

Wann kommt die Kernfusion?

von **Manfred Popp**
Email Manfred.Popp@energie-fakten.de

Hier die Fakten – vereinfachte Kurzfassung

Neben der Solare-Energie könnte die technische Nachahmung der Sonne auf der Erde, die Kernfusion, auf praktisch unerschöpflicher Rohstoffbasis eine klimaneutrale Stromversorgung ermöglichen. Der Zukunft der Kernfusion war ein Debattenabend der Stiftung Energie- und Klimaschutz Baden-Württemberg am 15. April 2010 gewidmet. Er beantwortete vor allem folgende Fragen:

Warum benötigt die Entwicklung der Kernfusion so viel Zeit?

Bei der Fusionsforschung kann die Entwicklung nicht in kleinen Laboranlagen beginnen; sie benötigt große Versuchsanlagen. Trotz breiter internationaler Zusammenarbeit wird eine kommerzielle Nutzung der Kernfusion nicht vor 2050 möglich sein.

Kommt die Fusion zu spät?

Prof. Hasinger (IPP) erwartet, dass der weltweit wachsende Energie- und insbesondere Strombedarf auch bis 2050 nicht allein durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden kann. Insbesondere für jetzt gebaute Kohlekraftwerke entstände nach 2050 ein Ersatzbedarf.

Warum ist die Fusionsforschung so aufwändig?

Für die Fusion der schweren Wasserstoff-Isotope Deuterium (D) und Tritium (T) sind Temperaturen über 100 Millionen °C erforderlich. Dabei bilden die Gase ein Plasma, das nur von einem Magnetfeld eingeschlossen werden kann. Weitere Einrichtungen zur Aufheizung, zur Diagnostik, zur Auskopplung der Energie und zum Erbrüten des T aus Lithium machen eine Fusionsanlage zu einem sehr komplexen System.

Was ist ein Tokamak?

Beim weltweit bevorzugten Versuchsaufbau „Tokamak“ wird das Magnetfeld durch ein System von vertikalen D-förmigen und horizontalen ringförmigen supraleitenden Spulen gebildet; die Verdrehung der Feldlinien erfolgt durch einen zentralen Transformator.

Was trennt uns noch vom Fusionsreaktor?

Zur Zeit wird in weltweiter Zusammenarbeit das Großexperiment ITER in Cadarache gebaut das 2019 in Betrieb gehen soll. (Siehe auch: [ITER – was ist das?](#)) Ihm soll eine Demonstrationsan-

lage folgen, die erstmals auch Strom erzeugen soll. Ab 2050 könnten dann erste kommerzielle Anlagen folgen. Prof. Hasinger und Dr. Janeschitz (ITER) plädierten aber für eine Beschleunigung der Forschung.

Welche Auswirkungen hätte ein Unfall eines Fusionsreaktors?

Ein Fusionsreaktor enthält viel weniger radioaktive Stoffe als ein Kernkraftwerk und soll so konstruiert werden, dass auch bei einem Unfall keine Evakuierung der Umgebung notwendig würde.

Wie wird die Entsorgung des Fusionsreaktors sichergestellt?

Die Fusionsforschung hat zum Ziel, langlebige radioaktive Abfälle zu vermeiden. Die Abfälle des Fusionsreaktors sollen nach 100 bis 200 Jahren ohne geologisches Endlager entsorgt oder wiederverwendet werden können.

Was wird der Strom aus dem Fusionsreaktor kosten?

Prof. Hasinger schätzt, dass die Kosten höher als bei Kernkraftwerken sein werden. Da der Fusionsreaktor aber zu einer Zeit kommen könnte, in dem ein größerer Teil der Energie aus

erneuerbaren Energie gewonnen werden soll, sind auch Aussagen über das Strompreisniveau nach 2050 kaum möglich.

Lohnt sich der Aufwand?

Prof. Hasinger listete viele Vorteile der Fusion auf: sie kann die schwankende Verfügbarkeit der Erneuerbaren Energien kompensieren. Fusion ist klima-

neutral. Ihre Ressourcen sind praktisch unbegrenzt und das Entsorgungsproblem ist gering. Große Unfälle sind ausgeschlossen. Die Kosten der Forschung werden durch weltweite Arbeitsteilung gemildert. Sie liegen weit unter den Kosten, die die Einspeisung erneuerbarer Energien verursacht.

Wann kommt die Kernfusion?

von **Manfred Popp**
 Email Manfred.Popp@energie-fakten.de

Hier die Fakten – Langfassung

Neben der Solar-Energie könnte die technische Nachahmung der Sonne auf der Erde, die Kernfusion, auf praktisch unerschöpflicher Rohstoffbasis eine klimaneutrale Stromversorgung ermöglichen. Der Zukunft der Kernfusion war ein Debattenabend der Stiftung Energie & Klimaschutz Baden-Württemberg am 15. April 2010 gewidmet. Er beantwortete vor allem folgende Fragen:

Warum benötigt die Entwicklung der Kernfusion so viel Zeit?

Normalerweise verläuft die Entwicklung neuer Technologien von kleinen Versuchs-, über mittelgroße Pilot- zu annähernd industriellen Demonstrationsanlagen. Wie Dr. Fritz (KIT) in seiner Einführung betonte, ist kann die Kernfusion auch im Versuchsstadium nur in großen Anlagen erforscht werden. Dadurch steigt der Aufwand für jeden Entwicklungsschritt, weshalb die Entwicklung in breiter internationaler Zusammenarbeit erfolgt. Dies vermindert die finanzielle Belastung der einzelnen Staaten, verlängert aber die Entscheidungsprozesse. Trotz großer Fortschritte in den letz-

ten Jahrzehnten wird eine kommerzielle Nutzung der Kernfusion nicht vor 2050 möglich sein.

Kommt die Fusion zu spät?

Wie Prof. Hasinger (IPP) betonte, wird der weltweit wachsende Energie- und insbesondere Strom-Bedarf auch bis 2050 nicht allein durch klimaneutrale Energiequellen gedeckt sein. Insbesondere für die in unserem Jahrzehnt gebauten Kohlekraftwerke entstände nach 2050 ein Ersatzbedarf, der dann hoffentlich durch Fusionskraftwerke klimaneutral gedeckt werden könnte (Abb. 1).

Warum ist die Fusionsforschung so aufwändig?

Da die Kräfte, die einen Atomkern zusammenhalten bei mittelgroßen Kernen am stärksten sind, wird bei der Spaltung sehr schwerer und bei der Fusion sehr leichter Kerne Energie freigesetzt. Wie Prof. Hasinger erläuterte wird bei der Fusion von Wasserstoff-Kernen (Protonen) etwa 1 Million mal mehr Energie frei als bei der Verbrennung von Wasserstoffgas. Für die technische Nachahmung der Sonne auf der Erde sind die schwereren Isotope des Wasserstoffs, Deuterium (D) und Tritium (T) besser geeignet.

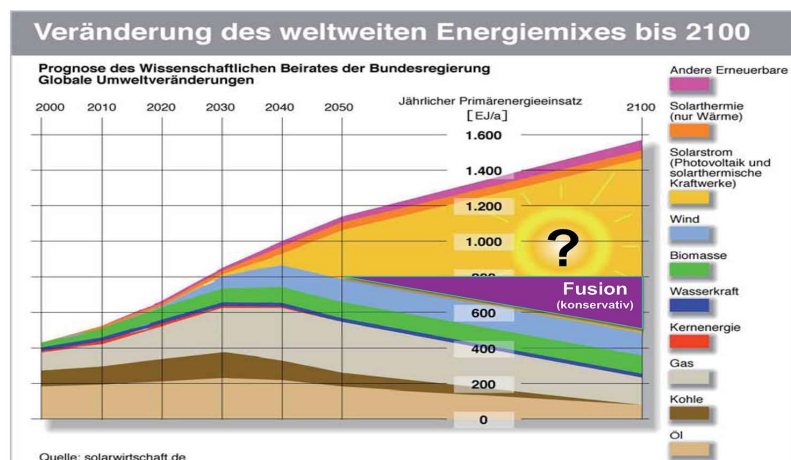


Abb. 1: Kann uns die Sonne helfen?

LANGFASSUNG

D kommt in der Natur vor, T muss im Fusionsreaktor aus Lithium erbrütet werden. Für die D-T Fusion sind Temperaturen über 100 Millionen Grad erforderlich. Dabei bilden die Gase ein Plasma, wie wir es von der Kerze (ca. 1000 °C) oder der Leuchtstofflampe (4000 °C) kennen. Ein Plasma mit so hohen Temperaturen kann von keinem Material, sondern nur von einem Magnetfeld eingeschlossen werden. Es muss durch supraleitende Spulen erzeugt werden, damit der Eigenbedarf des Fusionsreaktors nicht zu groß wird. Hinzu kommen Einrichtungen zur Einspeisung von Energie und zur Diagnostik, und in Kraftwerken noch Einrichtungen zur Auskopplung der Energie und zum Erbrüten des T aus Lithium. Eine Fusionsanlage ist also ein sehr komplexes System.

Was ist ein Tokamak?

In einer Fusionsanlage hat das Plasma eine toroidale Form wie z. B. ein Autoreifen. Die Feldlinien des Magnetfeldes müssen sich spiralförmig um diesen Torus winden, um ihn einzuschließen. Beim „Tokamak“ wird das Hauptfeld durch ein System von vertikalen D-förmigen und horizontalen ringförmigen supraleitenden Spulen gebildet; die Verdrehung der Feldlinien erfolgt durch einen zentralen Transformator, der nach bestimmten Zeitintervallen umgeschaltet werden muss. Ein Tokamak kann also nicht kontinuierlich arbeiten. In einem künftigen Fusionskraftwerk werden diese Pausen, wie Prof. Hasinger betonte, für die Stromproduktion zwar zu überbrücken sein, aber zu erhöhter Beanspruchung des Materials durch häufige Temperaturwechsel führen.

Eine Alternative bietet der „Stellarator“. Dort gibt man den Hauptfeldspulen eine komplexe Form, um direkt die Verdrehung zu erreichen; sie ähneln einem Rad eines Fahrrads nach einem Unfall. Der Stellarator könnte kontinuierlich betrieben werden, seine komplexe Geometrie erschwert

In der Strategie der international eng verbundenen Fusionsforscher (siehe Abb. 2) muss dieser Versuchsanlage, die 2019 in Betrieb gehen soll, eine Demonstrationsanlage folgen, die bereits die volle Größe eines künftigen Reaktors haben und erstmals auch netto

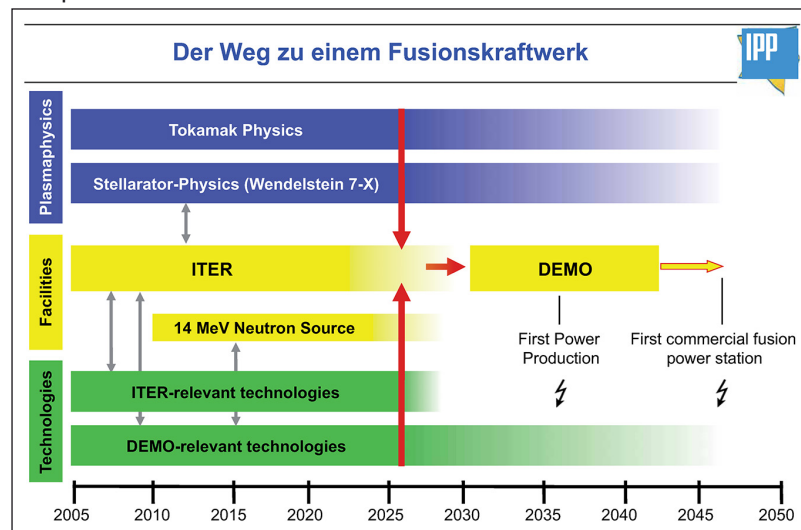


Abb. 2: Der Weg zu einem Fusionskraftwerk

aber den Zugang zum Vakuumgefäß für Energie-Ein- und Auskopplung sowie Diagnostik.

Die weltweit größte und einzigartige Stellarator-Anlage Wendelstein 7-X wird gegenwärtig in Greifswald errichtet. Von ihrem Erfolg hängt es ab, ob der Tokamak Konkurrenz erhält oder weiter das Arbeitspferd der Fusion bleibt.

Was trennt uns noch vom Fusionsreaktor?

Das von Prof. Hasinger geleitete Max Planck Institut für Plasmaphysik in Garching bei München feiert in diesem Jahr sein 50-jähriges Bestehen. In diesen 50 Jahren ist viel erreicht worden, doch stehen die letzten großen Schritte noch aus. Von zentraler Bedeutung ist derzeit der Bau des Großexperiments ITER in Cadarache. (Siehe ITER - was ist das?)

Energie erzeugen soll (siehe Abb. 3). Diesem „Demo“ könnten dann ab ca. 2050 erste kommerzielle Anlagen folgen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass bis dahin Materialien für die inneren Komponenten zur Verfügung stehen, die den enormen Belastungen durch Strahlung und Wärme ausreichend lange Stand halten können. Parallel zur den Großexperimenten muss daher auch die Materialentwicklung verstärkt werden, die ihrerseits eine weitere Großanlage, eine Strahlenquelle zur Simulation der besonders energiereichen Neutronenstrahlung des Fusionsreaktors (IFMIF) erforderlich macht.

Prof. Hasinger und Dr. Janešchitz (ITER) plädierten für eine Beschleunigung der Fusionsforschung nach dem Beispiel des Apollo-Programms, mit dem

LANGFASSUNG

die USA 1968 ihr Ziel der Mondlandung in nur rund 10 Jahren durch sehr großen Aufwand und sich zeitlich überlappende Großprojekte der Raketenentwicklung erreicht hatten. Dies ist auch erforderlich, wenn die im jetzigen

bruchs des Plasmas, teile des von den Neutronen aktivierten Materials der Innenwände verdampft werden. Es ist deshalb auch ein Ziel der Materialentwicklung, hohe Aktivierungen zu vermeiden.

Maße erreicht werden können; ggf. müssen isotonenreine Materialien zum Einsatz kommen.

Was wird der Strom aus dem Fusionsreaktor kosten?

Die Kosten für Bau und Betrieb eines Fusionsreaktors lassen sich heute noch nicht abschätzen. Sicher ist nach Aussage von Prof. Hasinger, dass die Kosten höher als bei Kernkraftwerken sein werden. Da der Fusionsreaktor aber zu einer Zeit kommen könnte, in dem ein großer Teil der Energie aus erneuerbaren Energie gewonnen werden soll, sind auch Aussagen über das Strompreisniveau nach 2050 kaum möglich.

Lohnt sich der Aufwand?

Prof. Hasinger listete viele Vorteile der Fusion auf:

- sie kann die Grundlast der Stromversorgung übernehmen und die schwankende Verfügbarkeit der Erneuerbaren Energien kompensieren.
- Fusion ist klimaneutral.
- Ihre Ressourcen sind praktisch unbegrenzt und
- das Entsorgungsproblem ist gering.
- Große Unfälle wie in Tschernobyl sind ausgeschlossen und
- die Magnetfusion ist absolut proliferationssicher.
- Fusionsreaktoren brauchen anders als regenerative Energien wenig Raum.
- Die hohen Kosten der Fusionsforschung werden durch die einzigartige weltweite Arbeitsteilung für die einzelnen Länder deutlich gemildert. Sie liegen weit unter den Kosten, die die Einspeisung erneuerbarer Energien verursacht. ■

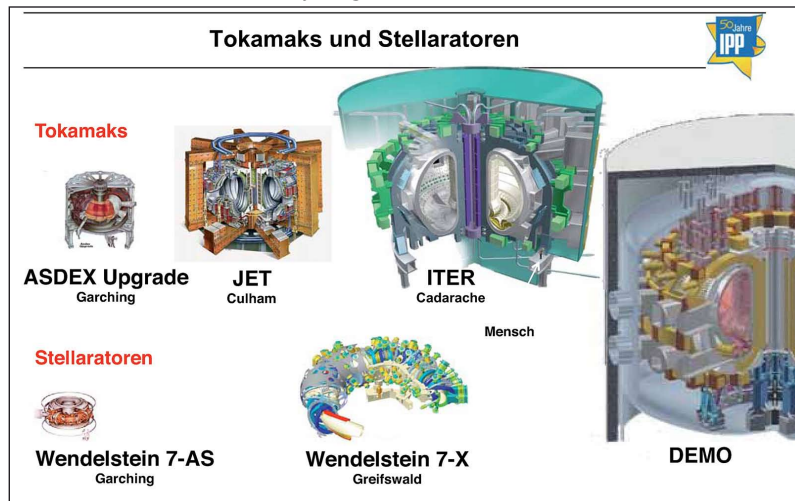


Abb. 2: Tokamaks und Stellaratoren Entwicklungsstand notwendige Einbeziehung der Industrie und der Energiewirtschaft nachhaltig sein soll – kein Unternehmen kann Expertise über Pausen von 10 bis 20 Jahren zwischen Großprojekten hinweg aufrechterhalten.

Welche Auswirkungen hätte ein Unfall eines Fusionsreaktors?

Ein Fusionsreaktor enthält viel weniger radioaktive Stoffe als ein Kernkraftwerk, die fast alle auch nur kurze Halbwertszeiten haben. Das radioaktive Inventar eines Reaktors besteht in erster Linie aus dem radioaktiven T, das leicht flüchtig ist. Ein Fusionsreaktor soll so konstruiert werden, dass auch bei einem Unfall nicht so viel T entweichen kann, dass eine Evakuierung der Umgebung notwendig würde. Außerdem können bei einem Unfall, etwa als Folge eines Zusammen-

Wie wird die Entsorgung des Fusionsreaktors sichergestellt?

Die Fusionsforschung hat zum Ziel, langlebige radioaktive Abfälle zu vermeiden. Zwar entstehen radioaktive Abfälle in erheblichem Umfang, vor allem weil die hochbelasteten Komponenten nach einigen Jahren Betrieb ausgetauscht werden müssen. Die Materialforschung hat aber als drittes Ziel, solche Bestandteile zu vermeiden, deren Aktivierung zu langlebigen radioaktiven Stoffen führen würde. Wenn das gelingt, sollten die Abfälle des Fusionsreaktors nach 100 bis 200 Jahren so weit abgeklungen sein, dass sie ohne geologisches Endlager entsorgt oder wiederverwendet werden können.

Es ist jedoch nicht selbstverständlich, dass die drei Ziele der Materialforschung, Standfestigkeit, niedrige und nur kurzfristige Aktivierung, alle im gleichen