

# Wird Kernfusion Teil unseres Energiesystems?

In den letzten zwei Jahren hat sich die Aufmerksamkeit für das Thema Kernfusion verstärkt. Aber wie steht es derzeit tatsächlich um die Entwicklung der Kernfusion? ESYS, das gemeinsame Projekt der deutschen Wissenschaftsakademien, hat Potenziale und Herausforderungen analysiert und kommt zu dem Ergebnis: Langfristig könnte die Kernfusion Teil einer klimafreundlichen Energieversorgung werden. Zum Erreichen der deutschen und europäischen Klimaziele bis 2045 wird sie allerdings aller Voraussicht nach nicht nennenswert beitragen.

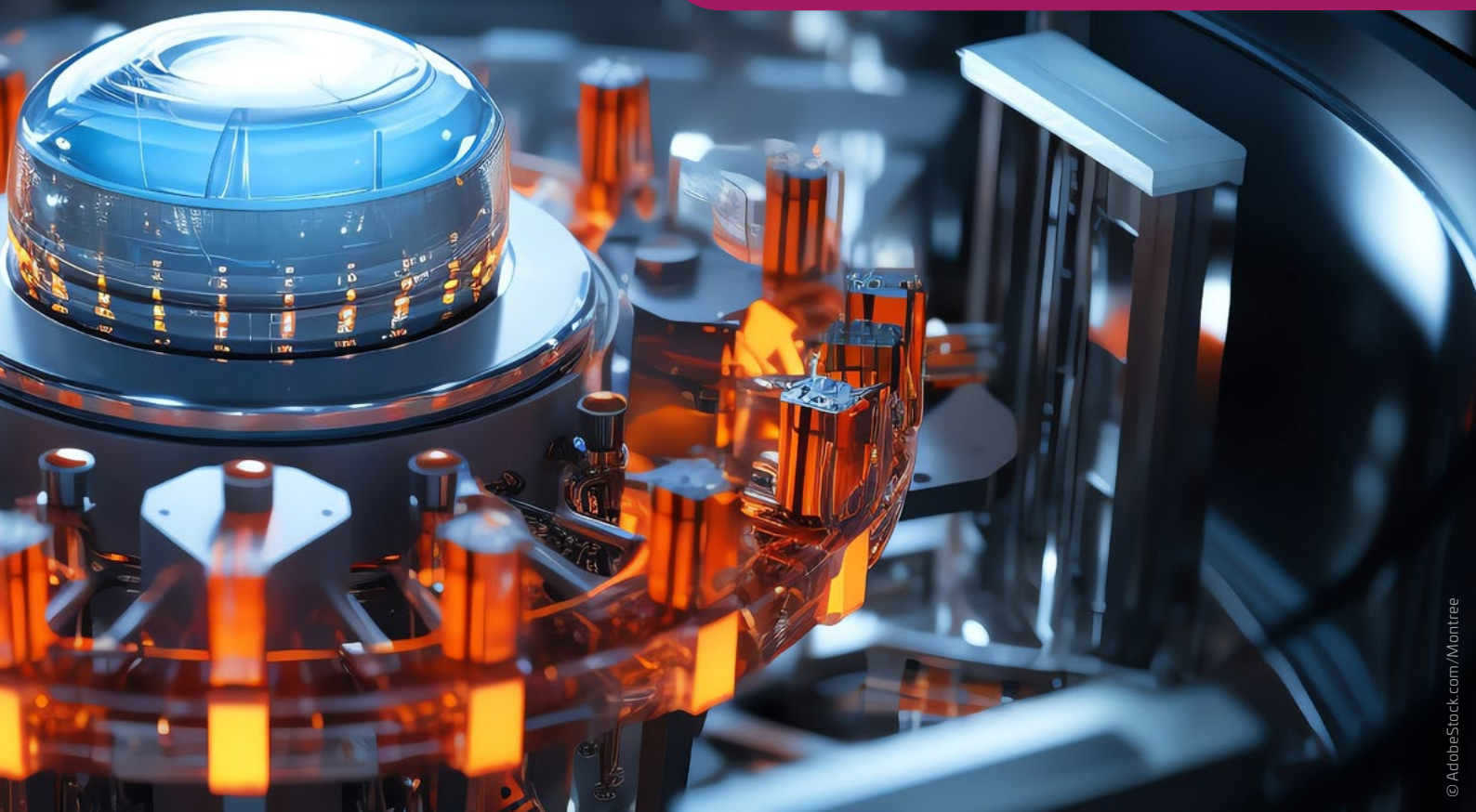
**Prof. Dr. Hans-Martin Henning**, Institutsleiter, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, ESYS-Direktorium, **Prof. Dr. Karen Pittel**, Leiterin, ifo Zentrum für Energie, Klima und Ressourcen, ESYS-Direktorium

Mit der Kernfusion sind zahlreiche Hoffnungen auf eine versorgungssichere und klimafreundliche Energieversorgung verbunden. Dazu haben neben der Notwendigkeit zum Verzicht auf fossile Energien auch verschiedene Forschungserfolge in den letzten Jahren beigetragen, unter anderem an Testanlagen des NIF (USA), am JET (Großbritannien), EAST (China) und Wendelstein 7-X (Deutschland).

Eine erfolgreiche Umsetzung der Kernfusion brächte verschiedene Vorteile mit sich: Mit den Kraftwerken stünde eine weitere emissionsarme Technologie insbesondere zur Stromerzeugung zur Verfügung, die die Versorgung durch erneuerbare Energien ergänzen könnte. Anders als bei fossilen Kraftwerken und der Kernspaltung wären

die Brennstoffe über lange Zeiträume verfügbar und könnten möglicherweise vor Ort hergestellt werden, wodurch sich die Abhängigkeit von Exportländern reduzieren ließe. Gegenüber der Kernspaltung weist die Kernfusion ein geringeres Risikopotenzial auf, unter anderem, weil nicht die Gefahr einer unkontrollierbaren Kettenreaktion besteht. Als weitere allgemeine Vorteile werden von Fachleuten oft der geringe Flächenbedarf sowie die Chance auf den Export dieser komplexen Hochtechnologie oder auch einzelner Kraftwerkskomponenten genannt. Wirtschaftliche Chancen und damit eine mögliche Reduktion von Investitionsrisiken bietet zudem die Verwendung der entwickelten Hochtechnologiekomponenten in weiteren Bereichen, wie beispielsweise der Medizin, Optik, Diagnostik, Robotik und Raumfahrt.

Demgegenüber stehen die notwendigen hohen Investitionen, zunächst für die Entwicklung und später auch für den Bau von Fusionskraftwerken, die aller Voraussicht nach Großprojekte sein werden. Die Kraftwerke müssen außerdem zeigen, dass sie innerhalb der Energieversorgungslandschaft betriebswirtschaftlich wettbewerbsfähig sind. Angesichts der noch zu lösenden technischen Herausforderungen wäre auch möglich, dass sich die Entwicklung der Kraftwerke verzögern könnte oder im schlimmsten Fall ein dauerhafter Betrieb nicht gelingt. Ähnlich wie bei Kernspaltungskraftwerken entstehen in der Regel auch bei Fusionskraftwerken radioaktive Abfälle, diese wären allerdings nicht hochradioaktiv und müssten für etwa 100 Jahre eingelagert werden, um abzuklingen.



© AdobeStock.com/Montree

### Fusionskraftwerke wohl erst in 20 bis 25 Jahren

Die Kernfusionsforschung bewegt sich derzeit vorrangig im Bereich der Grundlagen-, bei einigen Komponenten im Bereich der angewandten Forschung. Von einem regulären Kraftwerksbetrieb ist sie noch weit entfernt: Für keines der Fusionskonzepte existiert ein Kraftwerksprototyp. Die Herausforderungen bis zu einer Realisierung sind somit groß. Viele Fachleute rechnen daher mit einem ersten Kraftwerksprototypen beziehungsweise kommerziellen Kraftwerk erst in 20 bis 25 Jahren. Dafür muss die Kernfusionsforschung jedoch weiterhin gefördert, müssen die notwendigen Entwicklungen parallel vorangetrieben werden und alle Beteiligten intensiv kooperieren.

Teilweise werden auch kürzere Realisierungszeiträume von 10 bis 15 Jahren angekündigt, insbesondere aus dem Start-up-Bereich. Nach derzeitigem Forschungsstand scheinen diese Zeiträume bis zum ersten Kraftwerk allerdings äußerst ambitioniert. Um Treibhausgasneutralität in Deutschland bis 2045 beziehungsweise in Europa bis 2050 zu erreichen, könnte die Kernfusion daher keinen oder bestenfalls einen späten und damit geringen Beitrag erbringen. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts könnten Fusionskraft-

werke bei einer erfolgreichen Umsetzung allerdings zum Einsatz kommen, um den voraussichtlich weiter steigenden globalen Strombedarf mit zu decken.

In der Gesamtschau erscheint ein weiteres Engagement für die Kernfusion sinnvoll. Dieses darf jedoch keinesfalls die Bemühungen und Maßnahmen für die Transformation des Energiesystems hin zur Treibhausgasneutralität bis 2045 beziehungsweise 2050 vermindern. Vielmehr sollten sich beide Strategien ergänzen und so gemeinsam zu einem langfristig gesicherten, souveränen Industriestandort Deutschland und Europa beitragen.

### Wirtschaftlichkeit heute noch nicht sicher abzuschätzen

Gelingt die kommerzielle Einführung, könnte die Kernfusion ab der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wegen ihres geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes Teil eines klimafreundlichen Stromsystems sein. Ob sich die Kernfusion gegenüber erneuerbaren Energien und anderen emissionsarmen Technologien am Strommarkt durchsetzen könnte, hing primär von den Kosten ab, zu denen Fusionskraftwerke ihren Strom bereitstellen würden.

Systemstudien, die nicht nur die anlagenbezogenen Stromgestehungskosten,

sondern die gesamten Systemkosten inklusive Speicher, Netzen und anderen Infrastrukturen berücksichtigen, kommen zum Ergebnis, dass die Kernfusion nur zur Senkung der Systemkosten beitragen würde, wenn ihre Stromgestehungskosten den unteren Bereich der heute für sie prognostizierten Bandbreite erreichen würden. Diese Kostenschätzungen sind im jetzigen frühen Entwicklungsstadium jedoch mit einer hohen Unsicherheit verbunden. Für die Wirtschaftlichkeit wird zudem mitentscheidend sein, wie sich die Kosten anderer klimaneutraler Technologien zur Energieversorgung in der Zwischenzeit entwickeln.

### Integration von Fusionskraftwerken in ein zukünftiges klimaneutrales Energiesystem möglich

Fusionskraftwerke würden um 2050 herum in Deutschland und Europa voraussichtlich auf ein weitreichend umgestaltetes Energiesystem treffen, das dezentraler organisiert sein und auf erneuerbaren Energien basieren wird. Sofern genügend Flexibilität in den Systemen vorhanden ist – etwa durch Strom- und Energiespeicher, eine gezielte Verbrauchssteuerung (Lastmanagement) und eine Verknüpfung mit dem aufzubauenden Wasserstoffsystem –, ließen sich Fusionskraftwerke in das System integrieren. Eine Notwendigkeit

## Über ESYS

Mit der Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) geben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Impulse für die Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Im Akademienprojekt erarbeiten mehr als 160 Fachleute aus Wissenschaft und Wirtschaft Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung. ESYS wurde im April 2013 gestartet und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das Thema Kernfusion behandelt auch der ESYS-Impuls „Kernfusion als Baustein einer klimaneutralen Energieversorgung? Chancen, Herausforderungen, Zeithorizonte“.

für eine sichere und verlässliche Energieversorgung der Zukunft stellen sie nach heutigem Kenntnisstand laut Systemstudien jedoch nicht dar.

Inwieweit eine Verfügbarkeit von Fusionskraftwerken die Entwicklung des Energiesystems über 2050 hinaus beeinflussen könnte, ist aus heutiger Perspektive schwer abschätzbar. In der Betriebsweise würden sie aufgrund des hohen Investitionsbedarfs voraussichtlich heutigen Grundlastkraftwerken ähneln und dementsprechend vor allem für Anwendungen eingesetzt werden, die mit einer steten Energienachfrage verbunden sind. Denkbare Abnehmer wären beispielsweise dicht besiedelte Regionen oder Industriezentren, ebenso wie Elektrolyseure für die Herstellung von Wasserstoff. Der Einsatz von Fusionskraftwerken könnte Deutschland und Europa somit ein Stück weit unabhängiger machen vom Import von Wasserstoff und seinen Derivaten (etwa Methanol oder Ammoniak). In Ländern, die in ihrem Energiesystem weiterhin verstärkt auf Großkraftwerke setzen werden, könnten Fusionskraftwerke insbesondere Kernkraftwerke sukzessive ersetzen.

### Finanzierung und Regulierung – zwei entscheidende Faktoren auf dem Weg zu Kraftwerken

Bei der Kernfusion handelt es sich um eine komplexe und forschungsintensive Technologie, die über die bereits erfolgte umfangreiche Förderung hinaus nur mit

weiteren erheblichen Forschungsmitteln aus dem staatlichen wie privaten Bereich realisiert werden kann. Zu deren Bereitstellung kann die steigende Zahl an Start-ups beitragen, die sich einer kommerziellen Umsetzung der Kernfusion verschrieben haben. Sie werben nicht nur zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsgelder von privaten Investoren ein, sondern erweitern auch die Bandbreite an technischen Lösungskonzepten, an denen geforscht wird.

Für die Realisierung von Fusionskraftwerken bedarf es der Einführung eines verlässlichen Rechtsrahmens. Das umfasst die Zuordnung von Zuständigkeiten zu Regulierungs- und Aufsichtsbehörden sowie das Setzen von Standards zur Genehmigung und zum Betrieb von Kernfusionsanlagen. Einzubeziehen sind dabei auch Sicherheits-, Arbeitsschutz- und Umweltaspekte, die beispielsweise den Umgang mit giftigen und radioaktiven Stoffen regeln. Die Fusionscommunity plädiert hier für eine fusionsspezifische Regulierung und spricht sich aufgrund des geringeren Gefahrenpotenzials im Vergleich zur Kernspaltung gegen eine Regulatorik aus, die eng an die von Kernkraftwerken angelehnt ist. Weil ein entsprechender Rechtsrahmen bisher nicht existiert und die Kernfusion eine Technologie in der Entwicklung ist, muss die Erarbeitung iterativ gestaltet werden, um neu hinzugekommene Erkenntnisse einbeziehen und gegebenenfalls nachsteuern zu können.



© Prof. Dr. Hans-Martin Henning

**Prof. Dr. Hans-Martin Henning**  
Institutsleiter

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE,  
ESYS-Direktorium



© Prof. Dr. Karen Pittel

**Prof. Dr. Karen Pittel**  
Leiterin

ifo Zentrum für Energie, Klima und Ressourcen.  
ESYS-Direktorium