

Strategiepapier der deutschen Fusionsforschung

Kernfusion besitzt das Potenzial, als nahezu unerschöpfliche, sichere und CO₂-freie neue Energiequelle etwa ab der Mitte des Jahrhunderts einen entscheidenden Beitrag zur Deckung des weltweiten Energiebedarfs zu liefern. Die Leuchtturmprojekte Wendelstein 7-X und ITER werden in der nächsten Dekade die Kraftwerkstauglichkeit der Fusion demonstrieren. Deutschland hat in Fusionsforschung und Fusionstechnologie eine internationale Spitzenposition inne, mit allen Voraussetzungen, die Entwicklung eines Demonstrationskraftwerkes beschleunigt voranzutreiben. Nötig dazu ist ein „Apollo-Programm“ für die Fusion, eine deutliche Stärkung der seit mehr als einem Jahrzehnt abschmelzenden Forschungsförderung.

Stand der Fusionsforschung

Ziel der weltweiten Bemühungen um die Fusion ist es, ein Kraftwerk zu entwickeln, das ähnlich wie die Sonne Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnt. Als eine sichere und CO₂-freie Alternative könnte die Fusion etwa ab der Jahrhundertmitte einen entscheidenden Beitrag zum Energiemix liefern – dann, wenn eine neue Energiequelle dringend benötigt wird, weil sich einerseits der Welt-Energieverbrauch durch die wirtschaftliche Entwicklung in Asien etwa verdoppelt haben wird, und andererseits die heutige Generation von Kohle- und Kernkraftwerken ersetzt werden muss.

Der vielversprechendste Weg zur Fusion ist es, den Brennstoff, ein Wasserstoff-Plasma, in Magnetfeldern wärmeisolierend einzuschließen und auf Temperaturen über 100 Millionen Grad aufzuheizen. Der nächste große Schritt auf dem Weg zu einem Kraftwerk ist die internationale Testanlage ITER (lat.: „der Weg“). Sie soll über längere Zeit eine Fusionsleistung von 500 Megawatt liefern – zehnmals mehr, als zur Aufheizung des Plasmas verbraucht wird. Die an dem Projekt beteiligten Länder repräsentieren zusammen die Hälfte der Weltbevölkerung und etwa 80 Prozent des weltweiten Bruttosozialproduktes: Die EU (die etwa 45 Prozent der Investitionskosten von ITER tragen wird) sowie China, Indien, Japan, Russland, Südkorea und die USA (mit je etwa 9 Prozent Finanzierungsanteil). Der Bau der Anlage in Cadarache/Südfrankreich hat 2008 begonnen. In etwa einer Dekade soll ITER in Betrieb gehen. Nach einer technischen und kaufmännischen Neubewertung der bisherigen Planung im Jahr

2008 wird die Höhe des EU-Anteils an den ITER-Kosten (bisher 2,7 Mrd. Euro) sehr wahrscheinlich deutlich ansteigen. Neben ITER entstehen neue Fusionsmaschinen derzeit auch in Deutschland, Südkorea, Japan, China und Indien.

Die fusionsorientierte Plasmaphysik hat in den letzten Jahrzehnten weltweit gewaltige Fortschritte gemacht. Eindruckvoll belegt dies der Anstieg der Fusionsleistung von wenigen Milliwatt in den siebziger Jahren bis zu dem Weltrekord-Experiment des Europäischen Gemeinschaftsprojekts JET (Joint European Torus), das vor elf Jahren kurzzeitig eine Spitzenleistung von 16 Megawatt erreichte. Um mehr als das Milliardenfache ist die Fusionsleistung in dieser Zeit gestiegen – und damit deutlich schneller, als sich zum Beispiel die Zahl der Schaltkreise auf Computer-Chips gemäß dem Moore'schen Gesetz (eine Verdoppelung alle 18 Monate) entwickelt hat. JET hat Bedingungen erreicht, die annähernd dem „Break-Even“ entsprechen, d.h. die eingesetzte Heizleistung kann durch die freigesetzte Fusionsleistung wieder gewonnen werden. Insgesamt ist man nur noch etwa eine Größenordnung von dem Zielwert für ein Fusionskraftwerk entfernt.

Die deutsche Fusionsforschung im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching und Greifswald und den Forschungszentren in Karlsruhe und Jülich ist Teil der europäisch koordinierten und geförderten Fusionsforschung (EURATOM). Zugleich tragen die drei Institute das Programm „Kernfusion“ im Forschungsbereich „Energie“ der Helmholtz-Gemeinschaft. Stark arbeitsteilig aufgestellt, sind die Institute international sowohl auf vielen Gebieten der Plasmaphysik führend als auch in der Fusionstechnologie, die im Hinblick auf die Kraftwerksentwicklung immer wichtiger wird. Diese Spitzenposition der deutschen Fusionsforschung bestätigte 2008 eine umfangreiche Begutachtung der Europäischen Union, der „Facilities Review“: Neben JET – einst wesentlich von deutschen Instituten mitkonzipiert – haben die Gutachter unter den Plasma-Experimenten Europas nur den beiden deutschen Anlagen ASDEX Upgrade und Wendelstein 7-X höchste Priorität zuerkannt.

Der Weg zum Demonstrationskraftwerk

Die Grundlagen für die Fusion wurden in weltweiter Anstrengung über mehrere Jahrzehnte hinweg erarbeitet. Auf den jetzt entstehenden Testreaktor ITER soll das Demonstrationskraftwerk DEMO folgen, das erstmals Strom aus Kernfusion erzeugen soll. DEMO wird alle wesentlichen Komponenten eines kommerziellen Kraftwerks enthalten und soll eine elektrische Leistung von 1000 bis 1500 Megawatt liefern.

Ein späteres Fusionskraftwerk wird im Grundlastbereich arbeiten. Größenmäßig passt es gut in die existierende Infrastruktur der Stromversorgung hinein. Die internen Kosten werden im Wesentlichen von den Baukosten des Kraftwerks bestimmt, die Brennstoffkosten sind – im Unterschied zu fossilen Energieträgern – nur von geringer Bedeutung. Vorliegenden Studien zufolge sind wettbewerbsfähige Stromerzeugungskosten zu erwarten, insbesondere wenn die vorteilhaften Sicherheits- und Umwelteigenschaften berücksichtigt werden.

Bis zu einem fertigen Kraftwerk sind jedoch noch erhebliche Anstrengungen nötig. Wesentlich ist zunächst die Entwicklung eines magnetischen Einschluss-Systems, das in einem Grundlastkraftwerk zuverlässig einsetzbar ist. Anlagen vom Typ „Tokamak“ – die

derzeitigen Zugpferde der Forschung, zu welchem Bautyp auch JET und ITER sowie die Garching Anlage ASDEX Upgrade gehören – arbeiten bisher nur im Puls-Betrieb. Wichtiges Forschungsziel sind daher so genannte „Advanced Szenarios“, die den Dauerbetrieb der Tokamaks möglich machen. Eine attraktive Alternative bietet der zum Dauerbetrieb fähige Bautyp „Stellarator“. Mit dem Aufbau des Stellarator-Experimentes Wendelstein 7-X in Greifswald liegt hier ein besonderer Schwerpunkt des deutschen Forschungsprogramms. Um die physikalischen Grundlagen für die Auslegung und den effizienten Betrieb künftiger Fusionskraftwerke zu erarbeiten, müssen die bestehenden Experimente – JET und ASDEX Upgrade – optimal genutzt und die im Bau befindlichen Anlagen – ITER und Wendelstein 7-X – zügig fertig gestellt werden. Die experimentellen Arbeiten werden begleitet durch die theoretische Plasmaphysik, die nicht zuletzt wegen der rasanten Entwicklung moderner Computer in der jüngsten Vergangenheit gewaltige Fortschritte gemacht hat. Viele experimentelle Ergebnisse können heute durch umfangreiche numerische Simulationen nachvollzogen werden. Ziel ist letztlich ein numerischer Fusionsreaktor, also Simulationen auf Super-Computern, welche die Experimente an Wendelstein 7-X und ITER auf das Demonstrationskraftwerk hin extrapolieren können.

Essentiell ist ebenso die Entwicklung geeigneter Struktur- und Wandmaterialien für die stark mit Neutronen belasteten Komponenten im Plasmagefäß. Sie müssen im Kraftwerk in fünf Jahren etwa 150 „Verschiebungen pro Atom“ standhalten. Zugleich verlangt sind möglichst niedrige Aktivierung und stabile mechanische Eigenschaften des Materials. Zudem ist die radioaktive Abklingzeit soweit zu reduzieren, dass später keine Endlagerung nötig wird, sondern das aktivierte Material wieder verwendet werden kann. Auch die entsprechenden Fertigungstechnologien müssen entwickelt und qualifiziert werden. Zum Beispiel erreicht der europäische Referenz-Werkstoff EUROFER, der speziell für die Fusion hergestellt wurde, bereits etliche der geforderten Eigenschaften. Ein wichtiges Instrument für die Materialentwicklung und -qualifizierung wird die „International Fusion Materials Irradiation Facility“ (IFMIF) sein, eine den Fusionsbedingungen angepasste Neutronenquelle und Bestrahlungsanlage, die gegenwärtig in europäisch-japanischer Kooperation („Broader Approach“) vorbereitet wird.

Auch in technologischer Hinsicht wird DEMO völlig neue Herausforderungen stellen, zum Beispiel bei den Methoden zur Heizung des Plasmas und zum Stromtrieb, aber auch bei der Entwicklung strahlungsresistenter Messapparaturen. Weitere Herausforderungen liegen in der Entwicklung des Brutprozesses, der das für die Fusionsreaktion benötigte Tritium aus Lithium erzeugt, des Brennstoffkreislaufs mit Tritium-Extraktion sowie der Hochtemperatur-Kühlungstechnologien. Konzepte hierfür können in ITER getestet werden, um dann entsprechend den gewonnenen Erkenntnissen angepasst und auf DEMO-Bedingungen skaliert zu werden. Hinzu kommen Technologien, die für die Zuverlässigkeit und Effizienz von DEMO unerlässlich sind, bei ITER aber noch keine Rolle spielen. Dazu zählen unter Umständen Fusionsmagnete aus Hochtemperatur-Supraleitern und Fernhantierungskonzepte, die den kompletten Austausch der inneren Auskleidung der Plasmakammer erlauben.

Handlungsbedarf für Deutschland

Mit ihrem Know-how stehen die deutschen Fusionsforschungsinstitute nicht nur an der Spitze der europäischen Forschung, sondern sind auch weltweit auf vielen Gebieten führend. Alle Schlüsselthemen der Fusionsforschung und Technologieentwicklung sind in den deutschen Instituten vertreten, wobei man stark arbeitsteilig und koordiniert vorgeht. Die deutschen Fusionszentren sind daher exzellent aufgestellt, um die treibende Kraft bei der Entwicklung des Demonstrationskraftwerkes DEMO zu bilden. Damit würde Deutschland bei der Gestaltung der Energieversorgung der Zukunft eine führende Rolle erhalten.

Um ein Demonstrationskraftwerk innerhalb der nächsten 30 Jahre fertig stellen zu können, ist eine deutliche Stärkung der Fusionsforschung unumgänglich: Zügig muss mit den Planungen für DEMO begonnen werden, um – begleitet von gut koordinierten Entwicklungsarbeiten in den Forschungseinrichtungen und der Industrie – Konzepte für die Auslegung und die wesentlichen Komponenten von DEMO zu erarbeiten und zu verifizieren. Dabei ist ein mehrgleisiges Vorgehen mit konkurrierenden Ansätzen, aber in enger europäischer und internationaler Abstimmung sinnvoll. Aufbauend auf den Erfahrungen mit der Planung und Realisierung von Großanlagen wie JET und ITER sowie dem starken Engagement in der Entwicklung von Konzepten und Komponenten für DEMO und angesichts der plasmaphysikalischen und technologischen Kompetenz in den Fusionszentren liegt hier eine große Chance für Deutschland, voranzugehen und im eigenen Land eine DEMO-Planungsgruppe als Kern einer europäischen und später internationalen Aktivität aufzubauen. Dies bietet auch der deutschen Industrie erhebliche Aussichten.

Für die zügige Realisierung von DEMO dringend notwendig sind Entwicklung und Test niedrig aktivierbarer Strukturmaterialien, insbesondere von Stählen, die unter der großen Neutronen-Belastung nicht verspröden. Für den Bau von DEMO ist die Materialtestanlage IFMIF deshalb bereits jetzt zeitkritisch. Die drei deutschen Fusionsforschungszentren haben große Erfahrung mit den verschiedenen Aspekten der Materialforschung und Plasma-Wand-Wechselwirkung und könnten durch Bündelung ihrer Kräfte mit der Industrie eine führende Rolle beim Bau von IFMIF übernehmen. Die deutsche Fusionsforschung ist am Entwurf von IFMIF und an der Entwicklung der notwendigen Technologien bereits maßgeblich beteiligt; daher ist auch eine starke Beteiligung an Bau und Nutzung sowie idealerweise ein Standort in Deutschland anzustreben. Als erster Schritt sollte ein deutsches „IFMIF-Siting Team“ eingerichtet werden, das die entsprechende Bewerbung vorbereitet und alle notwendigen Informationen zusammenstellt.

Apollo-Programm für Energie – Verdoppelung des Forschungsetats

Derzeit werden in Deutschland für die Forschung an Fusion und erneuerbaren Energien jeweils weniger als 150 Mio. Euro pro Jahr aufgebracht – eine relativ kleine Summe angesichts der Umsätze im kommerziellen Energiesektor, der Herausforderungen der künftigen Energieversorgung und der dramatischen Klimaproblematik. Auch neben den Subventionen für Kohle und den Abgaben für das Erneuerbare-Energien-Gesetz (insgesamt etwa 10 Mrd. Euro) verblassen die Forschungsausgaben. Allein die Regelungskosten, die durch die schwankende Einspeisung erneuerbarer Energien in das Stromnetz verursacht werden, liegen

bei jährlich 300 bis 600 Mio. Euro. Auch die Mittel für das nationale Raumfahrtprogramm sind denen für die Energieforschung vergleichbar. Um dem brennenden Problem wirklich gerecht zu werden, ist ein „Apollo-Programm“ für Energie nötig: mindestens eine Verdoppelung der Forschungsausgaben.

Zwar könnten mittelfristige Lösungsansätze – zum Beispiel erneuerbare Energien, leistungsstarke globale Netze und Energiespar-Potenziale vor allem in den Industriestaaten – den CO₂-Ausstoß bis zur Mitte des Jahrhunderts bremsen. Das wirkliche Problem entfaltet sich aber in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts, insbesondere wegen des steigenden Energiebedarfs heutiger Entwicklungs- und Schwellenländer. Auch die Lösung des Trinkwasserproblems benötigt zusätzliche Energie. Insgesamt ist davon auszugehen, dass zur Abwendung der sozialen Probleme und des drohenden Klimawandels künftig erheblich mehr Energie nötig ist als heute. Fusionskraftwerke sind hier eine der wenigen möglichen Lösungen.

Bei einer Verdoppelung der Fusionsforschungsförderung im Rahmen eines Apollo-Programms könnten sich in Deutschland sämtliche Kräfte zur gezielten Beantwortung offener physikalischer Fragen und zur Entwicklung von Materialien und Technologien bündeln. Die deutsche Fusionsforschung und Industrie könnte sich an die Spitze der DEMO-Entwicklung setzen und so dafür sorgen, dass die Realisierung des ersten Fusionskraftwerks beschleunigt wird. Zugleich könnten sich die deutschen Forschungsinstitute mit signifikanten Eigenbeteiligungen in die ITER-Entwicklung einbringen. Deutschland als größter Beitragszahler der EU könnte somit eine wesentlich besser sichtbare Rolle bei der Realisierung der Fusionsenergie spielen.

Ein Apollo-Programm für die Energieforschung hätte darüber hinaus eine Aufbruchstimmung an den Universitäten zur Folge – wo die neue Generation von Wissenschaftlern und Ingenieuren ausgebildet werden muss, die dringend gebraucht wird, um Deutschland in das künftige Energiezeitalter zu führen.



Garching, den 27.4.09
Prof. Dr. Günter Hasinger
Max-Planck-Institut
für Plasmaphysik



Karlsruhe, den 30.4.09
Prof. Dr. Eberhard Umbach
Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH



Jülich, den 4.5.2009
Prof. Dr. Achim Bachem
Forschungszentrum
Jülich GmbH