. 8

■ Nicht zu schaffen

Die für 2010 vereinbarte Umrüstung des Forschungsreaktors FRM II auf Brennelemente mit geringerer Urananreicherung muss bis mindestens 2016 verschoben werden.

Seit seiner Inbetriebnahme vor fast fünf Jahren liefert der Forschungsreaktor FRM II in Garching im Routinebetrieb zuverlässig Neutronen für die Wissenschaft. In den Jahren davor hatte er vor allem Schlagzeilen geliefert angesichts eines jahrelangen Tauziehens zwischen dem Betreiber – der Technischen Universität München – und dem Bundesumweltministerium (BMU), das die letzte für den Betrieb nötige Teilgenehmigung verweigerte. Stein des Anstoßes war die Verwendung von hochangereichertem Uran (HEU), das aus wissenschaftlicher und technischer Sicht vorteilhaft ist, aus politischen Gründen aber aus der zivilen Nutzung verbannt werden soll. Schließlich machte das BMU im Jahr 2003 den Weg für die Inbetriebnahme frei, allerdings unter der Auflage, dass der über 400 Millionen Euro teure Reaktor bis spätestens 2010 auf neue Brennelemente mit mittlerer Urananreicherung von 40 bis 50 Prozent umgerüstet wird. Wie sich bereits seit einiger Zeit abzeichnet, ist dieser nach dem damaligen Stand des Wissens vereinbarte Termin nicht mehr zu halten.



TU München

Der Forschungsreaktor FRM II befindet sich auf dem Forschungsgelände in Garching neben dem „Atomei“.

Da das für die Kernspaltung relevante Uranisotop ^{235}U in natürlichem Uran nur zu 0,7 Prozent vorkommt, enthalten Brennelemente für Kernreaktoren angereichertes Uran mit einem höheren ^{235}U -Anteil, der zwischen wenigen Prozent bei Kernkraftwerken und 93 Prozent beim FRM II und einigen anderen Forschungsreaktoren liegt. Bei diesen Reaktoren besteht das Brennelement aus kleinen Partikeln der intermetallischen Legierung U_3Si_2 , die in eine Aluminiummatrix eingebettet sind. Damit der FRM II bei geringerer Anreicherung den gleichen Neutronenfluss erzeugen kann, muss das

neue Brennelement eine wesentlich höhere Urandichte erreichen als das bisherige mit 3 g/cm^3 . „Sofort nach der Erteilung der Betriebsgenehmigung hat die TU gemeinsam mit unseren französischen Partnern eine Arbeitsgruppe gegründet, um an der Entwicklung hochdichterer Brennstoffe zu arbeiten“, sagt Winfried Petry, wissenschaftlicher Direktor des FRM II. Dabei legte die TU von Anfang an großen Wert darauf, dass sich ein Material auch für die industrielle Herstellung eignet. „Es ist etwas völlig anderes, ob Sie im Labor eine kleine Probe von der Größe einer Münze herstellen oder in großem Stil Platten für ein

Brennelement“, begründet Petry. Ein Brennelement des FRM II besteht aus 113 Platten, deren aktive Zone etwa 70 cm mal 6 cm groß ist; pro Jahr sind vier bis fünf Elemente notwendig.

International schien damals sog. disperses Uran-Molybdän das Material der Wahl – kleine Körner aus einer Legierung von Uran mit wenigen Prozent Molybdän (UMo), zusammengehalten von Aluminium. Dieser Brennstoff verspricht eine Urandichte von 8 g/cm^3 . Allerdings wurden die Hoffnungen darauf bereits 2004 enttäuscht, als

ohne Aluminiummatrix infrage, sog. monolithisches UMo, mit dem Urandichten von bis zu 16 g/cm^3 möglich scheinen. Nach der Enttäuschung mit dispersem UMo haben die Amerikaner ab 2004 ganz auf dieses Material gesetzt, obwohl sie erst eine kleine Probe bestrahlt hatten. „Das war eine reine Panikreaktion, weil sie der ganzen Welt neue Brennelemente bis 2010 versprochen hatten“, ist Petry überzeugt. Die TU verfolge daher beide Möglichkeiten weiter und habe „völlig neue“ Ideen entwickelt, um mit Sputtertechniken Brennelemente aus dem spröden UMo herzustellen.

Langwierige Härtetests

Ist eine Platte aus einem potenziellen Brennstoff hergestellt, schließen sich langwierige Testbestrahlungen und Untersuchungen an. Nur drei Reaktoren weltweit, in den USA, in Belgien und Russland, erzeugen einen ausreichend starken Neutronenfluss, um die Platten unter realistischen Bedingungen zu testen. Nach der etwa einjährigen Bestrahlung liegt eine Platte ein weiteres Jahr in einem Abklingbecken, bevor sie in einer „heißen Zelle“ hinter dickem Bleiglas aufwändig metallurgisch untersucht wird. Angefangen mit der Herstellung der Platten dauert ein solcher Testzyklus vier Jahre, bevor die Erkenntnisse daraus in eine Weiterentwicklung einfließen können. „Das ist ein komplexes metallurgisches Problem“, sagt Petry, „schöne und spannende Metallphysik“.

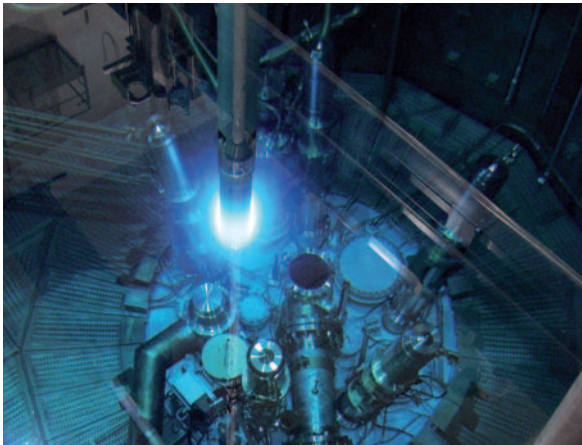
Falls der derzeit laufende Testzyklus mit dispersem UMo positiv ausgeht, könnte frühestens bis 2014 ein letzter Zyklus stattfinden, der das Material als Brennstoff qualifiziert. Zwei Jahre später wäre das Brennelement hergestellt, sodass 2016 „aus heutiger Sicht ein optimistischer, aber immer noch realistischer Zeitpunkt für die Umrüstung ist“, sagt Petry – vorausgesetzt, auf dem Weg dahin tauchen keine unerwarteten Schwierigkeiten auf. Für monolithisches UMo, dessen Entwicklung die Amerikaner in der Zwischenzeit sehr „gepusht“ haben, zeichnet sich bislang noch gar kein Zeitplan ab; sicher scheint nur

zu sein, dass es die Umrüstung nicht schneller ermöglichen würde. Angesichts dieser Verzögerung hatten die Grünen der TU unterstellt, auf Zeit zu spielen und den Termin 2010 gar nicht einhalten zu wollen. Diesen Vorwurf weist Petry entschieden zurück: „Selbstverständlich bekennen wir uns zur Umrüstung, auf die wir mit einem enormen finanziellen Aufwand hinarbeiten“. Dieser beläuft sich bislang auf einen zweistelligen Millionenbetrag, den sich Bayern und der Bund teilen.

Sollte disperses UMo letzten Endes das Rennen machen, wäre ein Anreicherungsgrad von 50 Prozent realistisch, bei monolithischem UMo ist Petry zuversichtlich, an 40 Prozent heranzukommen. Rechnungen der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (IANUS) in Darmstadt, wonach sich damit der Anreicherungsgrad sogar auf 30 Prozent reduzieren ließe, bezeichnet er jedoch als „etwas blauäugig“: „Ein solches Element würden wir hier nie genehmigt bekommen, weil es nicht mehr sicher wäre“, ist Petry überzeugt. Da das Brennelement dann mehr Uran enthalten müsste, damit die Menge an Uran-235 unverändert bleibt, würde es nämlich massive Probleme mit der Wärmeabfuhr geben.

Die zuständigen bayerischen Staatsministerien sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sind über den Stand der Entwicklung informiert, und es bestehe Konsens, dass es „reale Probleme“ und „eine Perspektive für 2016 für die Entwicklung des Brennstoffs“ gebe. Der Nutzerbetrieb am FRM II soll jedenfalls ununterbrochen weitergehen, ein Vorrat an Brennelementen mit hochangereichertem Uran „bis weit ins nächste Jahrzehnt“ liege dafür beim Brennelementehersteller bereit. Umweltminister Siegmund Gabriel betonte denn auch bei einem Besuch des FRM II im vergangenen Herbst, dass er nicht vorhabe, der TU die Genehmigung zu entziehen. Da Forschung mit Neutronen „zwingend erforderlich“ sei, wäre das „abenteuerlich“.

Stefan Jorda



TU München

Nach 60 Betriebs-tagen wird das abgebrannte Brennelement aus dem Zentralkanal des Reaktors gezogen und in eine Abklingposition gebracht. Aufgrund der radioaktiven Strahlung entsteht im Wasserbecken die sichtbare Cherenkov-Strahlung.

bei Testbestrahlungen in den USA sowie in Europa einige Platten aufplatzen. Dies darf im Betrieb unter keinen Umständen auftreten, da die Brennstoffplatten als „first containment“ sämtliche Spaltprodukte zurückhalten müssen. Bei der Uranspaltung entstehen Edeltgase, die in Metallen nicht löslich sind und sich zu kleinen Bläschen agglomerieren. Dadurch baut sich ein enormer Druck auf, und das Brennelement schwillt an. „Dies tritt bei jedem Brennelement auf, auch bei einem Kernkraftwerk“, erläutert Petry, „aber es muss gutmütig und sehr kontrolliert sein“. Inzwischen hat die TU-Arbeitsgruppe die Oberflächenbeschaffenheit der Körner geändert, den Molybdän-Anteil erhöht und der Aluminiummatrix etwas Silizium beigefügt. Eine dermaßen modifizierte Platte hat bei einer Testbestrahlung zwar gehalten, ihre Dicke hat dabei aber um bis zu 60 Prozent zugenommen. „Das ist definitiv noch zu viel“, sagt Petry.

Als Alternative kommen auch massive Brennstoffplatten aus UMo