

SPÖ
Taumelnd ins Wahljahr

Telekom-Skandal
1,2 Millionen für Schlaf-Partner

Angelika Hager
„Gegen das positive Denken“

Christian Rainer
„Ein wirrer Ego-Shooter
und die wahren Probleme“



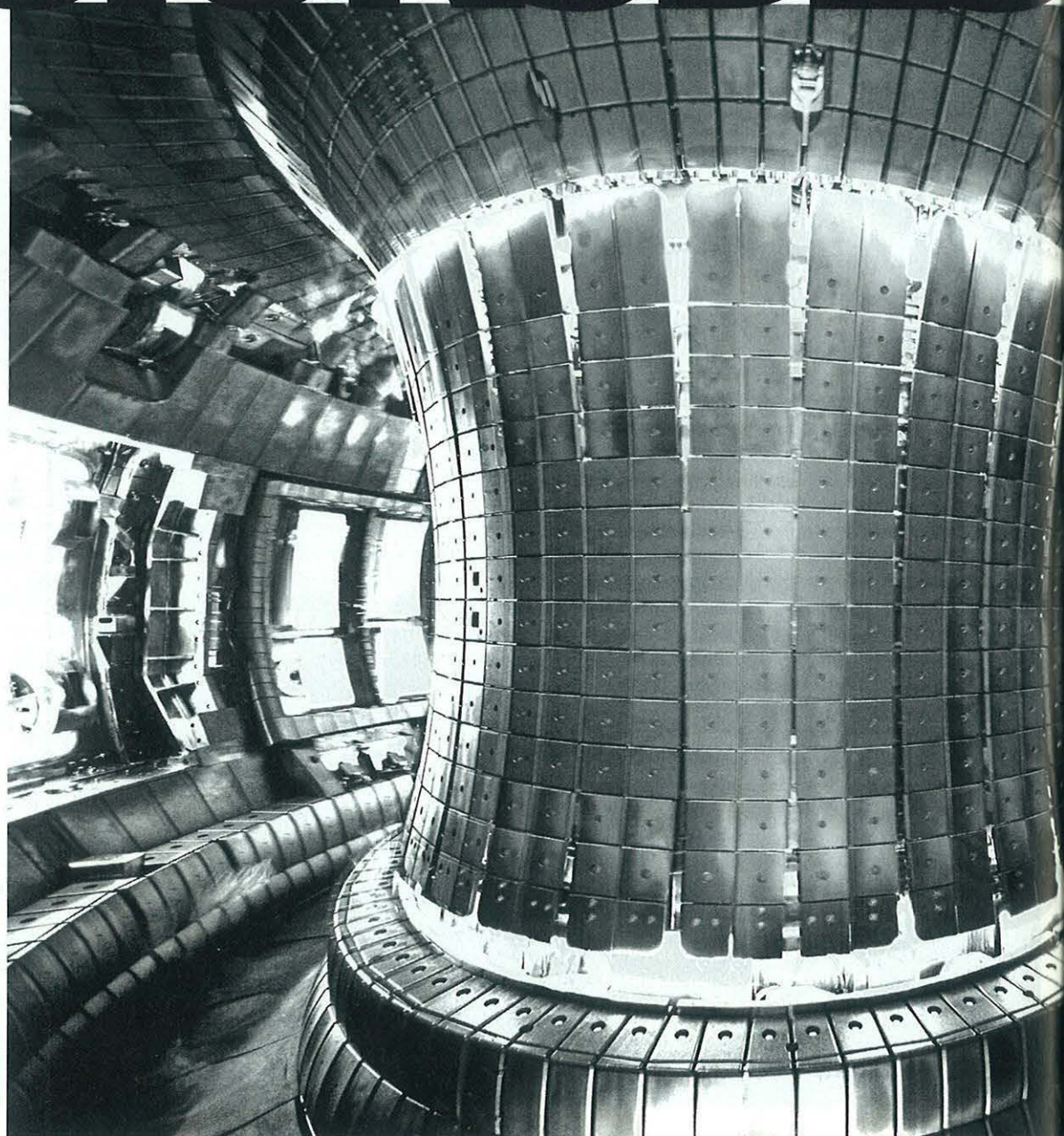
KERNFUSION **DIE RETTUNG DES PLANETEN?**

Vielleicht die letzte Chance für die Menschheit – plötzlich rückt die saubere Atomkraft in greifbare Nähe.

€3,50



FUSIONSREAKTOR



PLASMAKAMMER EINES
FUSIONSREAKTORS
Ab dem Jahr 2050 ist
eine kommerzielle
Nutzung der freund-
lichen Kernenergie
realistisch

Die Kernfusion verspricht nicht weniger als die Lösung aller Energieprobleme und die endgültige Abkehr von traditioneller Atomkraft. Derzeit wird der erste praxistaugliche Reaktor gebaut – das gewaltigste Energieprojekt der Menschheitsgeschichte. Experten sind sicher: Spätestens ab dem Jahr 2050 fließt Fusionsstrom in die Haushalte.

TREIBUNGEN

VON ALFRED BANKHAMER

Der heißeste Platz in unserem Sonnensystem wird sich in acht Jahren im kleinen Dorf Saint-Paul-lès-Durance in Südfrankreich befinden. Bis vor Kurzem bestand hier nur eine riesige, niedergewalzte Fläche. Doch seit dem Vorjahr fahren, gleich neben dem nur durch einen Waldstreifen getrennten Kernforschungszentrum Cadarache, die Bagger und Kräne auf, um den größten Fusionsreaktor der Welt zu bauen. Mit der geplanten Zündung des Plasmas im November 2020 sollen im Kern dieses Fusionsreaktors ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) schier unvorstellbare Temperaturen von mehr als 100 Millionen Grad Celsius herrschen – ein Vielfaches der 15 Millionen Grad im Inneren der Sonne. Höhere Temperaturen wurden bisher lediglich bei Versuchen in Teilchenbeschleunigern erreicht, um den Urknall nachzubilden.

Im ITER dient die hohe Temperatur dazu, Atomkerne – ähn-

lich wie in der Sonne – zu verschmelzen, wobei enorme Energiemengen entstehen. Das voraussichtlich rund 15 Milliarden Euro teure Fusionsprojekt dient auch dazu, die letzten Fragen für den Bau des ersten Demonstrationskraftwerks „DEMO“ zu klären, das mit einer Leistung von 2000 Megawatt schon heutigen Großkraftwerken entspricht. Dessen Inbetriebnahme ist ab 2030 vorgesehen. Zwei Jahrzehnte später sollen dann die ersten kommerziellen Fusionskraftwerke den Betrieb aufnehmen, um einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung der Welt zu liefern. Zuerst muss aber noch Vorarbeit mit dem ITER geleistet werden – dem bislang größten Energieforschungsprojekt der Menschheit.

Die Ideen dazu reichen bis in die Zeit des Kalten Kriegs zurück. 1985 wurde auf Vorschlag von Michail Gorbatschow gemeinsam mit den Präsidenten Ronald Reagan und François Mitterrand ein Vertrag für die Zusammenarbeit in der Fusi-►

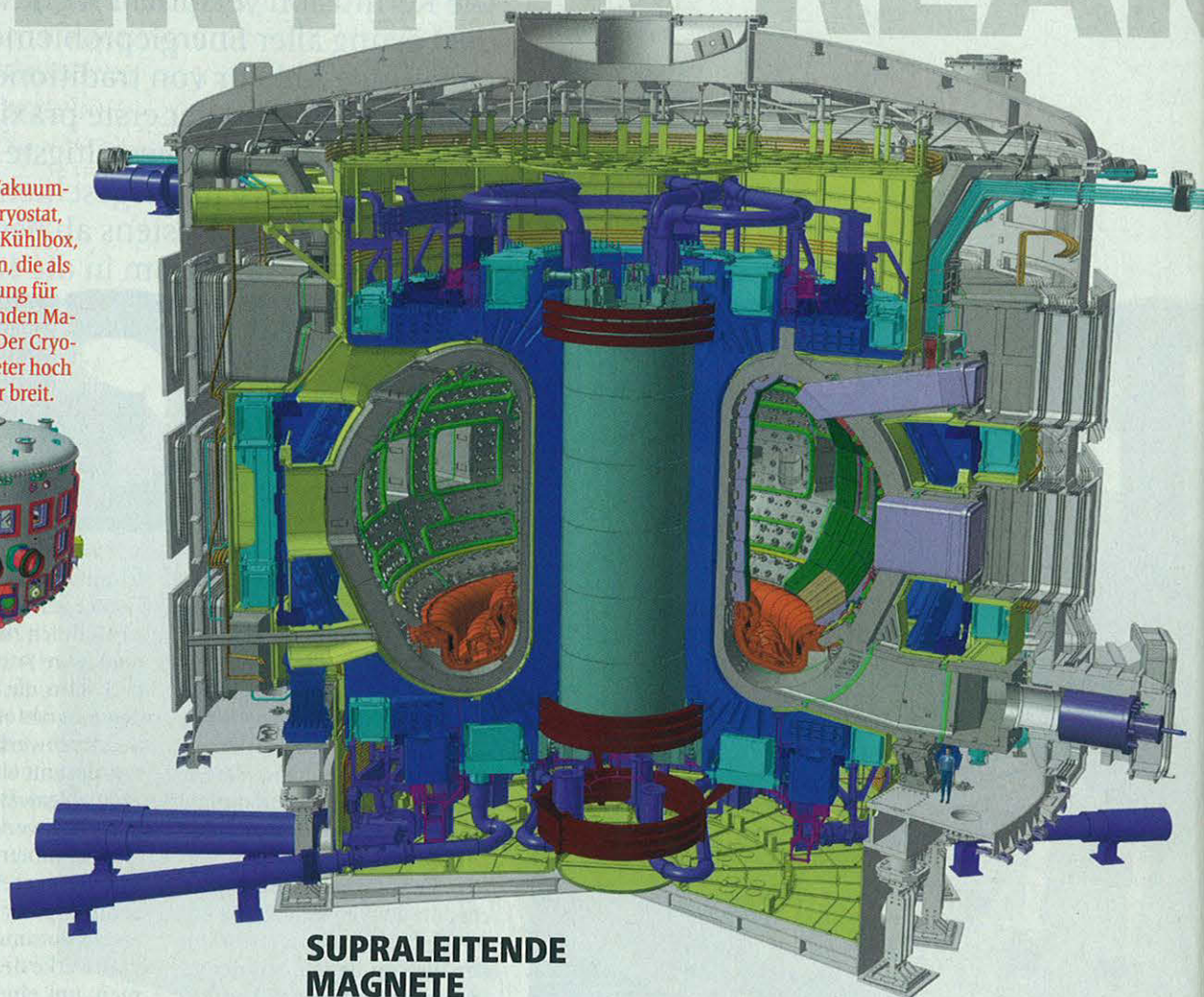


PETER GINTER/SCIENCE FRACTION/COBIS

DER ITER-REAKTOR

CRYOSTAT

Der gesamte Vakuumsessel ist im Cryostat, einer riesigen Kühlbox, eingeschlossen, die als Wärmeisolierung für die supraleitenden Magneten dient. Der Cryostat ist 29,3 Meter hoch und 28,6 Meter breit.



SUPRALEITENDE MAGNETE

Der ITER-Reaktor ist in Tokamak-Bauweise ausgeführt. Hier sorgt ein 48-teiliges, 10.000 Tonnen schweres Magnetsystem dafür, dass das bei der Zündung bis zu 150 Millionen Grad Celsius heiße Plasma von den Reaktorwänden durch einen magnetischen Käfig ferngehalten wird. Das Tokamak-Gebäude ist mit seiner Größe von 73 Metern (davon 60 Meter überirdisch) etwas höher als der Triumphbogen in Paris. In Summe wiegt der Reaktor 23.000 Tonnen – dreimal so viel wie der Eiffelturm –, das gesamte Gebäude 360.000 Tonnen – fast so viel wie das Empire State Building in New York.

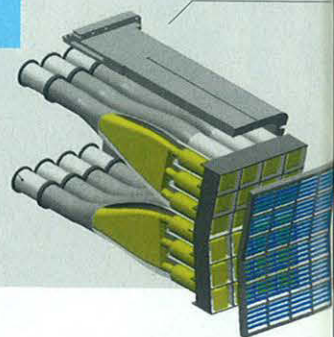
Sie erzeugen ein Magnetfeld, das **200.000-mal stärker** als das der Erde ist. Es kann das Plasma einschließen, da dieses extrem heiße Gas nur noch aus Ionen (geladenen Atomen) und Elektronen besteht, die sich aufgrund ihrer Ladung spiralförmig um die Magnetfeldlinien bewegen müssen. Zum Einschluss und zur Manipulation des Plasmas dienen 18 toroidale und 6 poloidale Magnetspulen sowie der Central Solenoid und diverse Korrekturmagnete. Die Spulen des Central Solenoid (entspricht der Primärwindung des Transformators) initiieren und erhalten das schlauchförmige Plasma (das die Sekundärwindung des Transformators darstellt) für eine **geplante Impulsdauer von 400 Sekunden**. Dann muss ein neuer Impuls zur Plasmabilddung gestartet werden.

EXTERNER HEIZSYSTEM

Um die enorme Hitze von mehr als **100 Millionen Grad** zur Plasmazündung erzeugen zu können, gibt es drei externe Heizsysteme (Neutralteilcheninjektion, Ionenzyklotronheizung, Elektronenzyklotronheizung) mit einer Leistung von insgesamt rund **50 Megawatt**. Sie tragen auch dazu bei, das Plasma aufrechtzuerhalten.

DIAGNOSE

Ein umfangreiches Diagnosesystem mit **rund 50 eigenen Messsystemen** dient zur Kontrolle, Prüfung und Optimierung der Plasmaerzeugung sowie zur Plasmaforschung.



TOR

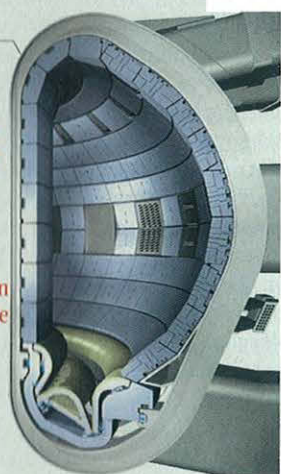


DIVERTOR

Der Divertor sorgt am Boden des Vakuumkessels dafür, dass die „Heliumasche“ und weitere Plasmaverunreinigungen sowie Wärme abgeführt werden. Die zum Plasma ausgerichteten Komponenten des Divertors mit 54 austauschbaren Kassetten wiegen rund 700 Tonnen und bestehen größtenteils aus einer Wolframlegierung. Damit können die Bauteile Temperaturen von über 3000 Grad Celsius die geplante Reaktordauer von 20 Jahren überstehen. Die Hitze entsteht durch den Partikelbeschuss aus dem Plasma.

BLANKET-MODULE

440 austauschbare Module decken die Oberfläche des Vakuumkessels ab und schützen vor Hitze und Neutronenbeschuss. In den Blankets werden die Neutronen gebremst, dadurch Hitze erzeugt, die später einmal in Kraftwerken in Dampfturbinen Strom erzeugen wird. Hier soll künftig auch intern der Brennstoff Tritium aus Lithium erzeugt werden.



VAKUUMKESSEL

Im Vakuumkessel bildet sich das Plasma, und dort findet die Kernfusion statt. Im Kessel kreisen die Plasmateilchen (Ionen und Elektronen) spiralförmig, ohne die Wände zu berühren. Der Kessel ist 19 Meter breit, 11 Meter hoch und wiegt rund 5000 Tonnen.

onsforschung sowie zum Bau eines Versuchsreaktors aufgesetzt. Erste Planungen begannen 1988 im deutschen Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, doch aufgrund von langwierigen Debatten auf internationaler Ebene wurde erst 2005 der Standort fixiert. Seit 2010 laufen die Arbeiten auf Hochtouren.

Zugleich kochten die Debatten um konventionelle Atomkraft in jüngster Vergangenheit wieder hoch – ob nun nach der Fukushima-Katastrophe oder angesichts der Tatsache, dass in russischen Gewässern abgewrackte Atom-U-Boote versenkt wurden. Und erst Ende der Vorwoche wurden die Resultate der „Stresstests“ für 64 europäische Kernkraftwerke publik. Das wenig erbauliche Fazit: Keiner der Meiler darf als gänzlich sicher gelten, und der Nachrüstbedarf beläuft sich auf bis zu 25 Milliarden Euro.

Auch deshalb ruhen die Hoffnungen der meisten Forscher auf der Fusionsenergie – gewissermaßen der „sympathischen“ Variante der Atomkraft ohne nennenswerten Müll und bedenkliche Klimabelastung. Zudem fallen keine radioaktiven Spaltprodukte an. „Es handelt sich beim ITER um ein extrem bedeutendes Projekt für die künftige Energieversorgung der Welt. Deshalb kam es auch zum internationalen Zusammenschluss“, sagt Hans Jahreiss, Acting Director bei „Fusion for Energy“, der europäischen Trägerorganisation des ITER-Projekts. „Der Energiebedarf kann künftig nicht mehr durch fossile Energieträger gedeckt werden“, so Jahreiss. „Fusionsenergie ist deshalb eine wichtige Ergänzung zu den erneuerbaren Energien wie Wind-, Wasser- und Sonnenkraft.“

Zwar gibt es bereits einige Fusionsforschungsreaktoren, doch der ITER ermöglicht es dank seiner Größe und Technologie erstmals, den Prozess der Fusionsenergiegewinnung mit einer positiven Energiebilanz zu gestalten. Der Versuchsreaktor, der in der Form an ein Donut erinnert, wird 500 Megawatt Leistung haben und rund das Zehnfache der hineingepumpten Energie abliefern. Zudem können nun Materialien und Verfahren in einem realen Kraftwerksumfeld getestet und wissenschaftliche Fragen der Plasmaphysik geklärt werden.

Besonders die extrem hohen Temperaturen bei der Kernfusion sind für die Wissenschaftler und Ingenieure eine Herausforderung. Ein Fusionskraftwerk im Dauerbetrieb muss die unglaubliche Hitze bändigen und ertragen können. Damit die

„Fusionsenergie ist eine wichtige Ergänzung zu erneuerbaren Energiequellen wie Wind-, Wasser- und Sonnenkraft“

Hans Jahreiss,
Fusion for Energy

Reaktorwand nicht schmilzt, wird beim ITER ein Käfig aus Magnetfeldern aufgebaut. Plasma ist ein extrem heißes Gas, in dem Ionen (geladene Atome) und Elektronen im Idealfall vollkommen voneinander getrennt sind. Die geladenen Teilchen bleiben durch ein sehr starkes Magnetfeld größtenteils „eingesperrt“. Die Sonne besteht übrigens gänzlich aus Plasma – wie auch gut 99 Prozent des sichtbaren Universums. Auf der Erde ist natürliches Plasma vor allem in Blitzen oder in der Ionosphäre zu finden. Künstliches Plasma entsteht beispielsweise in Leuchtstoffröhren oder beim Schweißen.

Das große Vorbild für die Kernfusion ist die Sonne, deren Bedingungen gleichsam auf die Erde geholt werden. In unserem Stern wird Wasserstoff unter gewaltiger Energieabgabe zu Helium fusioniert. Dazu bedarf es extremer Druckverhältnisse, um die elektrischen Abstoßungskräfte zu überwinden. Weil jedoch in der Sonne mit ihrer rund 330.000-fachen Erdmasse weit höhere Druckverhältnisse herrschen, müssen zum Ausgleich die Temperaturen im Fusionsreaktor dramatisch steigen, um die Atomkerne zu verschmelzen. Im Vergleich zur terrestrischen Sonnensimulation ist es auf dem Stern selbst durchaus angenehm kühl. Der Druck indessen ist dort 340 Millionen mal größer.

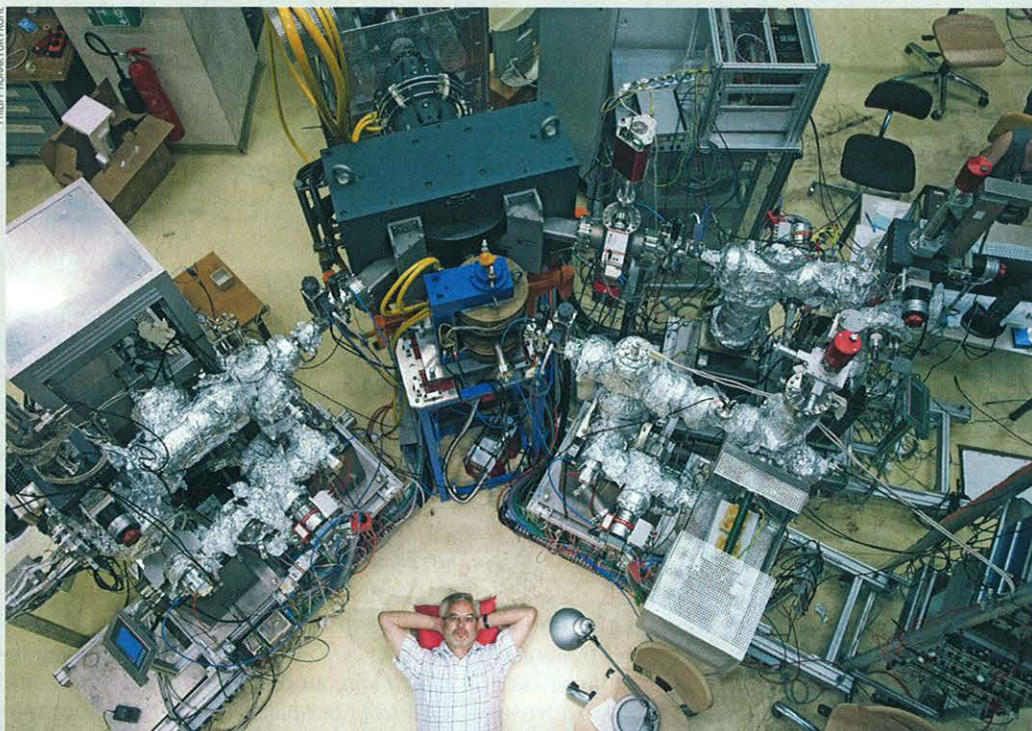
Diese nicht ganz alltäglichen Verhältnisse erklären, warum sich der Bau von Fusionskraftwerken mehrfach verzögerte. Mit welchen Extremen die Forschung hier arbeitet, lässt sich an der „Fusionsasche“ Helium demonstrieren, die zugleich als Kühlmittel dient. Während Helium im Fusionsprozess bei über 100 Millionen Grad entsteht, werden die supraleitenden Magnetspulen auf minus 270 Grad Celsius gekühlt – fast auf den absoluten Gefrierpunkt.

Naturgemäß sind auch die Anforderungen ans Material enorm, und bei dessen Optimierung sind Österreichs Wissenschaftler ganz vorne mit dabei (siehe Kasten links). „In der Grundlagenforschung ▶

©ITER(ES)

Heimatforschung

Österreichische Institute und Unis tragen maßgeblich zur Fusionsforschung und zum ITER-Projekt bei.



PHYSIKER AUMAYR
IM TU-LABOR
Innovationsrate
verdoppelt sich
jedes Jahr

Mitten in Wien, gleich in der Nähe des Naschmarkts, steht in einem zweistöckigen Labor der Technischen Universität Wien eine der präzisesten Waagen der Welt. Sie dient unter anderem dazu, Materialien für Fusionsreaktoren auf ihre Tauglichkeit zu testen. „Diese Quarz-Mikrowaage registriert Masseänderungen von etwa einem milliardstel Gramm“, sagt Katharina Dobes, Projektassistentin am Institut für Angewandte Physik, während sie die Messwerte am Bildschirm beobachtet. Durch ein kleines Glasfenster im Hochvakuum-Behälter ist eine Probe sichtbar, die gerade mit Ionen – elektrisch geladenen Atomen – beschossen wird. Diese Probe simuliert hier die Reaktorwand. Dank der Mikrowaage kann der Materialabtrag genau bestimmt werden.

Die Waage besteht aus einem Quarzkristall, der in hochfrequente Schwingung versetzt wird und dessen Eigenfrequenz gemessen wird. Der Kristall wird mit einem Testmaterial beschichtet, wie es für Reaktorwände infrage käme. Der Clou daran: Die Frequenzänderungen lassen auf Veränderungen der Dicke und der Masse schließen. „Derzeit beschießen wir eine Wolframlegierung mit Argon-Ionen“, erklärt Friedrich Aumayr, Leiter der Forschungsgruppe Atom- und Plasmaphysik am Institut für Angewandte Physik. Argon-Gas soll als kühlende Ummantelung für das extrem heiße Plasma im ITER verwendet werden.

Diese Materialtestreihe ist eines der zahlreichen Kernfusionsforschungsprojekte in Österreich. Die Universität Innsbruck und die TU Graz beispielsweise befassen sich mit Modellierungen und Simulationen von Plasmaphänomenen. „Die größten Verluste im Reaktor werden durch Plasmaturbulenzen verursacht“, erklärt Alexander Kendl, der am Institut für Ionenphysik in

Innsbruck die Arbeitsgruppe Komplexe Systeme leitet. „Diese müssen wir erst verstehen lernen.“

Winfried Kernbichler und Martin Heyn von der Arbeitsgruppe Plasmaphysik an der TU Graz untersuchen Instabilitäten im Randbereich eines Fusionsplasmas, die dafür verantwortlich sind, dass Plasmateilchen an die Gefäßwand geworfen werden. Die TU Graz führt zudem Projekte für die deutsche Forschungsinitiative „Stellarator W7-X“ in Greifswald durch. Der Stellarator ist ein weniger erforschter Fusionsreakortyp als der bei ITER verwendete „Tokamak“. Er verspricht einige Vorteile, verlangt aber eine sehr komplexe Magnetfeldgeometrie zur Plasmaeinschließung (das Magnetfeld hält das extrem heiße Plasma von den Reaktorwänden fern). Auf Plasma-Wand-Wechselwirkungen sind die TU Wien und die Universität Innsbruck spezialisiert. Fachbereiche wie Plasmatransport, Plasmastabilität und Diagnostik werden an allen Universitäten behandelt.

Das Erich-Schmid-Institut für Materialwissenschaft der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Leoben und das Atominstitut in Wien konzentrieren sich auf Materialforschung. Als industrieller Partner liefert das Tiroler Metallurgie-Unternehmen Plansee Werkstoffe mit extrem hohem Schmelzpunkt. Für ITER hat Plansee spezielle Verbindungstechniken entwickelt und patentiert. Und Harald Weber vom Atominstitut der TU Wien arbeitet an Isolationsmaterialien für die supraleitenden Magnetspulen, die ebenfalls einem gewissen Teilchenbeschuss und zugleich extrem tiefen Temperaturen ausgesetzt sind. Während in den Spulen das Helium auf 270 Grad minus zur Supraleitung abgekühlt werden muss, wird das Helium im nahe liegenden Plasma bei über 100 Millionen Grad erzeugt.

ist Österreich äußerst erfolgreich“, sagt Harald Weber vom Atominstitut der TU Wien. Eine wichtige Aufgabe ist die Nachwuchsförderung: Wenn ab 2020 mit dem ITER die ersten großen Fusionsreaktoren in Betrieb gehen, ist qualifiziertes Personal gefragt. Weil hierzulande kein Testreaktor zur Verfügung steht, verbringen österreichische Forscher jedes Jahr acht von zwölf Monaten im Ausland. Einer davon ist Matthias Willensdorfer, Projektassistent am Institut für Angewandte Physik der TU Wien. Er betreibt in Garching bei München die so genannte Lithiumstrahl Diagnostik, ein in Österreich entwickeltes Verfahren, das eine Bestimmung des Elektronendichteprofiles von der Plasmarandschicht bis tief ins heiße Plasma ermöglicht.

Gleich neben der ITER-Baustelle, auf dem Areal des streng abgeschirmten Kernforschungszentrums Cadarache, befassen sich rund 5000 Mitarbeiter vor allem noch mit der „alten“ Kerntechnologie. Hier werden seit den sechziger Jahren mehrere Forschungsreaktoren betrieben. Für Aufsehen sorgte vor knapp zehn Jahren ein künstlich erzeugter Mini-Super-GAU. Die kontrollierte Reaktor-Kernschmelze und zahlreiche weitere Experimente hätten dazu dienen sollen, Erkenntnisse für sichere Atomkraftwerke zu gewinnen. Doch Unfälle wie der Super-GAU in Japan haben nun zahlreiche Staaten zum endgültigen Ausstieg aus der Kernspaltungstechnologie bewogen. Hinzu kommen ungelöste Fragen wie eine sichere Atommüll-Endlagerung sowie drohende Umweltkatastrophen, etwa durch ins Meer versenkte radioaktive Abfälle (siehe Kasten rechts).

In durchaus greifbarer Zukunft, so jedenfalls der Plan, könnte die Kernfusion ihren gefährlicheren Bruder Kernspaltung ganz ablösen. Vor dem Baubeginn des ITER wurden mehr als 40 Hektar Fläche planiert und eine 20 Meter tiefe Grube für das Fundament ausgehoben. Hunderte Pfosten und Metallfedern zum Schwingungsausgleich sollen für Erdbbensicherheit sorgen. Eine Besonderheit bringen die großen Dimensionen der waagrechten Magneten mit sich. „Sie können nicht transportiert werden, weshalb vor Ort eine eigene Halle zur Konstruktion errichtet wird“, berichtet Jahreiss.

Nicht weniger aufwendig sind die bürokratischen Verfahren für Unternehmen, die an dem Megaprojekt partizipieren möchten. Die Wirtschaftskammer lud aufgrund der großen Zukunftsaussichten ös-

terreichische Betriebe vor knapp einem Jahr eigens zu einem Themenforum. Eine fixe Größe in der Fusionsforschung ist mittlerweile Plansee, ein Produzent für Spezialmetalle, der Komponenten für mehrere Fusionsforschungsprojekte entwickelt und geliefert hat. „Die Teilnahme am ITER-Projekt erlaubt es uns, bei der Umsetzung neuester Technologien dabei zu sein und einen Beitrag für die Energieversorgung der Zukunft zu leisten“, erklärt Werner Schulmeyer, Manager Nuclear Fusion bei Plansee. Für den ITER entwickelt das Tiroler Unternehmen Metalllegierungen mit sehr hohem Schmelzpunkt sowie Materialverbunde, die beispielsweise die Konstruktion eines Hochleistungswärmetauschers ermöglichen.

Die größte Herausforderung liegt derzeit allerdings weniger in wissenschaftlichen Fragen als in der Umsetzung. „Die meisten Physiker rechnen bei den Modellierungen nicht mehr mit großen Überraschungen“, meint Alexander Kendl, der am Institut für Ionenphysik in Innsbruck die Arbeitsgruppe Komplexe Systeme leitet. Wie die wissenschaftlichen Publikationslisten belegen, hat sich in der Fusionsforschung gerade in den vergangenen Jahren viel getan.

„Es wurden sehr große Fortschritte erzielt“, weiß Friedrich Aumayr, Leiter der Forschungsgruppe Atom- und Plasmaphysik am Institut für Angewandte Physik an der TU Wien. „Ähnlich wie bei Moore's Law verdoppelt sich die Innovationsrate jedes Jahr.“ Dass der ITER letztlich doch nicht funktionieren könnte, hält er für extrem unwahrscheinlich. Verzögerungen sind freilich nie gänzlich ausgeschlossen. „Die Gefahr besteht bei solch großen Projekten eher im Geldmangel“, so Aumayr. Das ITER-Projekt sei derzeit aber finanziell ausreichend abgesichert und schon sehr weit gediehen.

Freilich sind auch die technischen Fortschritte meist mühsam erarbeitet, und erst die Summe vieler Detailerfolge fügt sich allmählich zur Praxistauglichkeit: ▶

„Die Teilnahme an dem Projekt erlaubt es uns, einen Beitrag für die Energieversorgung der Zukunft zu liefern“

Werner Schulmeyer, Plansee

Atomare Altlasten

300.000 Tonnen an radioaktivem Müll stellen ein bislang unlösbares Problem dar.

ATOMMÜLLTRANSPORT
Bis heute existiert kein sicheres Endlager



Eine beunruhigende Entdeckung sorgte erst kürzlich für Schlagzeilen: Das 1982 versenkte russische Atom-U-Boot „K-27“ könnte schon bald aufgrund eines Wassereintritts eine nukleare Katastrophe in den arktischen Gewässern der Barentssee auslösen. Im Meer lagern viele solche Atom-U-Boote und Atommüll-Container.

Doch schon der reguläre Atommüll stellt ein bislang unlösbares Problem dar – und war auch stets Thema bei den aktuellen Atomausstiegsabsichten von Ländern wie Deutschland, Japan, Belgien und der Schweiz. Schließlich ist weiterhin unklar, was mit all dem Atommüll geschehen soll. Bis heute gibt es kein sicheres Endlager für die insgesamt mittlerweile mehr als 300.000 Tonnen an hoch radioaktiven Abfällen aus Kernkraftwerken, zu denen jährlich rund 12.000 Tonnen hinzukommen.

Eine EU-Richtlinie aus dem Vorjahr will diesen Mischstand nun wenigstens in Europa bereinigen. Sie verlangt, dass alle 14 EU-Staaten, die Kernenergie nutzen, bis 2015 eine Lösung für die Atommüllendlagerung vorweisen müssen. Derzeit wird aber noch immer diskutiert, ob beispielsweise der über 800 Meter tiefe Salzstock im deutschen Gorleben sicher genug für eine jahrtausendlange Lagerung ist. Weitere Möglichkeiten sind sehr tiefe Lagerstätten in Tongestein oder Granit. Allein in Deutschland hat die Endlagersuche schon mehrere Milliarden Euro gekostet – ohne befriedigendes Ergebnis. Was mit den großen Mengen Atommüll im Meer passieren soll, ist überhaupt völlig ungewiss. Eine Bergung käme jedenfalls enorm teuer.

Duell der Giganten

Kernfusion und konventionelle Kernspaltung im direkten Vergleich.

Die Kernfusion unterscheidet sich völlig vom Prozess der Kernspaltung. Während sich bei Letzterer eine Kettenreaktion bildet, die aktiv mittels Steuerstäben geregelt (nämlich gebremst) werden muss und bei Kühlungsproblemen wegen der unvermeidlichen Nachwärme zur Kernschmelze sowie im schlimmsten Fall zum Super-GAU (Austritt radioaktiven Materials wie bei Tschernobyl oder Fukushima) führen kann, stoppt die Kernfusion bei Problemen einfach.

Zwar herrschen hier unfassbar hohe Temperaturen von über 100 Millionen Grad, doch es befindet sich nur der jeweils gerade benötigte Brennstoff in Grammengen in der Vakuum-Plasmakammer. Bei einem Ausfall des Magnetfeldes, welches das heiße Plasma (ionisiertes Gas) von den Reaktorwänden trennt, reicht die Energie nicht zur Zerstörung der Reaktorwand. Bei der Kernspaltung dagegen lagert der Uranvorrat für mehrere Jahre Betrieb im Reaktorgefäß selbst, und zwar in den Brennstäben. Zudem entstehen langlebige radioaktive Zerfallsprodukte.

Anders bei der Kernfusionsreaktion: Nur das Wasserstoffisotop Tritium (^3H) mit einer Halbwertszeit von 12,3 Jahren ist leicht radioaktiv. Es wird aber im Fusionsreaktor selbst im laufenden Prozess aus dem Element Lithium erzeugt. Nur Deuterium (^2H), schwerer Wasserstoff, der in Wasser vorkommt, sowie Lithium (das etwa in Akkus verwendet wird) werden extern angeliefert. Beide sind wie auch das Helium (die „Asche“ des Fusionsprozesses) nicht radioaktiv.

Der ganze Fusionsprozess benötigt überdies nur extrem geringe Mengen Deuterium und Tritium. Ein Gramm Brennstoff liefert rund 90.000 Kilowattstunden an Energie, was der Verbrennungswärme von elf Tonnen Kohle entspricht.

► Einer der großen Durchbrüche wurde jüngst im Fusionsreaktor JET (Joint European Torus) in Culham in Großbritannien erzielt. Die Apparatur funktioniert wie der ITER nach dem so genannten Tokamak-Prinzip (speziell angeordnete und verdrillte Magnetfelder halten das extrem heiße Plasma von den Innenwänden fern) und stellte im August mit 15 Minuten einen neuen Rekord für die stabile Aufrechterhaltung des Plasmas auf. Dazu wurden rasch hintereinander mehr als 100 Impulse gesetzt. Ein Tokamak-Reaktor kann nur gepulst arbeiten – was bedeutet, dass die Kernfusion nach einer gewissen Zeit neu zünden muss. Der Versuch diente auch zur Materialprüfung. Für die Wissenschaftler sind solche Plasmaexperimente wertvoll, weil im ITER lange Impulse vorgesehen sind. So können beispielsweise die geplanten Innenwandkacheln unter realen Verhältnissen getestet werden.

► Parallel zum Tokamak-Prinzip wird zur magnetischen Plasmaeinsperrung in der Vakuumkammer auch an einem weiteren Reaktortyp namens „Stellarator“ geforscht, der quasi schon die nächste Generation darstellt und durch seine seltsam verwundene Form auffällt. Diese dient dazu, das Magnetfeld vollständig von außen zu erzeugen. Damit ist anders als beim Tokamak ein Dauerbetrieb möglich. 2014 soll das größte Stellarator-Experiment, der „Wendelstein 7-X“, im deutschen Greifswald in Betrieb gehen.

► Für Aufsehen in der Fusions- und Laserforschung sorgte Anfang Oktober die National Ignition Facility in Livermore, Kalifornien. Hier gelang es erstmals, die größte Lasermaschine der Welt anzuwerfen. 192 Laserstrahlen sollen in einer zehn Meter hohen Vakuumkammer eine Kernfusion erzeugen. Die Laser führen zu einer extremen Verdichtung und sehr hohen Temperaturen, die ein winziges Wasserstoffkügelchen zur Fusion bringen sollen. Wann diese Laserfusion funktioniert, ist aber noch ungeklärt.

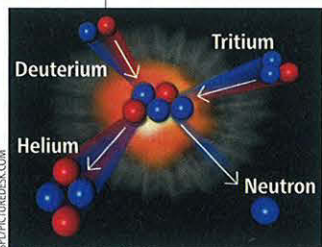
Ein großer Vorteil der Fusionsenergie ist, dass sie sehr wenig Brennstoff verbraucht. Ein heute typisches 1000-Mega-

watt-Kraftwerk benötigt im Jahr rund 2,5 Millionen Tonnen Kohle. Die gleiche Menge Strom liefert ein Fusionskraftwerk mit nur 100 Kilo Deuterium und drei Tonnen Lithium. Die Brennstoffkosten spielen bei der Kernfusion denn auch kaum eine Rolle, dafür aber jene für die Errichtung.

Im Energiemix soll die Fusion jedenfalls künftig eine zentrale Stellung einnehmen. Eine Studie, an der die Research Studios Austria aus Salzburg und einige internationale Institute beteiligt waren, sieht unter der Annahme, dass die globale Erwärmung auf drei Grad Celsius beschränkt werden soll, im Jahr 2100 die Fusionsenergie mit einem Anteil von 36 Prozent als die wichtigste Stromquelle überhaupt (siehe Grafik Seite 98). Die Studie zeigt aber auch den rapide steigenden Stromverbrauch bis ins Jahr 2100.

Derzeit erfolgt die weltweite Energieproduktion noch größtenteils mit den fossilen Brennstoffen Erdöl (32 Prozent), Kohle (28 Prozent) und Gas (21 Prozent). Selbst bei der Stromproduktion liegen Kohle mit 40 Prozent und Gas mit 21 Prozent am Produktionsanteil eindeutig vor den erneuerbaren Energien mit 19 Prozent. Klassische Kernenergie trägt derzeit auch noch gut 13 Prozent zur Stromerzeugung bei. Erdöl aber hat die maximale Förderleistung („peak of oil“) schon überschritten oder wird demnächst an dieses Limit stoßen. Auch die Erdgasförderung wird in einigen Jahrzehnten ihre höchste Produktionskapazität erreichen. Energieexperten werten die rasant steigenden Erdölpreise in den vergangenen zehn Jahren von rund 20 Dollar pro Fass auf bis zu 130 Dollar als Beleg für in absehbarer Zeit drohende Versorgungsengpässe.

Angesichts der globalen Energiesituation und der Fortschritte in der Technologie möchte man meinen, dass Einigkeit über die Zukunftsträchtigkeit der Kernfusion besteht. Dennoch machen Kritiker Einwände geltend. Für Hans Kronberger, Präsident des Verbands Photovoltaik Austria, liegt die Zukunft zwar eindeutig in der Fusionsenergie. Aber nicht auf Erden, sondern in Form der Sonne, die für Photovoltaikanlagen, Windkraft und Biomasse theoretisch genügend Energie liefert. „Es ist sinnlos, teure Kernfusionskraftwerke zu bauen, wenn uns die Sonne mehr als genügend Energie liefert“, findet Kronberger. Zumindest an einzelnen Tagen würden in Deutschland die Wind- und Sonnenkraftwerke bereits 45 Prozent des Strombedarfs abdecken. Zudem würden ►



Bei der Fusion von Deuterium und Tritium entstehen Helium und ein sehr energiereiches Neutron, das als ladungsneutrales Teilchen vom Magnetfeld nicht gehalten wird. Der sehr hohe Energiefluss durch den Neutronenbeschuss erzeugt in den umgebenden Modulen Wärme, die über ein Kühlsystem in die Dampfturbinen geleitet wird, um elektrische Generatoren anzutreiben.

Kernfragen

Auf einen Blick: die wichtigsten Fragen und Antworten zum Thema Kernfusion.

WAS IST DER ITER?

Der International Thermonuclear Experimental Reactor ist ein internationaler Testreaktor, der zeigen soll, dass mit Kernfusion eine deutlich positive Energiebilanz erzielt werden kann. Bisherige Versuchsreaktoren benötigen mehr Energie, als sie liefern.

WANN FLIESST DER ERSTE STROM?

Wirklich Strom liefern wird das Nachfolgeprojekt DEMO (Demonstration Power Plant), an dem parallel zum ITER geforscht wird. Kommerzielle Kraftwerke wird es laut Prognosen der Wissenschaftler ab 2050 geben.

WARUM DAUERT ES SO LANGE?

Eine Herausforderung besteht darin, genügend Hitze zu erzeugen, um die Kernfusion zu starten. Noch schwieriger ist es, das über 100 Millionen Grad Celsius heiße Plasma in der Plasmakammer stabil zu halten. Dazu wird es in einem Käfig aus sehr starken Magnetfeldern eingeschlossen, der den Kontakt zwischen heißem Plasma und kalten Wänden weitgehend verhindern soll. Trotzdem kommt es während des Betriebs zu einer starken Belastung der Wände durch Beschuss mit Neutronen und anderen energetischen Teilchen.

KANN ES BEI SO HEISSEN TEMPERATUREN ZU EXPLOSIONEN ODER BRÄNDEN KOMMEN?

In der 837 Kubikmeter großen Plasmakammer im ITER befinden sich stets nur rund 0,5 Gramm Fusionsbrennstoff. Es herrscht ein Vakuum. Selbst wenn das Magnetfeld zusammenbräche, welches das Plasma von den Wänden abhält, würde die Reaktorwand nicht zerstört werden.

KOMMT ES HIER AUCH ZU KETTENREAKTIONEN WIE BEI DER KERNSPALTUNG?

Nein, eine Kettenreaktion findet bei der Fusion prinzipiell nicht statt, ein Fusionsreaktor kann daher nicht „durchgehen“. Das Problem ist eher, die Kernfusion zu starten und stabil aufrechtzuerhalten. Bei kleinsten Störungen stoppt sie sofort.

WIE VIEL STROM KANN EIN FUSIONSREAKTOR LIEFERN?

Fusionskraftwerke sind Großkraftwerke. Ein 2000-Megawatt-Kraftwerk wie DEMO kann im Jahr rund vier Millionen Haushalte mit Strom versorgen. Im Jahr 2100 soll die Kernfusion Berechnungsszenarien zufolge mit 36 Prozent die größte Stromerzeugungsquelle sein.

WELCHE BRENNSTOFFE SIND ERFORDERLICH?

Als Brennstoff kommen Deuterium (schwerer Wasserstoff) und Tritium (überschwerer Wasserstoff) zum Einsatz. Deuterium wird aus Wasser gewonnen. Tritium entsteht nach Start der Fusionsreaktion aus Lithium. Es sind für die Fusion nur sehr geringe Mengen der fast unbeschränkt verfügbaren Stoffe Deuterium und Lithium (aus der Erdkruste) erforderlich.

FÄLLT RADIOAKTIVER ABFALL AN?

Extrem langlebige radioaktive Spaltprodukte entstehen bei der Kernfusion nicht. Nach längerem Betrieb werden durch den Neutronenbeschuss aber die inneren Komponenten (Wände, Strukturmaterial) „aktiviert“ – sie strahlen also. Durch geeignete Materialwahl kann man die Halbwertszeit so kurz halten, dass die Materialien nach einer sicheren Lagerung von rund 50 Jahren wiederverwendet werden können. Ein Endlager ist also nicht nötig.

WAS WIRD DER ITER KOSTEN?

Nach deutlicher Steigerung der Projektkosten wurde der Anteil der EU-Kommission an den Kosten für den ITER mit 6,6 Milliarden Euro begrenzt. Die EU trägt 45 Prozent der Gesamtkosten, die weiteren Partner sind die Volksrepublik China, Indien, Japan, Russland, Südkorea und die USA. Im Euratom-Rahmenprogramm wird der Großteil der Mittel – im Zeitraum 2007 bis 2011 waren es knapp zwei Milliarden Euro – in die Fusionsforschung gesteckt. Nur 287 Millionen Euro flossen in Kernspaltung (Reaktorsicherheit) und Strahlenschutz, wobei es vor allem um Einsatzmöglichkeiten von ionisierenden Strahlen in der Industrie und Medizin geht.

Ehe im Schatten



Regie: Kurt Maetzig, D 1947,
Spielfilm, 104 Minuten, dt. OF



Karten gewinnen*

Bilder der Erinnerung, Akte von Zivilcourage und Liebe, Leben im Exil, Komödien sowie Tragödien – das alles kann man beim Jüdischen Filmfestival Wien 2012 sehen, das vom 11. bis 25. Oktober im Votivkino und De France Kino stattfinden wird. Heuer feiert das Filmfestival seine zwanzigste Veranstaltung. Aus diesem Grund werden unter dem Motto „20 Festivals – 20 Filme“ filmische Highlights aus den vergangenen Jahren sowie neuere Produktionen präsentiert.

In memoriam Kurt Maetzig (1911–2012) wird *Ehe im Schatten* (D 1947), der erste Spielfilm dieses Regisseurs, präsentiert. Während des Zweiten Weltkriegs konnte Kurt Maetzig, der eine jüdische Mutter hatte, durch einflussreiche Freunde vor der Deportation gerettet werden. Aus Angst vor der Gestapo beging seine Mutter am 9. Februar 1944, dem Vorabend ihrer Deportation, Selbstmord. Maetzig's Film *Ehe im Schatten* thematisiert das Thema Freitod. Als Grundlage für das Drehbuch diente die wahre Geschichte des Schauspielers Joachim Gottschalk und dessen jüdischer Ehefrau Meta, die sich aus Furcht vor der Verfolgung durch die Nazis mit ihrem Sohn das Leben nahmen.



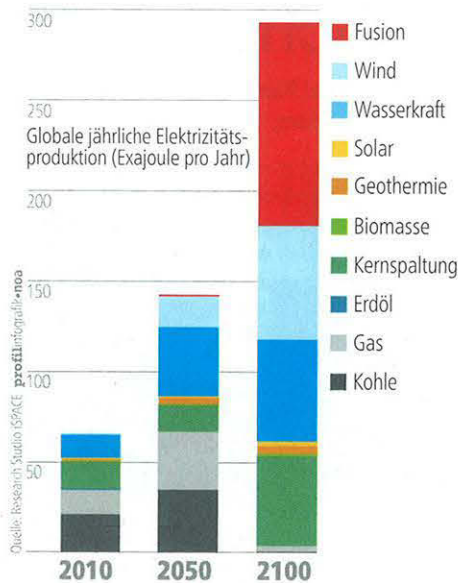
profil verlost **10x 2 Karten** für die Filmvorführung „*Ehe im Schatten*“ von Kurt Maetzig am 18. 10. um 18.30 im Votivkino, Währinger Straße 12, 1090 Wien.

Teilnahme unter www.profil.at/jfw

(Teilnahmeschluss: 12. 10.)

Der Energiemix

Prognose für die wichtigsten Energiequellen bis zur Jahrhundertwende.



die Preise für Photovoltaikanlagen und Strom aus Windkraftanlagen rapide fallen. Zur Speicherung des äußerst unsteadyen Wind- und Sonnenstroms wird immerhin intensiv an smarten Stromnetzen und besseren Speichermöglichkeiten gearbeitet.

Ein so gigantisches internationales Energieforschungsprojekt wie der ITER ruft freilich fast zwangsläufig auch Ablehnung hervor. Dabei sollten Kernfusionskraftwerke eigentlich ein grünes Hauptthema sein: Sie liefern riesige Mengen Energie, verbrauchen sehr wenig, überdies reichlich vorhandene Brennstoffe, eignen sich nicht für Waffen und sind klimaneutral. Die Kernfusion ist also ziemlich genau das Gegenteil der Kernspaltung.

Sie steckt aber eben noch in der kostenintensiven Forschungsphase. Nach empfindlichen Ausgabensteigerungen beim ITER hat die EU-Kommission ihren Kostenanteil (45 Prozent der Gesamtsumme) auf 6,6 Milliarden Euro begrenzt. Das

sind rund 13 Euro pro Einwohner. Zum Vergleich: Laut einer Studie der TU Wien wird die Koralmbahn samt Tunnel rund zehn Milliarden Euro kosten. Ähnlich viel Geld wird der Brenner-Basistunnel verschlingen. Dennoch wird die Finanzierung der Fusionsforschung mitunter recht zögerlich betrieben. So ist die monetäre Ausstattung des Nachfolgeprojekts DEMO, der letzten Stufe zum kommerziellen Kraftwerk, noch keineswegs geklärt.

Aus physikalischer Sicht rechnen die Forscher jedenfalls kaum mehr mit großen Überraschungen. Politisch sind aber bekanntlich stets Widrigkeiten denkbar – und innert Legislaturperioden lässt sich mit einem Langfristthema wie der Kernfusion wenig gewinnen. Denn Faktum ist, dass die neue Technologie bis 2050 nichts zur Eindämmung der Klimaerwärmung und zur Bekämpfung des steigenden Energiehunger beitragen kann. Danach allerdings könnte das genaue Gegenteil der Fall sein, und die sanfte Atomnutzung hat

35 Jahre
Yachtrevue



Yachtrevue de luxe

Die Sonderausgabe zu den schönsten Themen des Wassersports.

Zwischen Realität und Utopie:

Unglaubliche Projekte am Superyachtsektor.

Côte-d'Azur-Reise de luxe:

Mit Kat, Skipper und Köchin von Nizza südwärts.

Carlo-Riva-Porträt:

Rückblick auf ein stürmisches Leben zum 90er.

Jetzt in Ihrer Trafik!

JETZT NEU: E-YACHTREVUE

Die komplette Ausgabe als Online-Magazin. Reinschauen lohnt sich:

www.yachtrevue.at



durchaus das Potenzial, zur überzeugendsten Energiequelle zu avancieren. Im schlechtesten Fall sieht die Mehrzahl der Experten darin eine bedeutende Ergänzung zu den unstillen erneuerbaren Energiequellen. Es gibt aber auch alternative Ansätze wie Kombikraftwerke, die Wind-, Sonnen-, Wasser- und Biomassekraftwerke vernetzen.

Eine Machbarkeitsstudie dazu führt derzeit das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik mit Partnern durch. Die Experten wollen belegen, dass in Deutschland sogar eine alleinige Stromversorgung aus erneuerbaren Energien möglich ist. In Feldversuchen werden dazu Wind-, Biogas-, Solar- sowie Pumpspeicherkraftwerke zu einem virtuellen, zentral gesteuerten Kraftwerk kombiniert.

Der Haken dabei: Die Realisierung ist stark von den regional verfügbaren Energieressourcen wie Wind, Wasser und Sonne abhängig. Und für die Grundversor-

gung ist ein entsprechend großer Anteil an Biomassekraftwerken respektive großen Speicherseen vonnöten.

Zugleich wird an neuen Speichermöglichkeiten geforscht. Zum Speichern überschüssigen Stroms sollen künftig zum Beispiel Elektroautos herhalten. Bekanntlich steht ein Großteil der Autos die meiste Zeit nur herum. Durch smarte Stromnetze könnten Millionen von Autobatterien für Ausgleichsenergie sorgen.

Dass aber diese Möglichkeiten allein reichen, um den Energiehunger der Welt – bis 2100 könnte sich der Primärenergieverbrauch vervierfachen, auch aufgrund des raschen Bevölkerungswachstums – zu stillen, bezweifelt die Mehrheit der Energieexperten massiv.

Als gewiss darf deshalb durchaus gelten: Man braucht ohne Zweifel die Kraft der Sonne, ob nun für den Betrieb von Photovoltaikanlagen, Solarkraftwerken oder die Kernfusion – also am Himmel ebenso wie auf Erden. ■



Wir haben die Wirtschaft beruhigt. Zumindest optisch.

DAS HAT **FORMAT**

Jetzt im neuen Design:
Mehr Übersicht.
Moderner Look.
Bessere Information.

