

**SÜDWESTRUNDFUNK  
SWR2 WISSEN - Manuskriptdienst**

**„ITER oder Der ‚Weg‘ ist das Ziel -  
Hat die Kernfusion als Energiequelle eine Zukunft?“**

Autor und Sprecher: Markus Bohn  
Redaktion: Markus Bohn  
Sendung: Mittwoch, 20. Mai 2009, 08.30 Uhr, SWR2

---

**Bitte beachten Sie:**

Das Manuskript ist ausschließlich zum persönlichen, privaten Gebrauch bestimmt.  
Jede weitere Vervielfältigung und Verbreitung bedarf der ausdrücklichen  
Genehmigung des Urhebers bzw. des SWR.

Mitschnitte auf CD von allen Sendungen der Redaktion SWR2 Wissen/Aula (Montag bis  
Sonntag, 08.30 Uhr bis 09.00 Uhr) sind beim SWR Mitschnittdienst in Baden-Baden für  
12,50 € erhältlich. Bestellmöglichkeiten unter Telefon: 07221/929-6030!

Entdecken Sie den SWR2 RadioClub!

Lernen Sie das Radioprogramm SWR2 und den SWR2 RadioClub näher kennen!  
Fordern Sie unverbindlich und kostenlos das aktuelle SWR2-Programmheft und das  
Magazin des SWR2 RadioClubs an.

SWR2 RadioClub-Mitglieder profitieren u. a. von deutlichen Rabatten bei zahlreichen  
Kulturpartnern und allen SWR2-Veranstaltungen sowie beim Kauf von Musik- und Wort-  
CDs. Selbstverständlich erhalten Sie auch umfassende Programm- und  
Hintergrundinformationen zu SWR2. Per E-Mail: [radioclub@swr2.de](mailto:radioclub@swr2.de); per Telefon:  
01803/929222 (9 ct/Minute); per Post: SWR2 RadioClub, 76522 Baden-Baden  
(Stichwort: Gratisvorstellung) oder über das Internet: [www.swr2.de/radioclub](http://www.swr2.de/radioclub).

**SWR2 Wissen können Sie ab sofort auch als Live-Stream hören im SWR2  
Webradio unter [www.swr2.de](http://www.swr2.de)**

---

**Autor:**

Hohn und Spott sind die Fusionsforscher gewohnt. Seit den 1950er Jahren träumen sie davon, das Sonnenfeuer auf der Erde zu entfachen und damit die Menschheit ein für allemal von sämtlichen Energiesorgen zu befreien. Aber das einzige, was diese Milliarden teure Forschung bislang hervorgebracht habe, so die Kritiker, sei eine Konstante, nämlich die Zahl 50. 50 Jahre noch - mindestens - werde es dauern, bis ein Strom lieferndes Fusionskraftwerk fertig sei.

So hat man es von den Experten schon 1970 hören können und so hört man es heute immer noch.

Prof. Günter Hasinger kommt aus der Röntgenastronomie und ist erst seit November 2008 neuer Direktor des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik.

**O-Ton 1 - Günter Hasinger:**

Ich kam auch mit dem Bild, also das dauert alles so lange und da passiert ja nichts. Aber es passieren wirklich dramatische Dinge. Und wir sind ja gar nicht mehr so weit weg von dem Durchbruch. Also der Weltrekord ist eben schon, dass man fast so viel Energie wieder rausbekommt als man rein gesteckt hat. Der nächste große Schritt ist jetzt ITER, was hoffentlich in 10, 12 Jahren dann in Betrieb geht. Und man ungefähr 10 mal so viel Energie rausbekommt wie rein gesteckt wurde. Das heißt also, die Stufen sind vorgezeichnet.

**Autor:**

ITER - lateinisch der Weg - heißt also das nächste große Fusionsexperiment, das in Cadarache in Südfrankreich gebaut wird. **ITER - oder der „Weg“ ist das Ziel**, heißt deshalb auch diese Sendung heute, in der wir fragen: **Hat die Kernfusion als Energiequelle eine Zukunft?** Am Mikrofon ist Markus Bohn.

Ob künftige Generationen die Kernfusion tatsächlich einmal nutzen **wollen**, kann heute natürlich niemand vorhersagen. Unsere Frage ist deshalb schlichter: Wie stehen die Chancen, dass man die Fusion technisch überhaupt hinkriegt.

Die Herausforderungen, um das Sonnenfeuer zu zünden, sind gewaltig. Damit das leichteste aller chemischen Elemente, der Wasserstoff zum Edelgas Helium fusioniert, dazu braucht man eine Temperatur von sage und schreibe 100 Millionen Grad. 10 mal mehr als im Inneren der Sonne. Und zugleich muss man dafür sorgen, dass das Gas bzw. das Plasma bei dieser extremen Temperatur sehr dicht komprimiert bleibt. Man muss es also einsperren. Und das geht nur mit gigantischen magnetischen Käfigen, die verhindern, dass das Gas bzw. das sogenannte Plasma, die Wände des materiellen Gefäßes berührt. Andernfalls kühlt das Plasma so stark ab, dass das Sonnenfeuer sofort erlischt.

Im Plasma, also bei diesen hohen Temperaturen haben sich die Elektronen aus der Atomhülle gelöst und bilden mit den verbleibenden Atomkernen, den Ionen, ein elektrisch leitfähiges Gemisch. Deshalb reagiert Plasma überhaupt erst auf magnetische Felder und auch auf elektromagnetische Wellen und kann damit eingesperrt und aufgeheizt werden. Wie man das effektiv macht, wie man die unvorstellbare Temperatur

von 100 Millionen Grad erreicht, das haben die Physiker in den letzten 25 Jahren gelernt.

### **O-Ton 2 - Hartmut Zohm:**

Das kann man machen, indem man Teilchen die Plasma-Teilchen werden sollen, Neutrale zunächst, auf hohe Energien beschleunigt und einschießt. Die werden dort ionisiert und deponieren ihre Energie über Stöße im Plasma; das ist die sogenannte Neutral-Strahl-Heizung. Und dann gibt es eine Reihe von Resonanzfrequenzen im Plasma und wenn man die trifft mit elektromagnetischen Wellen, dann kann man auch sehr effizient Energie übertragen. Zum Beispiel haben wir ein System entwickelt, was Mikrowellen einschießt. Allerdings nicht wie bei der Küchen-Mikrowelle im Bereich Kilowatt, sondern im Bereich Megawatt, also den Faktor 1000 mehr in der Leistung. Damit können wir sehr lokalisiert Energie zu führen.

### **Autor:**

Prof. Hartmut Zohm leitet am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching bei München den Bereich Tokamak-Szenario-Entwicklung. Der Tokamak ist einer von zwei Typen von Fusionsmaschinen, die weltweit entwickelt werden. Er ist geometrisch vergleichsweise einfach geformt, wie ein überdimensionaler Autoreifen. Was ihn kompliziert macht ist die Tatsache, dass man beim Tokamak ein zweites Magnetfeld braucht, das im Plasma selbst erzeugt werden muss, indem man dort einen elektrischen Strom fließen lässt. Dieses zweite Magnetfeld ist Teil des gesamten Magnetkäfigs, und deshalb muss man jede Instabilität im Plasma nach Möglichkeit vermeiden, damit der Käfig dicht bleibt. Daran wird seit Jahrzehnten hart gearbeitet. Der stabile Einschluss des Plasmas ist das Hauptproblem der Fusion. Am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching gibt es seit knapp zwanzig Jahren die zweite Generation eines fortgeschrittenen Tokamaks mit dem Namen Asdex upgrade. Asdex upgrade ist die größte laufende Fusionsmaschine in Deutschland. 10 Meter im Durchmesser, 9 Meter hoch, 800 Tonnen schwer. Isabella Milch, die Pressechefin des Instituts bringt mich zunächst in den Kontrollraum. Ein bisschen sieht es hier aus wie im Raumfahrtkontrollzentrum in Houston, nur ein paar Nummern kleiner. Etliche lange Tischreihen mit Computerarbeitsplätzen, und ein großer Monitor, der von der Decke hängt.

**ATMO:** Geräusche / Stimmen im Hintergrund (Kontrollraum)

### **O-Ton 3a - Isabella Milch:**

Also die Struktur des Raumes ist so, dass auf der linken Seite lauter Physiker sitzen, die Messgeräte bedienen. Die sind also jetzt dafür verantwortlich, dass ihr Messgerät, was drin in der Halle steht, funktioniert und Daten liefert. Dann gibt's hier dieses Viertel, das sind die Leute die sind für die Datenverarbeitung verantwortlich. Und dort sitzt die technische Mannschaft. Die sorgen dafür, dass die Heizung angeschaltet wird im richtigen Moment und die Pumpen laufen und das Magnetfeld richtig eingeschaltet wird. Und die Dame dort, das ist die heutige Experimentleiterin, Frau Dr. Wolfrum. Die arbeitet ein Experimentierprogramm ab, was man vorher verabredet hat.

**ATMO:** Geräusche / Stimmen im Hintergrund (Kontrollraum)

### **O-Ton 3b - Elisabeth Wolfrum:**

Also wir haben die Maschine letzte Woche in Betrieb genommen. Haben am letzten Schusstag - am Freitag - entdeckt, dass wir eine Verunreinigungsquelle haben und da sind wir gerade auf der Suche, wo die sein könnte. Und am Ende des Tages wollen wir so viele Informationen zusammen gesammelt haben, dass wir wissen, ob wir die Maschine aufmachen müssen oder nicht.

### **Autor (über ATMO):**

Eine Besonderheit von Fusionsmaschinen vom Typ Tokamak ist, dass sie nicht kontinuierlich laufen, sondern gepulst. Im Jargon der Forscher ist deshalb von Schüssen die Rede. Und die kann man sogar hören. Wie Pistolenschüsse klingen sie allerdings nicht und zunächst einmal ertönt ein Warnsignal.

**ATMO:** Warnsignal / Töne (Schuss)

### **O-Ton 4 - Mark Maraschek:**

Was man da hört, ist eine normale magnetische Spule, die einfach das Magnetfeld misst und einfach mit der direkten Leitung hier in den Kontrollraum raus weitergeleitet wird. Es ist wirklich der Originalton einer magnetischen Spule, die im Gefäß montiert ist. Und man hat ja auch die unterschiedlichen Töne gehört, dass sich praktisch die Tonhöhe verändert hat und die Tonhöhe bildet praktisch wirklich direkt die Plasmarotation ab.

### **Autor:**

Dieser Ton liefert zwar auch schon einige Aufschlüsse, aber die Wissenschaftler sammeln natürlich vor allem exakte Daten über mehrere Eigenschaften des Plasmas. Dr. Mark Maraschek nennt die wichtigsten:

### **O-Ton 5 - Mark Maraschek:**

Zum einen die Temperatur und die Dichte, das sind die wirklich wichtigsten Charakterisierungsgrößen die man braucht, die man typischerweise indirekt messen muss. Weil ich kann bei 50 Millionen Grad, die wir typischerweise haben, kein Thermometer irgendwo direkt hineinhängen. Und das ist auch wirklich das, was einen interessiert. Ich will eine möglichst hohe Dichte, ich will eine möglichst hohe Temperatur, das sind meine Hauptparameter. Und die möchte ich ortsaufgelöst haben, so dass ich weiß, im Plasmazentrum habe ich meinetwegen 50 Millionen Grad und am Plasmarand habe ich nur noch einige 10.000 Grad.

### **Autor:**

Für einen Tokamak wie Asdex upgrade kommt der Strom nicht aus der Steckdose.

### **O-Ton 6 - Mark Maraschek:**

Es ist so, dass wir eine separate Hochspannungsleitung hier ins Institut haben und eigentlich drei Schwungradgeneratoren - momentan sind aber nur zwei in Betrieb - haben. Mit diesen Schwungradgeneratoren wird der Strom für die etwa zehn bis 20 Sekunden lang dauernde Entladung gepuffert, das dauert typischerweise fünf bis zehn Minuten bis die Schwungräder auf der nominellen oberen Drehzahl sind und dann werden diese Schwungräder als Generator geschaltet und über den Generator wird der Strom für das Experiment erzeugt. Wenn wir direkt an die Netzlast herangehen würden,

mit dem was wir abziehen, würden wir letztendlich das Stromnetz in München zusammenbrechen lassen.

**ATMO:** Warnsignal / Töne (Schuss)

**Autor:**

Nach diesem Schuss wird der Experimentierbetrieb zunächst einmal unterbrochen und nach einigen Sicherheitsmaßnahmen dürfen wir in die große Halle, in der der 800-Tonnen-Koloss Asdex upgrade steht.

**O-Ton 7a - Mark Maraschek (Asdex-Halle):**

Ich habe ein Dosimeter dabei. Sie werden sehen letztendlich werden wir, wenn die Halle freigegeben ist, keine Strahlungserhöhung haben. Aber um praktisch den Strahlungsbestimmungen genüge zu tun, haben wir praktisch 100%ige Überwachung, wenn Experimentier-Betrieb in der Halle ist.

**ATMO:** Geräusche

**O-Ton 7b - Mark Maraschek (Asdex-Halle):**

Was sie jetzt hauptsächlich hören hier sind die verschiedenen Vakuumpumpensysteme, mit dem das Vakuum im Gefäß selber aufrecht erhalten wird. Die Treppe auf der wir jetzt hier hochgegangen sind und oben übergegangen sind, das ist eine der beiden Neutralinjektionsboxen, bei denen neutraler Wasserstoff in das Plasma eingeschlossen wird und damit das Plasma zusätzlich geheizt wird. Wir haben ja in dem Plasma selber einen Strom, der im Plasma fließt, der liefert etwa eine Heizleistung von einem Megawatt, was in dem Plasma abgegeben wird und damit das Plasma auf etwa einige 10.000 bis einige Millionen Grad hochbringt. Dann müssen sie zusätzliche Heizungen anbringen, wie diese Neutralteilchen. Des weiteren haben sie hier z. B. die Ionen-Zyklotron-Heizung, das ist so was ähnliches wie eine Mikrowellenheizung. Bei der Mikrowellenheizung im Haushalt heizen sie letztendlich die Eigenresonanz der Wassermoleküle. Und wir heizen mit dieser Mikrowellenheizung zum einen die Ionen oder mit der sogenannten Elektronen-Zyklotron-Heizung die Elektronen. Praktisch können wir mit diesen Frequenzen dann ganz genau chirurgisch lokal das Plasma an der Stelle heizen, wo wir es heizen wollen. Wir wollen es ja im Zentrum heiß kriegen, wo es keinen Wandkontakt hat, und außen kalt halten.

**ATMO:** Geräusche

**Autor:**

Ein Fusionsreaktor, der Energie liefern soll wird nicht mit normalem Wasserstoff betrieben, sondern mit zwei besonderen Sorten dieses Elements, nämlich mit den Wasserstoff-Isotopen Deuterium und Tritium. Deuterium lässt sich aus Wasser gewinnen. In jedem Liter sind etwa 18 mg davon enthalten und Tritium wird später einmal in den Fusionsreaktoren direkt erzeugt, erbrütet in speziellen Bauteilen in der Wand des Plasmagefäßes Von dort wird es zunächst gewonnen und dann von außen wieder gezielt ins Plasma-Innere geschossen in Form sogenannter Pellets.

### **O-Ton 8 - Mark Maraschek (Asdex-Halle):**

Sie schießen dort tiefgefrorene Pellets ein. Also die sind Millimeter mal Millimeter mal Millimeter etwa und diese kleinen Wasserstoff-Kügelchen die werden auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt und werden ins Plasma als neutrales massives Objekt eingeschossen. Und auf diese Weise werden Teilchen nachgefüttert. Es ist also keine Heizung, sondern eine Teilchen-Nachfütterung. Das ist letztendlich der Trick, mit dem man in Zukunft bei einem Fusions-Reaktor das Tritium in das Plasmazentrum rein bekommen will. Das mit der Pellet-Injektion, das geschieht hier an der Stelle. Sie haben hier außerhalb des Experiments eine Zentrifuge stehen, in der diese Wasserstoff-Kügelchen erzeugt werden. Und die werden dann - zunächst überraschend - vom Experiment weggeschossen und dann in diesem großen Looping, der hier bis zur Decke geht, auf die innere Seite des Plasmas geschickt. Und werden dann praktisch von der Innenseite her in das Plasma rein geschossen. Das ist eine der - sage ich mal - großen Errungenschaften die bei uns in den letzten zehn Jahren entwickelt worden ist, dieser sogenannte Hochfeldseiteneinschuss, dass ich praktisch vom Inneren in das Plasma einschiesse und damit eine viel effizientere dichte Nachfüllung bekommen kann. Was sie dahinter sehen, ist jetzt die zweite sogenannte Neutralinjektionsbox. Wir haben insgesamt zwei solche Boxen, mit denen das eigentliche Plasma geheizt wird, mit Neutralteilchenstrahlung. Und sie haben hier noch mal einen zweiten Mikrowellenleiter für die Ionen-Zyklotron-Heizung. Das sind insgesamt zwei Neutralteilcheninjektoren und zwei Mikrowellenheizungen für die Ionen und zwei Mikrowellenheizungen für die Elektronen, die wir haben. Das sind die Arbeitstiere, mit denen wir im Plasma von typischerweise 50 Millionen Grad hier erzeugen können.

### **Autor:**

Soweit dieser kleine Rundgang um den großen Asdex upgrade am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching. Wie gesagt: Knapp 20 Jahre ist er nun in Betrieb und er hat die Fusionsforschung wesentlich vorangebracht. Prof. Hartmut Zohm nennt einige Meilensteine.

### **O-Ton 9 - Hartmut Zohm:**

Also ein Meilenstein war sicher, dass wir Betriebsweisen gefunden haben, wo die Wärmeisolation deutlich verbessert ist, und zwar nicht nur so graduell, sondern sprunghaft. So was gab's schon vor dem Asdex upgrade. Am Vorgänger Asdex wurde das entdeckt. Und wir haben das noch mal verbessern können am Asdex upgrade und wenn sich das übertragen lassen würde auf ITER z. B. als Betriebsweise, könnte man damit die Fusionsleistung glatt verdoppeln. Ein anderer Meilenstein ist, dass wir unser Wandmaterial vollständig umgestellt haben. Alle Fusionsmaschinen weltweit benutzen normalerweise Kohlenstoff als Wandmaterial. Hat sich aber gezeigt, dass das in einem Reaktor nicht verträglich ist, weil da die Erosion, also der Abtrag von den Wänden zu groß wäre und deshalb musste man zu Metallen, metallischen Wandmaterialien gehen. Und Wolfram ist da der beste Kandidat. Und das haben wir zum ersten Mal eingebaut und festgestellt, dass man damit tatsächlich auch das Plasma betreiben kann, was vorher überhaupt nicht klar gewesen ist.

### **Autor:**

Asdex upgrade ist wie gesagt ein sogenannter Tokamak. Geometrisch relativ einfach, seine Magnetspulen, die den Käfig für das Plasma erzeugen, haben jeweils die Form

des Großbuchstaben D und sind so im Kreis angeordnet, das ein Ring entsteht wie ein Autoreifen. Der zweite Typ Fusionsreaktor heißt Stellarator. Seine Magnetspulen sind sehr kompliziert geformt und sehen aus, als hätte sie ein Riese im Zorn wild verbogen. Das macht die Herstellung aufwändig und teuer. Aber der Vorteil ist, beim Stellarator reicht das Magnetfeld dieser Spulen alleine aus, um das Plasma einzuschließen. Im Plasma selbst muss kein Strom fließen wie beim Tokamak und deshalb kann man diese Maschine kontinuierlich betreiben. Für ein Kraftwerk ein Riesenvorteil. Am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik hat man deshalb auch diesen Typ schon sehr früh erforscht und entwickelt. Und derzeit wird in der Außenstelle Greifswald, rund 900 km nördlich von München, auch ein fortgeschrittener großer Stellarator gebaut, mit dem treffenden Namen Wendelstein und dem Zusatz 7X. Dr. Lutz Wegener ist für die Montage dieser gigantischen Maschine verantwortlich, die in mehreren Hallen vormontiert und dann in der späteren Experimentierhalle vollends zusammen gesetzt wird.

### **O-Ton 10 - Lutz Wegener:**

Die Basismaschine hat einen Durchmesser von 15 Metern. Sie ist in einer Halle von 30 mal 30 Metern Grundfläche aufgebaut und wiegt insgesamt etwa 700 Tonnen. Und wo wir hier stehen, das ist die Vormontage in der jetzt die ersten einzelnen Bauteile zu sogenannten Halbmodulen und Modulen vormontiert werden. Ein Halbmodul ist ein Zehntel der gesamten Maschine. Und wie sie sehen können, von links nach rechts gibt es dort zwei sogenannte Montagegestände, in denen zwei Halbmodule jeweils aufgebaut werden. Und ein Halbmodul umfasst sieben Spulen. Eine Spule wiegt sechs Tonnen, drei Meter im Durchmesser. Ist aber kein rundes, sondern ein dreidimensional gekrümmtes Bauteil, das - wie sie sehen können - über ein inneres Stahlgefäß, das sogenannte Plasmagefäß, gefädelt wird; in einer Schraub-Kipp-Bewegung. Das können sie hier gerade sehr schön sehen, dieses gelbe Werkzeug, das im Kran hängt, es ist computergesteuert und mit dem kann man um alle drei Achsen dieses Bauteil bewegen und somit in einer Schraubenbewegung jede einzelne Spule individuell über das Plasmagefäß geben. Bis letztlich sieben Spulen über so ein Plasmagefäß-Halbmodul gefügt sind und dann ist sozusagen der Fädelvorgang abgeschlossen. Anschließend fährt man eine massive Stahlstruktur, eine Art inneren Ring, vor diesen Spulensatz und verschraubt die Spulen damit. Und von da ab hat man ein mechanisch, sozusagen eigenstabiles Gebilde und im Inneren sitzt schon ein Halbmodul, also ein Zehntel des späteren Plasmagefäßes, in dem die eigentlichen Experimente laufen werden.

**ATMO:** Geräusche

### **O-Ton 11 - Lutz Wegener:**

So, da sind wir also in der Experimenthalle. Wie sie sehen, zwei Module stehen hier bereits und werden weiter komplettiert. Zu erkennen ist jeweils der Spulensatz, das innenhängende Plasmagefäß oder Plasmagefäßteil und der wesentliche Umfang der Arbeiten hier ist, die elektrischen Verbindungen zwischen den Spulen herzustellen. Die gesamte Heliumverrohrung in der Anlage unterzubringen, die dem aktiven Kühlen der Spulen und der gesamten kalten Masse später dient. Und wenn sie sich das Vorstellen, diese Kabel und Rohre das ist natürlich durchaus ein Spaghettigewirr, in dem der einzelne Monteur, der einzelne verantwortliche Ingenieur schon sehr genau aufpassen muss, dass er nach den Arbeitsvorschriften noch alle Teile an die richtige Stelle und richtig positioniert bekommt.

**ATMO:** Geräusche

**O-Ton 12 - Lutz Wegener:**

Jetzt - kaum noch erkennbar - ist im Zentrum der Halle ein zentrales Maschinenfundament, das trägt die gesamte Maschine. Und sie können sich vorstellen, dass die einzelnen Module, die jetzt mehr oder weniger im Raum verteilt stehen, einfach um Platz zu haben für die Komplettierungsarbeiten, dass die dann auf dieses Maschinenfundament gesetzt und miteinander ausgerichtet werden. Und dann anschließend an den Verbindungsstellen untereinander verbunden werden und außerdem wird in dieser Endmontagephase auch die Verbindung des Außengefäßes zum Innengefäß hergestellt, durch sogenannte Stutzen. So dass man also jederzeit von der Außenwelt Zugang in den inneren eigentlichen Experimentraum der Maschine bekommt.

**Autor:**

Wenn alles klappt wie geplant, wird Wendelstein 7X im Jahr 2014 fertig montiert sein. Danach wird es etwa ein Jahr dauern, bis alle Systeme dieser hochkomplexen Anlage durchgetestet sind und der eigentliche Experimentierbetrieb beginnen kann.

Dann steht in Greifswald die wohl leistungsfähigste Fusionsmaschine vom Stellarator-Typ. Prof. Robert Wolf, der Wissenschaftliche Leiter am Greifswalder Ableger des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik:

**O-Ton 13 - Robert Wolf:**

Wendelstein ist eine supraleitende Anlage. Eben genau der Tatsache geschuldet, dass man gesagt hat, als dieses Projekt beschlossen worden ist: Also, wenn wir nachweisen wollen, dass das Stellarator-Konzept im Prinzip für einen Fusionsreaktor taugt, dann müssen wir das zeigen, jenseits weniger Sekunden, sondern wirklich im Minutenbereich. So ist Wendelstein von seinem Magnetfeld her ausgelegt, dass wir im Prinzip kontinuierlich, wir könnten wochenlang das Magnetfeld anlassen, wenn wir wollen, kontinuierlich betreiben können. Was den Plasma-Betrieb angeht, sind wir, so wie die Anlage ausgelegt ist, auf 30 Minuten begrenzt.

**Autor:**

Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching ist die Wiege der Fusionsforschung in Deutschland. Fusionsforschung wird hierzulande aber auch noch am Forschungszentrum in Jülich betrieben und am Forschungszentrum in Karlsruhe. In Karlsruhe zum Beispiel steht eine gigantische Testanlage für Magnetspulen, in der auch der Prototyp der ITER-Spulen getestet worden ist.

Geleitet wird dieser Teil des Instituts für Technische Physik von Dr. Walter Fietz, der mich durch diese Anlage geführt hat.

**O-Ton 14 - Walter Fietz (TOSKA):**

Also wir befinden uns jetzt in der Toska-Anlage. Das ist eine ToroidalSpulen Testanlage Karlsruhe. Die wurde in den 80er Jahren gebaut, um große Magnete testen zu können und sie stehen jetzt drinne und man merkt schon, ja, es ist eine riesige Halle. Hier stehen wir jetzt am Rande der Magnetgrube. Das ist ein großer Kessel. Ich vergleiche es

immer damit: Das ist eine Thermoskanne. Sie daheim versuchen mit der Thermoskanne den Kaffee warm zu halten. Wir versuchen hier, das was drin ist, kalt zu halten. Wir füllen dort dann flüssiges Helium ein. Helium, wenn man es abkühlt wird er irgendwann flüssig und das ist ungefähr bei minus 270 Grad. Und diese Kälte im Prinzip wird dann durch Kühlrippen an den Magneten durchgeführt und durch den eigentlichen Supraleiter auch, so dass der Magnet selber bei tiefen Temperaturen ist und deswegen den Strom ohne Widerstand leitet. Und das ist der große Vorteil. Wir haben keine Verluste. Das heißt, das Magnetsystem kann sehr, sehr billig und effizient betrieben werden. Die Thermoskanne ist relativ groß: Mehr als zehn Meter in der Tiefe, mit einem schönen freien Durchmesser der 4,30 Meter oder so etwas Radius hier hat. Es ist ein richtig großer Topf, in den wir die großen Magnete entsprechend reinstellen können. Sie sehen oben, dass wir zwei Kräne haben, einmal einen 50 Tonnen Kran und einen 80 Tonnen Kran. Und wenn man die beiden zusammenkoppelt sozusagen, dann können wir 130 Tonnen tragen, aber da muss noch eine Traverse eingebaut werden, so dass man 110 Tonnen ungefähr gut bewegen kann. Und das war auch ungefähr das Gewicht, das wir hatten bei den zwei Spulen die draußen stehen. Im Hintergrund sehen sie jede Menge Kryo-Infrastruktur. Kryotechnik heißt: Wie gehe ich mit kalten Sachen um? Das heißt, hier muss Vakuumtechnik und Kryotechnik dann ineinander greifen. Das heißt, da sind sehr viele Verrohrungen und dergleichen, wo dieses kalte Helium bei minus 270 Grad eben angeliefert wird. Im Nachbargebäude, da ist ein Verflüssiger, dort wird es kalt gemacht. Das man erst einmal dieses flüssige kalte Helium hat. Es wird hier angeliefert und in dem Kryostat da drüben, das ist eine kleinere Version des Kryostaten. Da drin sind Pumpen, die das Helium dann umpumpen und wirklich nach da unten in den riesigen Kryostaten schaffen, so dass es dann dort entsprechend genutzt werden kann.

**Autor:**

Für stromliefernde Fusionsreaktoren verwendet man als Brennstoff wie gesagt keinen normalen Wasserstoff, sondern die beiden Wasserstoff-Isotope Deuterium und Tritium.

Tritium ist radioaktiv und wird auch in Wasserstoffbomben verwendet.

Deshalb ist der Umgang damit beschränkt. Aber in Karlsruhe gibt es ein Tritiumlabor der Extraklasse, das weltweit einmalig ist, und geleitet wird von Dr. Lothar Dörr:

**O-Ton 15 - Autor und Lothar Dörr:**

**Autor:** Wir müssen jetzt hier natürlich durch eine Schleuse hindurch.

**Dörr:** Ja. Die Schleuse ist da, weil wir im Labor mit radioaktivem Material umgehen. Und wir müssen auch natürlich sicher stellen, dass dieses Material nicht entwendet wird und daher haben wir eine Schleuse, die mehr oder minder funktioniert als eine verschlossene Tür. Und nur Personen, die eine Berechtigung haben, erhalten dann auch Zutritt zum Tritiumlabor.

**Dörr:** Stecken Sie grad den Ausweis rein. (ATMO: Geräusche)

**Autor:** Wieder mitnehmen?

**Dörr:** Ja. Richtig auf den grünen Punkt. (ATMO: Geräusche)

**Dörr:** So, hier fängt jetzt unser Strahlenschutzbereich an. Wir können jetzt in unser Labor eintreten, ohne dass wir besondere Schutzkleidung tragen. Das liegt daran, dass unsere Verkehrsflächen so sauber gehalten werden, wie auch außerhalb. (ATMO: Tür öffnen und schließen) So, hier befinden wir uns jetzt in der großen Experimentierhalle

und sie sehen hier typische Handschuhkästen, indem dann Versuchsapparaturen aufgebaut sind. Wir haben etwa zehn Handschuhkästensysteme und in jedem Handschuhkastensystem befindet sich ein spezieller Versuchsaufbau zum Experimentieren. Das Tritiumlager ist weiter hinten angeordnet. Vielleicht können wir da mal vorbeigehen? Und von diesem Tritiumlager gibt es dann über eine Entfernung von bis zu 30 Metern Doppelrohrleitungen, in denen das Tritium dann zu den Versuchsapparaturen transferiert wird. Und anschließend nach Gebrauch auch entsprechend über solche Leitungen wieder zurück transferiert wird. Wir handhaben hier in der Regel gasförmiges Tritium. Und hier stehen wir jetzt vor dem Lager. Wir haben zehn Lagebetten, denn das Tritium wird in der Regel nicht gasförmig gelagert, sondern gebunden an ein Metall. Die Lagerung als Gas hätte immer die Gefahr, dass durch eine Leckage was nach außen kommt. Bei diesen Metallgitterbetten haben wir einen sehr niedrigen Partialdruck, so dass wir selbst, wenn wir ein Ventil öffnen, kein entweichen von Tritium haben. Diese große gelbe Einheit ist unser zentrales Tritium-Rückhaltesystem. Bevor wir irgendein Gas nach außen in die Umgebung abgeben, wird es in diesem System prozessiert, um alles Tritium zurückzuhalten, so dass über den Kamin keine Tritiumabgabe erfolgt.

**Autor:**

Soweit dieser kurze Rundgang durch das weltweit einzigartige Tritiumlabor am Forschungszentrum in Karlsruhe. Deutschland hat in der Vergangenheit ohne Frage wesentlich dazu beigetragen, dass die kontrollierte Kernfusion gut vorangekommen ist. Weit besser jedenfalls, als es öffentlich wahrgenommen wird. Eines der Hauptprobleme ist wie gesagt der Einschluss des Plasmas. Die Physiker sprechen vom Fusionsprodukt oder von Wärmeisolation. Und die entscheidenden Größen dafür sind die Temperatur und die Dichte des Plasmas. Nimmt man das zum Maßstab verläuft die Erfolgskurve der Fusionsforscher seit den 1970er Jahren fast parallel zu den Fortschritten bei den Prozessoren für Computer. Die Zahl der Transistoren, die man auf einem Chip unterbringen kann, hat sich seit 1970 etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Die Wärmeisolation sogar alle 1,8 Jahre.

Und was ist mit ITER?

In Cadarache in Südfrankreich haben die Bauarbeiten zwar mittlerweile begonnen. Aber viel ist dort noch nicht zu sehen, meint Dr. Norbert Holtkamp, der für den gesamten Aufbau dieses riesen Experiments verantwortlich ist.

**O-Ton 16 - Norbert Holtkamp:**

Diese Baustelle hier ist im Moment eine riesengroße Fläche auf die ich runtergucke; das sind ungefähr 20 Hektar. Die also jetzt fertig da stehen und darauf warten, dass jetzt die Ausgrabungen losgehen. Und man sieht eben, dass eine Menge hier Boden, eine Menge Erde sich bewegt hat. Ungefähr 2,5 Millionen Kubikmeter Erde die also hier weggeschafft worden sind, um diese Plattform zu erschaffen, auf der dann ITER gebaut wird.

**Autor:**

Der Zeitplan sieht vor, dass im Jahr 2018 in ITER das erste Plasma zündet. Und Dr. Norbert Holtkamp gibt sich vorsichtig optimistisch, dass das klappen könnte. Die Kosten

indes drohen jetzt schon aus dem Ruder zu laufen. Ursprünglich war ITER auf gut 5 Mrd. Euro kalkuliert, es könnten aber auch leicht 10 Milliarden werden. Allerdings ist das bei solchen Projekten schon fast normal und liegt auch daran, dass Wirtschaftlichkeit bei ITER nicht im Vordergrund steht. Für die beteiligten Partner, die Europäische Union, die Schweiz, USA, Japan, Russland, China, Südkorea und Indien steht ein anderer Aspekt im Vordergrund:

**O-Ton 17 - Norbert Holtkamp:**

Ein Auto ist ein gutes Beispiel. Normalerweise, wenn man also ein Auto großtechnisch bauen würde, dann würde man den Motor, was weiß ich, in Deutschland kaufen und die Reifen in Korea und das Chassis in Indien. Das ist aber nicht das Ziel bei ITER. Im Falle von ITER baut jedes Land einen Zylinder, jedes Land einen Reifen und jedes Land ein Stück vom Chassis. Mit dem Ziel im Auge, dass man am Ende eben die Technologie im Lande hat, um ein gesamtes Auto zu bauen. So ist ITER auch aufgeteilt, ein bisschen. Viele bauen ein Teil von der Vakuumkammer, jeder ist auf die eine oder andere Art und Weise an den Magneten beteiligt, viele sind beteiligt an den Heizsystemen und damit sind eben auch die zentralen technischen Komponenten und deren Technologie dann im Land vorhanden, wenn die ihren Beitrag abgeliefert haben.

**Autor:**

Aller Unwägbarkeiten zum Trotz wagt Prof. Hartmut Zohm vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik zum Schluss eine Prognose:

**O-Ton 18 - Hartmut Zohm:**

Bei ITER ist es so. Wir sind relativ sicher und auch sehr zuversichtlich, dass wenn ITER fertiggestellt wird und so funktioniert, wie wir im Augenblick das vorhersehen, dass man damit die prinzipielle Machbarkeit der Fusion zeigen kann. Und das sollte irgendwann Mitte der 2020er Jahre, also vielleicht 2025 sein. Dass man tatsächlich zeigen kann, dass man nennenswert Fusionsenergie vielmehr gewinnt, als man rein gesteckt hat an Heizenergie. Und der nächste Schritt wird aber bestimmt 20 bis 30 Jahre dauern bis man dann ein funktionierendes Kraftwerk hat.

**Autor:**

Und da ist sie also wieder, die viel verspottete Fusionskonstante 50. Noch 50 Jahre - mindestens...

\*\*\*\*\*