

**9. Feb. 11.34.51**

# **RES021\_Fusionsforscherin\_Ursel\_Fantz**

Ich bin Holger Klein.

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Resonator.

Ich bin am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und treffe Professor Ursel Fantz.

Die ist Leiterin des Bereichs ITER Technologie und Diagnostik.

ITER ist unser Fusionsreaktor, ne?

Ja, der gerade gebaut hat.

Wenn wir Kerne spalten wollen, beschließen wir Atomkerne mit Neutronen und dann fliegen die auseinander.

Ja.

Was machen wir, wenn wir Kerne, was ist denn das Gegenteil von Spalten, verschmelzen?

Ja, das ist verschmelzen.

Was machen wir denn da?

Da wollen sie die Kerne zusammenbringen und zusammenbringen ist immer schwierig, weil Kerne haben gleiche Ladungen und die stoßen sich erstmal ab. wollen also erstmal nicht zusammen.

Und das ist das Problem dabei.

Also sie haben gleiche positive Ladung von den Kernen und die wollen sie zusammenbringen.

Das heißt, die stoßen sich ab.

Und die dichter sie aneinander kommen.

Und sie müssen was machen, damit die halt diese Barriere, die sie spüren, dass sie da durchkommen.

Und dazu brauchen sie Energie.

Das können sie machen, wenn sie die Kerne heiß machen mit viel Temperatur.

Im Plasma machen sie das heiß und dann kommen die sich aufgrund ihrer hohen Energie näher.

Die tunnen noch ein bisschen durch die Coulombbarriere durch.

Also ganz magisch so ein bisschen.

Und dann brauchen sie weniger Energie, als die Barriere eigentlich ist.

Und dann können die verschmelzen.

Also wenn ich die jetzt zusammenschieben wollte, als würde ich zwei Güterwaggons zusammenschieben, müsste ich, wenn es nicht heiß genug ist, viel Energie in den Schub sozusagen.

Ja, genau.

Sie müssen sich vorstellen, sie nehmen die Güterwaggons, schieben die zusammen und je näher die kommen, desto schwieriger wird es.

Irgendwann geht ihre Kraft aus, dann holen sie sich Verstärkung und dann schieben sie stärker.

Und je näher sie kommen, desto mehr Kraft oder Stärke oder Energie brauchen sie.

Und wenn ich die anzünde, geht es einfacher auf gut Deutsch?

Ja, dann schmelzen sie auch, da haben sie recht.

Schmelzen sie zusammen.

Wissen wir, warum es einfacher ist, wenn wir das erhitzen?

Also wir erhöhen die Umgebungstemperatur um diese Kerne drumherum oder erhöhen wir die Temperatur der Kerne selber?

Wir erhöhen die Temperatur der Teilchen.

Die Teilchen bewegen sich, wenn sie in der Luft schauen.

Also sie sehen die Teilchen ja nicht in der Luft.

Da haben sie ja auch die Atome und die bewegen sich auch.

Und denen ordnet man eine Temperatur zu und das ist unsere Raumtemperatur.

Im Moment haben wir hier vielleicht 23 Grad.

Und das ist die Temperatur dann der Teilchen.

Sie sagten eben, sie machen das in Plasma.

Was ist eigentlich Plasma?

Ja, in Plasma sehen sie mehr, als sie eigentlich denken.

Sie wissen nur nicht, dass es ein Plasma ist.

Also wenn sie rausgucken und die Sonne sehen, heute ist ein schöner Tag, gucken die Sonne an und sagen, oh, ein Plasma.

Das sagen sie aber nicht.

Sie sagen, oh, ist doch schön, die Sonne.

Sondern sie sagen, ja.

Ich glaube ja auch, die ginge unter.

Ja, aber das Plasma brennt trotzdem weiter in der Sonne, auch nachts.

Das sagen sie.

Auch wenn wir es nicht sehen.

Aber was ist Plasma?

Also woraus besteht Plasma?

Ja, sie machen auch wieder das Gas.

Sie nehmen die Luft, führen dem mehr Energie zu, machen es heißer.

Und irgendwann wird daraus ein Plasma.

Also letztendlich die Atome, die sie haben, haben sie immer einen Kern und Elektronen drumherum.

Und jetzt führen sie dem so viel Energie zu, dass das Elektron sich löst von dem Atom, also rausgeht.

Dann haben sie geladene Teilchen.

Haben sie den Kern und das Elektron extra.

Dann haben sie zwei Teilchen, die sich frei bewegen können.

Und im Plasma sind die Teilchen frei beweglich.

Das heißt, sie sind ionisiert.

Was machen sie dann mit den Teilchen im Plasma?

Also sie müssen sie ja nicht einfach nur heiß machen und dann verbinden sich da schon die Atomkerne und alle sind glücklich.

Sie müssen da ja wahrscheinlich noch mehr Aufwand treiben.

Ja, ich meine, Plasmen haben sie ja auch zum Beispiel in der Lampe drin.

Und da haben sie auch keine Fusion.

Also wenn Sie die normale Leuchtstoffröhre anschauen, da sehen Sie auch täglich ein Plasma.

Machen Lichtschalter an, haben eine Energiesparlampe, ist da auch ein Plasma drin letztendlich.

Und da ist halt auch keine Fusion.

Und es ist trotzdem heißer als ein Gas.

Also da haben sie auch genau die geladene Teilchen drin.

Nicht alle sind ionisiert, hat auch noch einige Neutrale da drin.

Aber nichtsdestotrotz findet die Fusion nicht statt.

Muss noch heißer werden.

Und das ist eben eine bestimmte Temperatur, damit die sich nahe genug kommen.

Damit sie sich auch nahe genug kommen, müssen sie die irgendwie zusammenbringen und auch einschließen.

Sonst fliegen die ja weg.

Ich meine, so eine Lampe hat ja auch eine Wand.

Sonst sind die Teilchen weg.

Und wenn Sie jetzt die Temperatur noch höher machen, dann müssen Sie nicht nur gucken, dass Sie die Wand hinsetzen, weil die Wand wird Ihnen ziemlich schnell heiß und schmilzt Ihnen dann auch weg.

Sondern Sie müssen ja gucken, dass Sie das irgendwie einschließen.

Also Sie wollen ja nicht die Energie zum Heizen dadurch verwenden, dass Sie die Teilchen wieder an die Wand abgeben, sondern die sollen selber heiß werden.

Ja.

Also die Energie muss wieder nach innen.

Ja, die Energie muss nicht nach innen, die muss innen bleiben.

Wenn ich die Lampenmetapher, oder das ist ja nicht meine Metapher, aber wenn ich die Lampe einschalte, sollte die halt möglichst nicht leuchten, sondern das, was leuchtet, soll gefälligst wieder nach innen in die Lampe.

Na, das, was leuchtet, kann ich nach innen in die Lampe.

Das sind jetzt Photonen, das sind jetzt dann nicht geladene Teile.

Also da gehen wir mal auf ein anderes.

Ganz dünnes Eis.

Kein dünnes Eis ist aber jetzt schwierig, mit der Huse ohne den Zusammenhang zu bringen.

Okay.

Nein, aber letztendlich ist ja die Frage, wie bringen Sie die Teilchen zusammen?

Wie schließen Sie die ein?

Jetzt können Sie natürlich erstmal sagen, wie macht denn das die Sonne?

Ich meine, die Teilchen fliegen ja in der Sonne auch nicht auseinander.

Ich meine, sie fliegen raus, aber im Wesentlichen... Wie machen die das?

Also mit Gravitation?

Ja, die sind schwer genug.

Entschuldigung, das ist nicht Dreckheitseinschluss.

Das ist einfach die Schwere der Sonne.

Ja, dass die Teilchen zusammenbleiben.

Also es sind halt so viele Teilchen... Es sind halt so viele Teilchen, dass aufgrund ihres Gravitationseinschlusses bleibt die Sonne zusammen.

Ja.

Ja, jetzt können wir aber so eine große Masse hier auf der Erde nicht machen.

Ich meine, die Sonne ist schon mal wesentlich größer als die Erde und das hier auf die Erde machen zu wollen, ist ja dann schon ganz schwierig.

Ist die Sonne schwerer als die Erde?

Die ist nicht nur schwer, die ist auch größer.

Ja, größer, gut, da könnte man ja noch mit leben.

Dann könnte man ja sagen, okay, dann machen wir halt... Dann bauen wir halt eine Sonne und dann müssen wir die Energie herholen.

Das ist doch letztlich aber doch auch... Dann machen wir eine Pipeline.

Ja, genau.

Ja, genau, zur Sonne.

Ja, dann gehen wir zu Limits und dann nehmen wir den Aufzug.



Statt dass wir zum Mond fahren, fahren wir dann zur Sonne.

Das wird ja wohl irgendwie möglich sein.

Die Wissenschaft kann doch alles.

Ja.

Schon.

Und wie halten Sie die Temperaturen der Sonne aus?

Das ist eine gute Frage.

Da muss mehr Forschung betrieben sein.

Ja.

Das ist gut.

Also das verschieben wir dann... Also das geht nicht.

Wir können nichts von der Sonne hier runterholen.

Aber sie bauen doch... Ja, wir nutzen doch die Sonne.

Ich meine, sie nutzen in den Solarzellen die Sonnenenergie und wir nutzen die zum Aufwärmen.

Wir nutzen die für verschiedene Effekte.

Aber wir zapfen sie nicht jetzt direkt an den Fusionsprozess der Sonne.

Also wir müssen die Teilchen zusammenhalten.

Und was wir hier beim magnetischen Einschluss machen, das ist das, was wir hier am Max-Planck-Institut machen, der magnetische Einschluss ist.

Sie haben geladene Teilchen und eine Ladung können Sie immer mit dem Magnetfeld beeinflussen.

Mit dem elektrischen Feld und magnetischen Feld.

Elektrisches Feld, da können Sie die Teilchen beschleunigen und die gehen in die Richtung, wie Sie das elektrische Feld anlegen.

Wenn Sie ein Magnetfeld haben, dann stellen Sie sich eine Magnetfeldlinie vor wie ein Seil und dann fangen die Teilchen an, da erstmal dort rum zu kreisen aufgrund der Lorentzkraft, die Sie fühlen.

Geladenes Teilchen, Magnetfeld, kennt man aus der Schule.

Ja, wunderbar.

Dann sagen Sie mir, okay, jetzt habe ich die Teilchen an eine Magnetfeldlinie gebunden.

Irgendwo hört die auf.

Wenn ich die Ihnen entgegenstrecke, die Feldlinie, dann sagen Sie, okay, aber bei mir landen die dann und was machen die dann?

Achso, das heißt, Sie können mit diesem Magnetfeld, okay.

Kann ich die Teilchen einfach auf diese Bahn in meine Richtung beschleunigen?

In eine Richtung, wie ich das mache.

Nee, beschleunigen nicht.

Ich kann die nur auf die Bahn zwingen.

Lassen die die Bahn dann wieder?

Ja, wenn das Magnetfeld aufhört, dann spüren Sie diese Lorenzkraft nicht mehr.

Dann sind Sie nicht mehr dran gebunden.

Das heißt, es wäre aber nicht möglich, wenn das Magnetfeld an Ihrem Ende des Tisches aufhören würde, dass die Teilchen dann noch an meinem Ende des Tisches ankommen?

Nö.

Nicht?

Was machen die denn dann am Ende des Magnetfelds?

Die laufen wieder in alle Richtungen.

Achso, die werden zerstoßen.

Zerstoßen jetzt nicht, aber ich meine, die sind halt nicht mehr an diese Bahn gebunden.

Also jetzt nehmen Sie das Magnetfeld, binden die Teilchen daran und dann haben Sie irgendwann haben Sie dann eine lineare Maschine und dann sind die Enden da.

Und dann denken Sie sich, ja, ist ja blöd für die Teilchen.

Kriege ich es ja wieder nicht zusammen.

Weil Sie zwingen die auf diese Bahn.

Jetzt das Einfachste, was man machen kann, ist, ich lasse sie im Kreis laufen.

Ich mache einen Fahrradschlauch, mache einen Autoreifen, einen Donut.

Stellen Sie sich einen Donut vor, ist immer lecker.

Und dann laufen die Teilchen in der Feldlinie in diesem Donut hier immer entlängst.

Dann finden Sie kein Anfang und kein Ende.

Und dann haben Sie die schon mal eingesperrt.

Das sind diese Teilchenbeschleuniger mit den großen Magneten, die da drum herum gebaut sind.

Zum Beispiel auch.

Da fängt man ja auch Teilchen ein, genau.

Und speichert sie da in den Speicherringen und so weiter.

Die haben nur andere, die machen das mehr so in Paketen und machen weniger Teilchen, größere Energien.

Wir haben jetzt so ein globales, ja ein Plasma halt eben.

Das kann man ja auch nicht anders sagen.

Dieser Fusionsreaktor, der da in Frankreich gebaut wird, der ITER, der hat aber

doch jetzt nicht so einen Ring, oder?

Der ist doch nicht so ein Donut.

Doch.

Ach tatsächlich.

Also es ist ein bisschen verbogen, der Donut.

Ich meine, Sie nehmen den Donut, der ist so ein bisschen noch rund.

Und jetzt ziehen Sie nochmal so oben unten ein bisschen, dass er wie eine statt einem Kreis im Querschnitt ein D bekommt.

Verstehe.

Und das macht man aus verschiedenen Gründen.

Geht ein bisschen ins Detail, aber Sie müssen die Teilchen ja auch mal da rausbekommen.

Sie verbrauchen ja Teilchen, wenn Sie was verbrennen.

Wir können ja auch statt Schmelzen verbrennen sagen.

Dann bleibt ja irgendwie was übrig, wie Asche.

Die muss ja raus.

Ich meine, sonst ersticken sie ja die Flamme.

Dann können wir das auch als Bild nehmen.

Und dann machen Sie wieder eine spezielle Magnetfeldkonfiguration und sagen, du Teilchen, wenn du außen bist, dann lauf aber nicht direkt an die Wand, sondern folge einer anderen Feldlinie.

Und da pumpe ich dich dann ab und lasse dich speziell auf Prallplatten knallen und versuche da die Wärmeabfuhr und die Teilchenabfuhr zu machen.

Und deswegen macht man so ein D und dann macht man die Magnetfeldlinien da.

Um das zu kontrollieren.

Aber letztendlich ist die Grundidee immer noch der Donut.

Wir sagen Taurus dazu.

Das heißt, Sie bauen nicht die Sonne nach.

Das ist so das Bild, was man im Kopf hat.

Wenn es heißt, die versuchen da die Sonne nachzubauen, dann denkt man so, ah, die fangen einen Kugelblitz in einem großen, weiß ich nicht was, Gebäude oder sowas.

Jetzt muss ich gleich mehrere Dinge widersprechen.

Kugelblitz hat erstmal nichts mit der Sonne zu tun.

Das ist klar.

Aber das ist das Bild, was man so im Kopf hat.

So eine kleine Sonne halt, die da so erzeugt wird.

Das ist nicht, was passiert.

Ich meine, der Grundlage, der physikalische Prozess ist absoluter.

Ist nicht absoluter gleich.

Der Grundlage, der physikalische Prozess ist der gleiche.

Sie verschmelzen Atomkerne.

Die Sonne nimmt Wasserstoffteilchen, Protonen.

Reine Protonen, die hat sehr viele Protonen.

Verschmilzt die.

Macht aber jetzt nicht.

Hier ist ein Proton und da ist ein Proton.

Die kommen zusammen.

Und dann habe ich gleich die gesamte Fusionskette von der Sonne.

Sondern dann macht es noch einen Beta-Zerfall.

Also es ist ein mehrstufiger Prozess.

Teilchen formen sich um.

Und am Schluss sagen Sie, wenn Sie die Kette anschauen, hintereinander, Sie haben vier Protonen, die Sie umwandeln zu einem Helium und einem Neutron.

Und Energie.

Letztendlich müssen Sie sich vorstellen, die vier Protonen zusammen, die stellen Sie auf eine Waage.

Und die sind schwerer als nachher das Heliumteilchen.

Der Heliumkern.

So.

Und jetzt haben wir gelernt nach Einstein, Masse ist Energie.

Und das wird die Energie, die frei ist.

Also die Sonne macht letztendlich aus den vier Protonen das Heliumteilchen.

Jetzt wollen Sie sich fragen, wieso machen wir nicht aus vier Protonen?

Ist doch viel schöner.

Sie haben ja gehört, sicherlich, dass wir Deuterium und Tritium nehmen wollen beim ITER.

Ich weiß nicht mal, was Deuterium und Tritium sind.

Ja, das ist das Wasserstoffteilchen, das ein bisschen schwerer ist.

Dem setzen Sie noch einen Neutron zu.

Und dann ist es schwerer.

Wie mache ich das eigentlich, dass das noch einen Neutron kriegt?

Ja, das ist natürliches Vorkommen.



Das hat es.

Wasser im normalen Wasser sind auch Deuteriumteilchen drin.

Ach so.

Ja, zu 0,015 Prozent haben Sie im Wasser auch Deuterium drin.

Und die können Sie da irgendwie rausfiltrieren.

Ja, natürlich, das können Sie da rausgewinnen.

Das ist nicht Magic.

Für mich ist das Magic.

Also haben wir schon mal unsere Quelle fürs Deuterium.

Wirkliches Wasser, mehr Wasser, auch da können Sie Deuterium hergewinnen.

Das heißt, Sie benutzen das als Brennstoff?

Ja, als Brennstoff.

Weil es halt da ist.

Ja, mein Wasserstoff ist auch da, könnten wir genauso nehmen.

Aber ich deutete vorher schon an, wenn ich die Protonen verschmelzen möchte, habe ich einen Beta-Zerfall.

Einen Beta-Zerfall heißt, wir Physiker sagen dazu, ist eine schwache Wechselwirkung.

Die Wahrscheinlichkeit, also die Kraft ist gering, die Wahrscheinlichkeit, dass das stattfindet, ist gering.

Gut, jetzt die Sonne, die hat genug Teilchen, sie hat genug Zeit.

Also da passiert das einfach.

Wir wollen das wahrscheinlicher machen, dass es für uns natürlich auch hier auf der Erde rentabel ist, in einer kleineren Größe und so weiter.

Bei der Sonne ist es ja vor allen Dingen auch egal.

Ja.

Ja.

Gut, also dann nehmen wir eine Reaktion, die ein Zweierstoß auch ist. aber auf der starken Wechselwirkung gerufen.

Ein Zweierstoß?

Ja, zwei Teilchen stoßen.

Ach so, zwei, okay.

Und es ist die starke Wechselwirkung.

Die wandeln sich direkt um, Deuterium plus Tritium in Helium und ein Neutron.

Und das ist die Reaktion, die wir für ein Fusionskraftwerk nehmen wollen.

Jetzt die jetzigen Experimente, da nehmen wir kein Tritium, da nehmen wir Deuterium, Deuterium-Teilchen, da passiert auch Fusion oder Experimente zum

Plasma selber können sie auch in Wasserstoff machen, um ein bisschen Physik oder um die Physik des Plasmas da herauszukriegen.

Warum entsteht da so viel Energie, dass es für uns interessant wird, Kerne zu verschmelzen?

Ja, das ist das, was ich vorhin schon andeutete.

Masse wandelt sich in Energie um.

Die Teilchen selber zusammengenommen, sie nehmen zwei Teilchen, Deuterium und Tritium, stellen die auf die eine Seite der Waage, da haben die eine bestimmte Masse, und auf der anderen nehmen sie das, was es verschmolzen ist.

Und das hat weniger Masse.

Das heißt, irgendwo muss die Masse geblieben sein.

Und das ist Energie geworden.

Und die zapfen wir ab und machen damit Strom?

Ja, die können wir nutzen.

Die Energie der Teilchen, die nehmen die ja mit und die können wir dann nutzen.

Gibt es irgendwie so einen griffigen Vergleich?

Wie viel Strom ist in einem Apfel oder sowas?

Ja, ich meine, machen wir erstmal den griffigen Vergleich.

Sie verbrennen ja auch Kohle.

Es gibt ja Kohlekraftlagen.

Das ist ja eine unserer Grundversorgung, unserer Grundlasten.

Da verbrennen wir ja auch.

Okay, jetzt sind das ja letztendlich, ist Kohle, besteht auch aus Atomen.

Sie haben keine Kerne, alleine isoliert die Ladung, aber Sie haben das Atom.

Das besteht auch aus dem Kern und dem Elektron.

Jetzt, wenn Sie das chemisch umsetzen, verbrennen, was Sie bei der Kohle machen, dann ändern Sie sozusagen die Bindung von dem Elektron am Kern.

Sie spielen also mit den Energien, mit den Bindungsenergien herum.

Und die sind in einem Bereich, diese Energien, im Bereich von Elektronenvolt.

Sagt Ihnen jetzt vielleicht nichts.

Wir Plasmaphysiker rechnen Temperaturen in Elektronenvolt und Energien in Elektronenvolt.

Das ist für uns so äquivalent ineinander umgerechnet.

Um eine Temperatur in Elektronenvolt umzurechnen, müssen Sie sagen, 11.604,5 Kelvin ist ein Elektronenvolt.

Also so grob 10.000 Kelvin oder 10.000 Grad ein Elektronenvolt.

Das ist für uns einfacher zu handhaben.

Da haben wir schon mal fünf Größenordnungen, vier Größenordnungen weg.

Und wie viel war das jetzt bei Kohle?

Ja, bei Kohle ist das so in der Größenordnung von einem Elektronenvolt eine Energie.

Wir können ja trotzdem Energie damit gewinnen und es geht ja ganz in Ordnung.

So, wenn Sie jetzt aber die Energien zwischen die Kerne haben anschauen, da bewegen Sie sich im Bereich von Megaelektronenvolt.

Das heißt, die Kräfte, die Energien, die Kerne haben, sind von Haus aus sechs Größenordnungen größer.

Das heißt, wenn Sie da was machen, gewinnen Sie einfach sechs Größenordnungen.

Das Mega, das Tausendfache?

Nö.

Mega?

Ach nee, das wäre Kilo.

Kilo. 10 um 6.

Also 1000 mal 1000. 1000 mal 1000.

Also 6 Nullen.

Eine Million.

Ja.

Das heißt, ein Stück Kohle hätte eine Million mal mehr Energie in einem Fusionsreaktor, als wenn ich es verbrennen würde.

Ja, Kohle fusioniert ja jetzt nicht, deswegen bringen Sie mich zusammen.

Aber wenn Sie den Brennstoff von der Fusion nehmen, dann können Sie da ein Gramm nehmen und das rechnen Sie also um.

Wie viel ist das äquivalent in Kohle?

Dann rechnen Sie die sechs Größenordnungen.

Wenn Sie jetzt noch die Energien genauer nehmen, dann sind Sie bei 2 mal 10 hoch 7 Größen in dem Faktor, also nochmal ein Faktor 20 mehr.

Und dann können Sie also sagen, ein Gramm Fusionsbrennstoff entspricht 20 Tonnen Kohle.

Jetzt stellen Sie sich die Laster vor, die vor dem Kohlekraftwerk stehen und das Material reinschieben oder die Gütermagen und dann den Laster, der das Material reinschiebt für die Fusion.

Da brauchen wir wahrscheinlich keinen Laster für.

Ja, im Jahr schon.

Im Jahr schon.

Warum ist das so kompliziert, so ein Fusionskraftwerk zu bauen?

Also weil theoretisch wissen Sie ja genau, was Sie zu tun haben.

Ja, wir wissen ja auch, dass es funktioniert.

Einmal macht es uns die Sonne vor.

Ja, stimmt.

Städlich.

Oder der Hund.

Und zum anderen gab es ja auch schon Fusions-Experimente mit Deuterium und Tritium.

Und dass man das also machen kann und Energie gewinnen kann.

Also so ist es ja nicht.

Wir wissen ja, dass es so funktioniert.

Ja, um dieses jetzt möglichst wahrscheinlich zu machen, braucht Ihr Plasma eine Temperatur, die 10 Mal heißer ist als die Sonne.

Jetzt wollen Sie also ein Plasma machen.

Warum?

Die Sonne kriegt es doch auch mit einer 10 Mal niedrigeren Temperatur hin.

Ja, gut.

Die Wahrscheinlichkeit ist halt wieder höher.

Sie wollen ja dahin, dass Ihre Ausbeute möglichst hoch ist.

Stellen Sie sich eine Kurve vor, sie hat irgendwo ein Maximum, wenn Sie unten die Temperatur auftragen.

Und möglichst nah an dieses Maximum wollen Sie hin.

Wir könnten auch noch heißer machen, dann wäre das Maximum noch größer.

Dann kaufen wir uns aber andere Nachteile ein.

Also wir müssen immer so ein bisschen das Für und Wider angucken.

Und jetzt ist so ein guter Faktor, mit dem man rechnen kann, ist so 10 Mal heißer als die Sonne.

Das heißt, unsere Plasmen, die wir in den Fusionsanlagen haben, sind 10 Mal heißer als die Sonne.

Was heißt das in Grad?

Das sind eine Million Grad.

Nein, 10 Millionen Grad.

Die Sonne hat eine Million Grad.

Also stecken Sie keinen Finger mehr rein.

Wie erzeugt man solche Temperaturen?

Sie müssen doch fürchterlich viel Energie zuführen.

Ja, wir müssen heizen.

Und das lohnt sich trotzdem?



Ja, letztendlich.

Also für ein Fusionskraftwerk möchten Sie, dass es sich selber erhält.

Dass Sie keine Energie mehr von außen zugeben.

Sonst macht es keinen Sinn.

Sonst ist es so, wie Sie sagen, ich brauche unheimlich viel Energie, muss ich reinstecken, um das zu heizen.

Und um ein bisschen Energie rauszukriegen.

Aber Sie wollen doch jetzt kein Perpetuum mobile bauen.

Nein.

Was ich Ihnen erzählen möchte, ist, dass ich nicht die externe Heizung immer dran haben möchte.

Sondern letztendlich aus dem Fusionsprozess gewinnen Sie Heliumteilchen, wir nennen das Alpha-Teilchen, und Neutronen.

Die Neutronen tragen den großen Teil der Energie.

Also die gesamte Fusionsreaktion sind 17,6 MeV.

Ein Fünftel davon kriegt das Heliumteilchen.

Und vier Fünftel davon kriegt das Neutronen.

Weil das eine ist viermal schwerer als das andere.

Und das teilt sich entsprechend der Masse umgekehrt auf.

Gut.

Jetzt können Sie sagen, das Neutronen ist neutral.

Okay, jetzt habe ich die Teilchen im Magnetfeldkäfig gefangen.

Das kommt also raus.

Das sieht vom Magnetfeld nichts.

Das lassen Sie, jetzt sage ich mal ganz einfach, auf eine Wand prallen.

Diese Wand wird Ihnen warm.

Dahinter machen Sie einen Wärmetauscher und nutzen die Energie des warmen Wassers.

Und machen eine Dampfturbine, also konventionelle Kraftwerkserzeugung, Energieerzeugung.

So, das Alpha-Teilchen, der Heliumkern, der ist geladen, der ist positiv.

Der sieht, dass das Magnetfeld, der bleibt drin.

Der macht also wieder Stöße.

Kriegt aber auch, hat eine Energie von 3,5 MeV.

Durch Stöße kann er seine Energie wieder abgeben.

Das heißt, er heizt intrinsisch das Plasma auf.

Sie nutzen die Energie des Alpha-Teilchens, um das Plasma auf der Temperatur zu halten.

So effizient, dass Sie außen die Heizung abschalten können.

Dann ist Ihr Plasma gezündet und brennt.

Das brennt also immer weiter.

Ich habe gerade so ein Bild von einem Dieselmotor im Kopf, den ich ja auch nur einmal zünden muss.

Und dann erzeugt der Druck einfach die Explosion, die er braucht.

Jetzt haben Sie das Magnetfeld noch.

Ja.

Das Magnetfeld versorgen Sie mit Energie aus den Elektronen, die dann rausgeflogen kommen.

Also Magnetfelder werden erzeugt mit Spulen.

Ja.

Und jetzt...

Da muss ja irgendwie Strom dran.

Ja, für ein Kraftwerk täten wir supraleitende Spulen nehmen.

Und die brauchen weniger Energie, als wenn sie nicht supraleitende Spulen haben.

Und die können Sie die ganze Zeit letztendlich dann laufen lassen.

Die Verluste sind bei supraleitenden Spulen gering.

Die jetzigen Experimente gibt es einige, die supraleitende Spulen haben, aber nicht alle haben das im Moment.

Aber es würde die Energie, also die Abfallenergie, die dieses Kraftwerk erzeugen würde, beziehungsweise die Energie, die dieses Kraftwerk erzeugen würde, davon ein Teil würde reichen, wiederum um die Spulen fürs Magnetfeld zu betreiben.

Ja, Sie müssen nicht nur die Spulen betreiben, Sie haben noch viel Peripheriet drumherum, wo Sie auch Energie brauchen.

Aber das ist im Gegensatz zu dem, was Sie erzeugen, ist das in der Bilanz minimal.

Sie haben Experimente gemacht, das hat funktioniert.

Das heißt, Sie sind in der Lage, solche Temperaturen zu erzeugen?

Die Temperaturen sind nicht das Problem.

Was ist das Problem?

Also in der Fusion messen wir...

Letztendlich können Sie auch fragen, wie messen Sie eigentlich, dass Sie gut sind in der Fusion?

Was ist Ihre Kenngröße?

Was müssen Sie erreichen?

Sie haben mich gefragt, erreichen Sie die Temperatur?

Die Temperatur ist nicht das Einzige, das will ich damit sagen.

Wir haben drei Kenngrößen, die wir erreichen müssen.

Das ist die Temperatur, das ist die Dichte der Teilchen, damit wir auch genügend haben.

Im einfachen Sinne gesagt, und wie lange bleiben die Teilchen zusammen, der Einschluss?

Wie lange bleibt die Energie der Teilchen, wie lange können Sie die behalten?

Also die Einschlusszeit.

In der Fusion ist das für uns ein Trippelprodukt.

Das heißt, wir multiplizieren Temperatur mit Dichte und mit dieser Einschlusszeit.

Und das ist unsere Kenngröße.

Und diese Kenngröße tragen Sie jetzt auch auf dem Diagramm, in der Y-Achse auf.

Und jetzt können Sie auf der X-Achse auftragen, zum Beispiel die Jahreszahl.

So ein Diagramm kennen Sie, wie gut oder wie ist die Kenngröße?

Das Moosche Gesetz kennen Sie.

Das Moosche Gesetz, das uns sagt, das kennen Sie nicht?

Nein, Himmel.

Nein.

In jedem 18 Monate wird die Anzahl der Transistoren auf einem Computer verdoppelt.

Ja.

Ja.

Da haben Sie also hier die Kenngröße von den Transistoren.

Also auf der Y-Achse, auf der X-Achse haben Sie die Jahreszahl.

Sie sehen immer die schöne Gerade und dann wird extrapoliert.

So, in dieses Diagramm können Sie jetzt unten genau die Jahreszahl machen.

Sie können statt auf der Y-Achse machen Sie dieses Triple-Produkt, von dem ich geredet habe.

Da kriegen Sie auch eine Kurve.

Und diese Kurve ist eine Gerade, die genauso steil oder sogar noch ein bisschen steiler ist als das Moosche Gesetz.

Also das zeigt uns den Erfolg der letzten Jahre, die wir haben.

Und wir können natürlich auch den Punkt eintragen, wo wir hinwollen.

Und das bedeutet, wir müssen Temperatur, Dichte und Einschusszeiten kriegen.

Und wenn Sie jetzt fragen, was ist das Kritische?

Am Anfang habe ich gesagt, die Temperatur, die kriegen wir hin, da heizen wir.

Stimmt.

Ja gut.

Notfalls bauen wir ein Kernkraftwerk daneben und heizen damit.

So schlimm ist es nicht.

Okay.

Ja, aber kann ich Ihnen auch gerne erklären.

Aber heizen müssen wir.

Um die Temperatur hinzu.

Dichte, füllen wir die Teilchen ein, halten die in einem gewissen Dichte-Balance da drin.

Weil letztendlich ist Dichte und Temperatur ist Druck.

Ja.

Ja, stimmt.

Und je mehr Temperatur und Dichte habt ihr, desto größer ist der Druck.

Und die Teilchen wollen eigentlich nach außen.

Ich muss die aber wieder zusammenhalten.

Das heißt, ich muss mit irgendwas nachbieten.

Und das ist das Magnetfeld.

Ich muss das Magnetfeld größer machen.

Jetzt wollen Sie aber auch nicht unendlich große Magnetfelder haben.

Also da empfindet man so die Bilanz zwischen Temperatur und Druck.

Das heißt, letztendlich haben Sie als Größe noch die Einschlusszeit.

Und die Einschlusszeit ist eigentlich der Knackpunkt.

Die Teilchen, die Energieeinschlusszeit der Teilchen in die Größe zu bringen, wie man sie braucht, um in die Zündung, in die Fusion hineinzukommen.

Was für Zeiten sind das, über die wir da reden?

Sind das Minuten, Sekunden?

Die Energieeinschlusszeit ist fünf Sekunden.

Das heißt, das Teilchen soll, wenn es, stellen Sie sich wieder den Donut vor, Sie schneiden den in der Mitte durch, haben Ihren Kreis.

Und jetzt ist das Teilchen in der Mitte.

Und jetzt fragen Sie mich, was bedeutet diese fünf Sekunden?

Das Teilchen soll fünf Sekunden lang ihre Energie, seine Energie behalten, bevor es an die Seitenwand kommt.

Das ist die Energieeinschlusszeit des Teilchens.



Das heißt, letztendlich läuft es auf der Magnetfeldlinie, aber es stößt ja mit seinem Nachbarpartikelchen.

Und stößt es, wird versetzt und sieht, ah, ich habe eine neue Magnetfeldlinie, ich bin aber weiter außen und folge der.

Dann stößt es wieder und so kommt es nach außen.

Das ist das einfache Bild, wie das Teilchen nach außen diffundiert.

Es ist viel komplizierter, aber es ist ein einfaches Bild.

Und diese Einschusszeit, die soll fünf Sekunden sein.

So, wenn Sie die jetzt also nicht ganz hinkriegen in den Maschinen, weil es wesentlich komplizierter ist.

Letztendlich sage ich, der Stoß bestimmt Ihnen das, wie das Teilchen nach außen versetzt wird.

Jetzt nehmen Sie aber mal einen Fluss.

Der Fluss strömt, das Wasser strömt.

Und Sie werfen Stöckchen hinein.

Das Stöckchen dreht sich, es verwirbelt.

Jetzt kommt ein Teilchen in dieses Wirbel rein, dann wird das nicht durch den Stoß des nächsten Teilchen versetzt, sondern über die Größe des Wirbels.

Und zack ist Ihnen da schneller draußen.

Und das ist das Problem.

Wenn Sie eine klassische Diffusion nehmen, nur den Stoß, dann könnten Sie einen Fusionsreaktor bauen, der hier auf dem Tisch steht.

Weil dann täten die Teilchen fünf Sekunden drinbleiben.

Aber weil es dann Zwischenstufen in der Diffusion gibt und am Schluss als größte Größe diese Turbulenzen, diese Verwirbelung.

Ich wollte gerade sagen, das ist ja auch chaotisch dann da drin, oder nicht?

Oder können Sie das jederzeit vorhersagen für jedes Teilchen?

Nein, im Prinzip wollen wir das so laufen lassen wie ein Fluss, wie eine Strömung.

Wir beschreiben das ja auch wie eine Flüssigkeit.

Hydrodynamische Beschreibung, noch Magnetfeld dazu, dann nennen wir das Magnetohydrodynamik.

Klingt gut.

Kommen aber schon dem Fluss näher der Strömungsbeschreibung.

Aber wenn jetzt solche Turbulenzen auftreten, dann wird es schwierig.

Dann kann man versuchen, den entgegenzusteuern.

Wir können jetzt sagen, ich treibe mehr und du Turbulenz, hör mir mal bitte auf und füge dich wieder ein.

Dann haben Sie so eine Turbulenz nur eine kurze Zeit.

Aber die müsste dann ja trotzdem kürzer sein.

Ja, muss kürzer sein als der Einschuss.

Genau, als der Einschuss.

Mikrosekunden. 10 hoch minus 6 Sekunden.

Millisekunden.

Müssen die wieder zerstören.

Also das sind so Sachen, die kann man, will man in den Griff bekommen.

Also da ist eigentlich der Knackpunkt.

A, das theoretisch zu verstehen und B, Experimente in Handhaber zu machen.

In der Mitte strömt das schon ganz gut.

Kritische Bereiche sind die Ranteffekte.

Weil irgendwann müssen sie ja auch an die Wand kommen.

Kann man nicht einfach die Mitte größer machen?

Ja, und deswegen ist ITER größer.

Die jetzigen Fusionsmaschinen sind nicht so groß wie ITER.

Sie können mich genauso fragen, wieso baut man ITER größer?

Ja, um die Mitte größer zu machen.

Damit der Einschluss besser ist.

Aber sie wollen ja nicht ein sehr großes, also sie brauchen ja ein Kraftwerk später, das auch noch eine handhabbare Größe hat.

Und wie kriegen Sie dann die Verwirbelung, also die Turbulenzen in den Griff, wenn Sie das Kraftwerk nicht beliebig vergrößern können?

Ja, also eine Entdeckung war...

Warum können Sie das Kraftwerk nicht beliebig vergrößern?

Das ist doch schnutzegal.

Also es steht halt hier ein riesiges Kraftwerk.

Wenn das genug Energie liefert, ist das doch in Ordnung, wenn ein Kraftwerk so groß ist wie eine Stadt.

Außerdem sieht es echt cool aus.

Das ist nicht schlecht.

Können wir mal einen Projektantrag schreiben.

Sieht cool aus.

Sieht cool aus als Begründung.

Reißen eine Stadt ab und bauen dafür ein Kraftwerk hin.

Klar.

Nein.

Ja, wieso bauen Sie es nicht unendlich groß?

Naja, unendlich groß nicht.

Letztendlich müssen Sie ja dann aber auch die Teilchen da innen auf einer gleichen Temperatur auch halten.

Und so werden Sie sicherlich auch andere...

Also, schwieriges Thema.

Das ist eine schwierige Sache.

Aber die Größe hilft.

Die Größe hilft.

So ist unsere Formulierung.

Bis Sie sich dann wieder Nachteile durch andere Mechanismen einhandeln.

Gehen Sie denn davon aus, dass ITER groß genug sein wird?

Ja.

Also, ITER ist ja dafür ausgelegt, dass es zehnmal mehr Energie erzeugen soll, als man hineinsteckt zum Heizen.

Also, das soll eine halbe Kraftwerkseinheit sein.

Das sind 500 Kraftwerke, so typischerweise ein Gigawatt.

Also, ITER soll 500 Megawatt erzeugen.

Eine Stunde ist die Zeit.

Und dafür soll es nur 50 Megawatt Heizung brauchen.

Das ist das Ziel von ITER.

Diese drei Parameter.

In einem Deuterium-Tritium-Plasma.

Mir wird ja gefühlt alle zehn Jahre gesagt, in zehn Jahren, da haben wir es.

Wann haben wir es denn?

Ja, die Fusionskonstante.

Die Fusionskonstante?

Die uns immer gesagt wird, die uns immer gesagt wird, ihr Fusionsforscher, eure Fusionskonstante 50 Jahre.

Ja, jetzt denken Sie mal, was ich Ihnen am Anfang erzählt habe, mit der Diffusion.

Der Fusionsreaktor kann so klein sein wie ein Tisch.

Das war die Euphorie in den 60er, 70er Jahren.

Das gibt es ja heute teilweise noch, dass irgendwelche Leute hingehen, die sagen, wie ist das kalte Fusion hier?

Ja, also kalte Fusion, da macht man die Temperaturen nicht so heiß, sonst wird sich kalte Fusion heißer.

Aber das sind dann andere Prozesse.

Und das funktioniert?

Also bisher war doch immer, wenn irgendwer gemeldet hat, hier, ich habe hier ein Glas Seltas, gibt es immer irgendwie so einen leichten Sturm im Seltasglas und hinterher stellt sich raus, hier war doch wieder nur ein Scharlatan.

Ja, also es gibt Prozesse, mit der Sie aufgrund verschiedener Eigenschaften, Sie lagern sehr viel Wasserstoff in einem Material ein, zum Beispiel in Palladium, dann sind die Teilchen auch sehr nahe zusammen und dann gibt es natürlich Wahrscheinlichkeiten, dass die auch verschmelzen.

Aber um das wirtschaftlich zu machen oder überhaupt nachzuweisen, wie viel da verschmelzen, das messen Sie immer an den Neutronen nach, ist eine schwierige Sache.

Aber zurück zur Heißinfusion und dem magnetischen Einschluss.

Also 60er, 70er Jahre dachte man sich, der Transport geht klassisch nach außen, das muss reichen.

Und dann kamen die Schwierigkeiten, die, sagen wir auch so, die Wärmeisolation dieses Plasmas hinzukriegen.

Stimmt, das kühlt hier auch ab.

Wie eine Thermoskanne, Sie füllen Kaffee ein und dann brauchen Sie eine gute Thermoskanne, dass er Ihnen einige Stunden heiß ist und diese Derm...

Kaffee isoliere ich mit Luft.

Wie isolieren Sie denn das Plasma?

Mit Magnetfeldlinien.

Auch wieder?

Ja.

Immer Magnetfeldlinien.

Ja klar, weil man kann es ja nicht anfassen.

Man kann ja nichts...

Ja, sagten Sie ja.

Ja, und Sie wollen ja auch kein Material in dieses heiße Plasma reinbringen.

Das soll ja schon eine Temperatur haben, das Plasma dann, oder die Teilchenflüsse, und die Temperaturen so sein, dass die Materialien dem widerstehen können.

Gut, also jetzt waren wir dadurch, dass diese Transport und die Wärmeisolation, der Transport schneller geht, die Wärmeisolation nicht so ist, wie man es gedacht hat, muss man das ja in den Griff kriegen.

Und dieses braucht Zeit.

Sowohl das zu berechnen, als auch das in Experimenten zu machen.

Und da hat man dann in den 80er Jahren einen Einschluss, eine Art des Einschlusses gefunden, die das wesentlich verbessert.

Das war einer der Durchbrüche.

Die H-Mode, High Confinement, besserer Einschluss, klingt immer gut.



Das war eine der Dinge, die wir hier in Garching an einem Fusionsexperiment, Aztex hieß das, jetzt haben wir ein Aztex-Upgrade, gefunden haben, dieses bessere Einschlusskonzept.

Dadurch ist das Plasma besser eingeschlossen, Sie kriegen ein besseres Profil, in der Mitte bleibt es heißer und außen hat es so ein, ja, wie so ein Sockel, auf dem das Plasma dann in der Temperatur so weiter sitzt und mit dem es dann zur Wand geht.

Und das hat geholfen.

Das war dann schon ein Durchbruch.

Aber es ist jetzt immer noch nicht so weit, dass wir das sagen können, das haben wir jetzt gelöst.

Also das ist einer der Knackpunkte der Transport.

Und dieses vorherzusagen, wie lange brauchst du denn noch, das ist natürlich schwierig.

Ich meine, das ist das Grundlagenforschung dabei und das muss man halt, ja, machen.

Spannendes Thema.

Wenn der ITER mal gelaufen ist, so wie er laufen sollte, ist das dann auch schon der Prototyp für ein Kraftwerk?

Ja, es gibt also Studien für ein Demokraftwerk. das ist jetzt so der Schritt, den man sich denkt, Demonstrationskraftwerk wäre ein nächster Schritt.

Weil der ITER hat noch manche Dinge, die man in einem vollen Kraftwerk vorher

auch noch testen muss.

Die werden an ITER nicht gemacht, dafür ist er nicht ausgelegt.

Also denkt man sich, man kann jetzt mutig sein und sagen, man baut jetzt trotzdem Kraftwerk, aber eigentlich braucht man noch einen Zwischenschritt.

Sie müssen das mit den Wandmaterialien, die Frage des Tritiums, woher kommt das, das müssen Sie erbrüten und passt die Bilanz zusammen.

Also das ist auch nochmal ein spannendes Thema, kann man sich auch nochmal angucken.

Aber wenn Sie so ein Zwischenkraftwerk nehmen, sagen, ein Demonstrationskraftwerk, das wirklich ans Netz geht.

Sie wollen ja zeigen, dass es ans Netz geht.

ITER geht nicht ans Netz.

Das wäre so ein Prototyp, den Sie bauen würden.

Der soll dann die gleiche Größe wie ITER haben.

Da gibt es verschiedene Studien, dass er vielleicht Faktor 2 größer ist, ein Faktor 1,5, aber er bleibt so in dieser Größe.

Und er müsste ja auch durchgehend laufen.

Ja.

Könnte ITER das?

ITER ist wiederum nicht so ausgelegt, dass er durchgehend läuft.

ITER hat supraleitende Spulen.

Die wird das Kraftwerk später auch brauchen.

Ja, wird es auch brauchen.

ITER ist einfach nicht so ausgelegt.

Hätten Sie so ein Ding schon so bauen können, dass es durchgehend läuft?

Also dass es tatsächlich, dass wir sagen, so jetzt haben wir eine Stunde 500 Megawatt, jetzt nehmen wir den mal ins Netz und lassen den einfach laufen.

Oder ist auch da noch...

Da kommt jetzt noch eine Feinheit rein.

Eine Feinheit, die ich noch gar nicht erklärt habe.

Nämlich, ich habe Ihnen erklärt, Sie haben den Torus und Sie haben immer die Linien, die quasi dem Torus folgen.

Schön brav.

So geht es aber nicht so einfach.

Das Plasma ist so ein bisschen tricky.

Das denkt sich, okay, jetzt laufe ich diese Linien entlang. und in der Mitte ist mein Magnetfeld stärker, als es außen ist.

Das heißt, ich habe einen Gradienten, ich spüre noch eine Kraft, aufgrund, dass das Magnetfeld nicht homogen ist.

Auf diese Kraft reagieren geladene Teilchen.

Dann gehen die positiv geladenen Teilchen in eine andere Richtung als die negativ geladenen Teilchen.

Machen Sie ein elektrisches Feld.

Und mit dem elektrischen Feld werden die Teilchen wieder abgelenkt, mit dem Magnetfeld zusammen, und gehen Ihnen dann die Wand und aus ist der Traum.

Das heißt, Sie können das nicht mit einfachen, geraden Feldlinien so im Torus machen, sondern Sie müssen die verdrillen.

Ach so schön.

Sie machen die so helikal.

Sie winden die sozusagen immer rum, dass das Teilchen von oben nach unten, von innen nach außen, aber im Wesentlichen immer im Torus entlangläuft.

Und dazu brauchen Sie jetzt nicht nur dieses eine Magnetfeld, das wir toroidal nennen, also immer im Torus entlang, sondern Sie überlagern dem noch ein Magnetfeld, das poloidal ist, also wie im Querschnitt ist, um diese Verdrillung zu bekommen.

Und mit den beiden Magnetfelds stärken können Sie die Verdrillung beeinflussen.

Also letztendlich, wie stark ist mein Korkenzieher, wie ist der verschraubt?

Habe ich da viele Windungen oder wenig?

Damit kann man auch das Plasma beeinflussen.

Gut.

Jetzt brauchen Sie das zweite Magnetfeld.

Wie machen Sie denn da die Spulen?

Wie bauen Sie die Spulen darum?

um ein Magnetfeld zu bekommen, das in poloidaler Richtung ist.

Ja, was weiß ich denn?

Ja.

Strom durchflossener Leiter.

Ja.

Ja.

Sehen Sie, kennen Sie.

Physik 6.

Ja.

Sie nehmen Strom durch den Leiter und es entsteht ein Magnetfeld und das hat einen wunderbaren kreisförmigen Querschnitt.

Also, unser Plasma ist nichts anderes als ein Leiter, sind geladene Teilchen.

Lasse ich da einen Strom durch, gucke ich, dass das Plasma einen Strom hat, dann erzeugt das sich selber das Magnetfeld.

Tricky.

Aber Sie müssen den Strom im Plasma treiben.

Und dieser Strom erzeugt also das Magnetfeld und dann nennen wir diese Maschine einen Tokamak.

Das ist ein russisches Wort.

Toroidale Kammer mit magnetischem Einschluss, das Ganze auf Russisch, weil die Russen das erste Experiment gebaut haben in den 60er Jahren und die haben dann Toroidal, ach, ich kann kein russisch, auf jeden Fall, die Abkürzung ist Tokamak.

Gab es eigentlich, was Sie gerade sagten, die Russen in den 60er Jahren, gab es irgendwie so einen Moment, wo die Fusionsforschung, ich sag mal, explodiert ist, also wo es so Aha-Effekte gab, ganz viele?

Oder ist das auch so ein ganz langsamer Prozess?

Ja, einer war sicherlich der Tokamak.

Ja, dieses Prinzip des Tokamaks, nämlich als sie zeigen konnten, dass sie in so einem Torus eine Temperatur von einem KEV hinbekommen haben.

Das war ein Rekord.

Das erste Mal, diese Temperatur in so einer Kammer hinzubekommen.

Es gab vorher, gab es auch, oder gab es, gab es Fusionsexperimente, lineare Maschinen, Spiegelmaschinen, verschiedenste Prinzipien, wo man das versucht hat, aber ein Rekord war, diese ein Kilo Elektronenvolt Temperatur hinzubekommen.

Und das haben die, wurde in Russland mit dem Tokamak-Prinzip gezeigt.

Das war so spektakulär, dass man gesagt hat, ja, das wollen wir doch mal erst nachmessen.

Okay.

Und dann sind die hingefahren und dann hat man zusammen die Experimente gemacht.

Das war einer der Momente.

Ein anderer Moment war das, was ich vorhin sagte, mit der H-Mode, dieses bessere Einschluss zu finden.

Wann wird ITER eigentlich in Betrieb gehen?

Also wann schalten wir den ein?

So richtig, meine ich.

So richtig, mit Deuterium, Tritium, weil im Moment, vermute ich mal, an welchem Punkt sind wir da gerade?

Was probieren wir gerade darum?

Im Moment bauen wir noch.

Wir bauen sogar noch.

Wir bauen noch.

Im Moment ist quasi das Fundament gelegt der Halle.

Die Halle wird drauf gebaut und Teile werden weltweit gefertigt, Prototypen gebaut, richtige Fertigung.

Materialien für die Supraleiter werden hergestellt.

Das sind doch alles Prototypen, oder?

Egal was sie tun, sie machen immer Prototypen.

Cool.

Also sie stellen die Technologie und auch die Industrie immer an ihre Grenzen.

Ja.

Ja, wann ist denn der fertig?

Also wann werden wir die Korke knallen lassen?

Ja, also ITER soll in Betrieb gehen 2020.

Aber sie werden nicht gleich mit Deuterium und Tritium anfangen.

Sie müssen ja erstmal Erfahrung mit der Maschine gewinnen.

Ich meine, es ist die Maschine, die Größe ist besonders dieser Maschine.

Sie müssen erste Erfahrungen mit dieser Maschine gewinnen.

Das ist ja auch ein Prototyp.

Sie fangen mit Wasserstoff an, ganz normal.

Wo sie weder zu kämpfen haben mit Deuterium, das ihnen vielleicht auch



Fusionsreaktionen macht, wo Neutronen entstehen können, wo ein bisschen Tritium entstehen können.

Sie fangen ganz normal an, die Maschinen Wasserstoff zu betriebl, zu nehmen, so wie viele Effusionsexperimente auch immer mit Wasserstoffen in Betrieb gehen.

Dann werden sie umschalten nach einer gewissen Phase zu Deuterium, Deuterium mit Deuterium.

Damit lernen sie auch schon viel mit der Maschine.

Und erst in der dritten Phase, ITER ist also in drei Phasen geplant, da wird dann Deuterium und Tritium brennen.

Und das ist erst, also genau weiß ich es nicht, so 2027 geplant, also nach einigen Jahren erst, wo das in Betrieb gehen wird.

Also die Deuterium.

Und das ist der Plan, ob der eingehalten wird, ist dann ja immer nur, die Pläne scheitern ja in der Regel, wenn man anfängt, sie umzusetzen.

Ja, ich meine, das sind ja auch komplizierte technologische Maschinen, die Sie da haben.

Ja, ich kriege nicht mal meine Wohnung in Ordnung gehalten.

Sie sagten vorhin Tritium erbrüten.

Was genau ist Tritium?

Wie erbrüdet man das?

Ja, Tritium hat es ja auch als natürliches Vorkommen, allerdings viel weniger

häufiger als Deuterium.

Deuterium sagte ich vorher so 0,015 Prozent.

Ist ja immerhin was.

Wenn Sie das bei Tritium natürlichen Vorkommen haben, dann sind Sie, glaube ich, bei 10 hoch minus 15 oder so.

Also unheimlich unwahrscheinlich.

In was ist das Tritium dann zu finden?

Ja, also es ist natürlich aus der Höhenstrahlung zum Beispiel entsteht Tritium in den Prozessen.

Dann können Sie in den 60er, 70er Jahren mit dem Atomwaffentest, da haben Sie auch einiges an Tritium, wurde produziert.

Tritium hat eine Halbwertszeit von 12,3 Jahren.

Das heißt, das zerfällt Ihnen auch.

Das können Sie nicht ewig aufbewahren.

Also Tritiumvorkommen, das kann man gewinnen, aber sind extrem wenig da.

Für ITER selber wird das von außen zugegeben, aber für einen Fusionsreaktor sind diese Mengen, also ist das einfach eine Frage auch des Rohstoffes.

Das heißt, wie kommt man an das Tritium ran?

Wie macht man das?

Man kann es ja auch selber machen.

Und das erbrüten Sie sich.

Sie erbrüten sich das Tritium aus Lithium.

Sie brauchen dafür natürlich auch wieder ein bisschen Energie.

Geschenkt wird einem nichts.

Also machen Sie die Wand aus Lithium.

Dann machen Sie ein Blenket, nennen wir das.

Eine Lithiumwand.

Da gehen die Neutronen rein und dann soll da das Tritium erbrüht werden.

Das ist im großen Maßstab noch nicht passiert.

ITER wird ein Testblenket haben, also so eine kleine Testwand, letztendlich eine Kachel, die Sie reinhalten, wo Sie das mal messen können, unter reaktorelevanten Bedingungen.

Aber die ganze Wand wird nicht so ausgekleidet sein.

Und dann brauchen Sie nur noch das Tritium in internen Kreislauf.

Sie brauchen das also nicht mehr in einem Kraftwerk, das ist die Idee dahinter, von außen dazugeben, sondern Sie haben das intern auf dem Gelände.

Also doch irgendwie ein Perpetuum mobile.

Ja, das weigere ich mich.

Ja, natürlich.

Ja, sicher.

Geht das nicht.

Nee, klar, wir führen ja letztlich doch irgendwie Energie hinzu.

Also Sie nutzen die Energie, die entsteht, die nutzen Sie in mehrfacher Weise für verschiedene Prozesse.

Warum tun Sie, was Sie tun?

Weil ich es spannend finde.

Weil es super spannend ist.

Und weil es auch eine sehr, sehr schöne Anwendung hat.

Ich meine, eine Energiequelle, eine Energiequelle für morgen, sage ich mal so, wann immer das Morgen jetzt ist, zu arbeiten.

Würden Sie sich das nicht vorstellen?

Ja, doch.

Gab es bei Ihnen irgendein Schlüsselerlebnis?

Dass Sie das, das will ich machen?

Ich fand die Plasmaphysik schon immer spannend im Studium.

Eigentlich war für mich das Schlüsselerlebnis im Studium, das war einfach

Plasmaphysik und Fusionsforschung zu hören.

Da habe ich das das erste Mal mitbekommen.

Ich fand das Gesamte überhaupt faszinierend, was da passiert.

Die hohen Temperaturen, die verschiedenen Beschreibungen des Plasmas.

Sie brauchen Magnetohydrodynamik, sie brauchen Strömungsmechanik, sie brauchen Kernphysik.

Also die verschiedenen Aspekte des Studiums der Physik, die brauchen Sie alle in der Plasmaphysik.

Materialien, Oberflächen und die Plasmaphysik selber.

Faszinierend.

Und alles in so einer Weise, in extremen Parametern, dass Sie immer an die Grenzen dessen stoßen und das Plasma immer irgendwie es doch dann anders macht.

Was es dann auch schwierig macht, aber auch spannend macht.

Sie sagten ja schon, dass es so aus allen Bereichen der Physik ist.

Man da unterrichtet, das ist so speziell.

Was für Leute forschen eigentlich da dran?

Sind das...

Physiker aus allen Bereichen?

Ingenieure?

Muss man da irgendwie besonders disponiert sein, um so weit in die Grenzen?

Ich denke, man muss interdisziplinär arbeiten können.

Oder sollte daran Interesse haben und sollte einem Spaß machen.

Natürlich kann man auch sagen, ich schaue mir jetzt, wenn ich Materialforscher bin, nur die Wand an.

Das ist genauso wichtig.

Und schaue mir an, was passiert auf der Wand und mache da die Festkörperphysik, Oberflächenphysik und optimiere das, finde Material. ganz genauso wichtig.

Geht aber auch an Randdisziplin hin, weil Sie sich die Oberfläche anschauen müssen, zusammen, was passiert mit dem massiven Material.

Sie haben immer ein Plasma, das auf dieses Material kommt.

Also Sie können die Disziplin eigentlich nie einzeln sehen, die da kommen.

Sie sagten vorhin, wir könnten noch über die Heizung reden.

Was gibt es denn, über die Heizung zu reden?

Ja, ich bin hier in dem Bereich und ich leite den Bereich, wo wir auch Heizungen für zuständig sind, Neutralteilchenheizung.

Neutral Teilchenheizung?

Neutral Teilchenheizung, ja.

Wahrscheinlich müssen Sie jetzt schon wieder ganz unten anfangen und erklären, was da passiert.

Das klingt nach Beam Science Fiction.

Also ein großer Strahl.

Ein Beam ist ein großer Strahl.

Also wenn Sie Teilchen heizen wollen, ist die Frage, machen Sie das.

Sie können die durch Stöße, sagte ich zum Beispiel, heizen.

Ich führ Teilchen ein, die viel Energie haben und die durch Stöße abgeben.

Dadurch heiße ich es Platz.

Aber dann verlieren Sie auch wieder ein bisschen Kontrolle über die Teilchen, wenn Sie das durch Stöße machen.

Ja, aber ich muss das ja in der Mitte dann deponieren.

Und so weiter.

Aber ich brauche jetzt erstmal eine Anzahl von Teilchen, die in das Fusionsplasma hineinkommen.

Wenn Sie Teilchen Energie geben wollen, nehmen Sie ein elektrisches Feld und nehmen geladene Teilchen.

Ja, jetzt sagte ich aber vorhin, geladene Teilchen im Fusionsplasma sehen das Magnetfeld.

Wenn Sie die jetzt von außen einschließen, gehen die direkt wieder an die Wand und wollen gar nicht rein.

Kriegen sie nicht rein.

Das heißt, Sie können geladene Teilchen nicht ins Fusionsplasma, sollten Sie besser nicht anschießen.

Sie nehmen neutrale Teilchen, die das Magnetfeld nicht spüren, um den Magnetfeldkäfig zu durchdringen.

Neutrale Teilchen müssen aber jetzt erst Energie haben.

Das heißt, vorher haben Sie positive Teilchen oder negative Teilchen, beschleunigen die auf Ihre Energie und dann neutralisieren Sie die und lassen dann den Strahl in das Plasma rein.

Wie neutralisieren Sie die?

In einem Gasvorhang.

Wir lassen die durch Gas laufen und dann geben die, wenn Sie positive Teilchen haben, holen die sich aus dem Hintergrund Gas die Elektronen und werden neutral.

Wenn Sie negative Teilchen haben, H-, dann haben Sie ein Atom, dann haben Sie ein zusätzliches Elektron angelagert, dann bleibt dieses Elektron in dem Gasvorhang hängen.

Gas-Target.

Und dann machen Sie, das frage ich mich nämlich auch die ganze Zeit schon, das Plasma in diesem Ring, das muss ja auch irgendwie, da muss ja auch nachschubchen.



Sie sagten ja, da verbrennt was, das wird abgezogen.

Ja, genau.

Da muss ja nachschubchen.

Sie müssen Gas reinlassen oder auch durch diesen Neutralstein.

Kann man da einfach die Ofentür aufmachen und ein paar Kohlen reinschaufeln oder macht man sich dann auch wieder seinen Stahl kaputt?

Ja, ich meine, so ein Torus hat viele Löcher, weil sie wollen, letztendlich müssen sie mit das Plasma irgendwie, heizen.

Sie müssen, sie wollen ja auch Diagnostiken dran haben, um das Plasma zu sehen, was es macht.

Zu sehen mit den verschiedenen Detektoren, die sie da dran haben, um spezielle Eigenschaften des Plasmas zu haben, um das vielleicht auch zu steuern, die Eigenschaften zu messen und gegen zu steuern.

Das heißt, letztendlich ist das ein durchlöcherter Torus.

Also er hat Löcher.

Wir schließen das immer durch das Magnetfeld. aber da ist eine Tür, man kann sich das vorstellen, ein Port, ein Loch drin und dann kommt dann dieser Neutraltal, strahlt da rein und heizt das Plasma auf.

Und da gibt es aber auch noch andere Heizungen, nämlich eine Heizung, die sie auch zu Hause haben, um ihr Essen warm zu machen, die Mikrowelle.

Aber die ist ein bisschen größer vermutlich, also ein bisschen leistungsfähiger.

Ja, sie ist deutlich leistungsfähiger.

Aber die Mikrowellen, die sie haben, die heizen auch auf.

Jetzt können wir das genauso nutzen, ein bisschen anderer Prozess, aber letztendlich werden die Teilchen dann auch aufgeheizt da drin, indem sie Mikrowellen einstrahlen.

Das ist auch ein Heizmechanismus.

Es gibt also drei Heizmechanismen oder zwei Heizmechanismen.

Einmal dieser Neutralstrahl, das andere ist mit Wellenheizung und die Wellenheizung können Sie unterscheiden, ob ich jetzt eine Frequenz nehme wie Mikrowellen, dann koppel ich all die Elektronen, dann kann ich die Elektronen heizen oder wenn ich eine Frequenz nehme, wie sie in der Radioübertragung verwendet wird, Radiowellen, dann kann ich die Ionen heizen.

Dann habe ich eine andere Frequenz, treffe ich eine andere, die Ionen haben eine andere Masse, dann passt das mit der Masse, das ist eine Resonanz und dann kann ich die heizen.

Dann können Sie nur ein bisschen spielen letztendlich, wann heize ich welche Teilchen, wo heize ich die Teilchen und wir brauchen immer so einen Mix.

Ist das eigentlich irgendwann zu Ende entwickelt oder ist das auch so eine Geschichte, wo Sie sich noch dumm und dusselig daran forschen können?

Wie Sie die Heizung noch optimieren?

Weil das ist ja auch eigentlich einer der Schritte, den man braucht, um überhaupt mal diesen Thorus in Betrieb zu nehmen.

Ja, also ein Plasma.

Das sollte ja fertig sein, bevor man den Plasma meint.

Ja, aber jetzt kommen wir wieder zur Grundidee weg in einem Kraftwerk, da wollen Sie ja das betreiben und möglichst ohne externe Heizung.

Wieso bräuchte man, und dann bräuchten Sie es ja nur zum Anzünden, also sozusagen als Zündholz das gesamte System auf die Temperatur zu bringen, ein bisschen die Parameter einfallen, sagen wir also ein paar Minuten und dann kann das Ding brennen bis zum Ausschalten und dann müssen Sie es wieder in Gang bringen, wäre ja prima.

Der Punkt ist letztendlich, dass Sie manche Heizmethoden auch dazu hernehmen, dass Sie das Plasma kontrollieren, bestimmte Profile einstellen in der Temperatur, zum Beispiel indem Sie die Heizung für die Elektronen nehmen oder die für die Ionen.

Das heißt, Sie wollen da ein bisschen nachregulieren.

Ist aber jetzt nicht so viel Leistung, die Sie dafür für so eine Heizung brauchen würden.

Wenn Sie jetzt aber aus einer Tokamak-Maschine, wo der Strom im Plasma ist und das Magnetfeld erzeugt, eine Dauerstrich-Maschine machen wollen, dann müssen Sie immer was haben, das Ihnen den Strom treibt.

Ein Dauerstrich?

Ja, dass Ihnen das dauernd brennt.

Ach so.

Sie brauchen ja das Magnetfeld, Sie brauchen ja immer den Strom da drin.

Den Tokamak wird das gemacht mit dem Transformator-Prinzip.

Wie treiben Sie einen Strom?

Sie haben einen Transformator mit vielen Wicklungen und nehmen eine Sekundärwicklung und das ist das Plasma und haben dann einen Sekundärstrom.

Und so treiben Sie also im Tokamak.

Dafür sind Sie aber auf das Transformator-Prinzip angewiesen.

Das heißt, Sie müssen Ihre Rampe immer hochfahren und so lange können Sie einen Strom treiben.

Ohne Induktion keinen Strom mehr getrieben.

Widerspricht erstmal einer Dauerstrich-Maschine.

Weil da müssten Sie immer die Rampe im Transformator fahren.

Jetzt können Sie die Rampe sehr langsam fahren, dass Sie so in den Stundenbereich kommen.

Sie können aber auch den Strom auf eine andere Weise dann treiben im Plasma ohne das Transformator-Prinzip.

Und das wären auch mit den Heizungen.

Klingt ein bisschen Magic, kann man aber machen.

Also Sie geben den Teilchen auch immer den Drallen, die Profile shapen.

Also ist sehr viel Überlegungskunst und Forschungskunst dahinter, sage ich mal

so.

Das ist eine der Sachen, wo man A, wenn wir bei den Heizungen sind, was muss man da noch entwickeln?

Wie treibt man diesen Strom, wenn man einen Tokamak bauen möchte?

Also ein Fusionskraftwerk aufgebaut auf dem Tokamak-Prinzip.

Und B, wie müssen die Heizungen, die brauchen ja auch dann eine bestimmte Leistung, müssen eine gewisse Zeit laufen, eine gewisse Energie haben.

Das sind jetzt Sachen, die dann aber schon an ITER getestet werden.

Wie könnte man so einen Strom treiben?

ITER ist ein Tokamak.

Aber in dem Zusammenhang haben wir noch gar nicht über einen Stellarator geredet.

Stellarator?

Stellarator.

Das ist nämlich der, der das Magnetfeld von außen hat.

Und da bräuchten sie so einen Strom nicht treiben im Plasma.

Wir haben komplizierte Spulengeometrie.

Stellarator wird gerade gebaut in Deutschland.

Der Wendelstein 7x, von dem haben Sie bestimmt schon gehört.

Zumindest den Namen habe ich schon mal gehört, ja.

Der Wendelstein 7x, genau.

Warum wird der gebaut, wenn wir doch ITER bauen?

Also könnte es sein, dass die andere Art, so ein Kraftwerk möglicherweise zu betreiben, sich doch als bessere herausstellt.

Ja, kann sein.

Also wir wissen noch nicht, in welche Richtung wir gehen.

Genau, wir haben zwei Prinzipien.

Wir haben den Tokamak und wir haben den Stellarator, wo wir die Magnetfelder von außen aufprägen.

Und so eine Maschine, wo sie die Magnetfelder von außen aufprägen und nicht den Strom treiben müssen, ist von Haus aus dauerstrichfähig.

Das ist ein verleitender.

Wäre also in dem Sinne von Haus aus das bessere Kraftwerk.

Allerdings ist die Maschine wesentlich komplexer.

Ich sagte am Anfang, helikale Spulen, die da rumgehen müssen.

Und wenn da jetzt irgendwo was kaputt geht, dann müssen sie eine helikale Spule durchsägen.

Schlecht für ein Prinzip, für ein Kraftwerk.

Die Maschinen sind unheimlich schwer zu bauen.

Und letztendlich sagen wir, ist ein Stellarator, ist eine Maschinengeneration im Tokamak hinterher.

Das heißt kleiner letztendlich von den Plasma-Eigenschaften gesehen, kann es viele Prinzipien, aber hat noch nicht gezeigt, dass es die gleichen Prinzipien wie im Tokamak möglich sind.

Und wenn man das zeigt, und deswegen wird das Stellarator gebaut, nicht in der Größe wie ITER hat, das braucht man nicht mehr zeigen, weil dann ist die Skalierbarkeit auch gegeben.

Wenn man dieses Konzept zeigen kann, und das soll der Wendelstein 7X sein, dann ist offen, nimmt mal einen Stellarator oder einen Tokamak für ein Demonstrationskraftwerk.

Weil jeder hat so seine Vor- und Nachteile.

Aber von Haus aus als CW-Maschine, Dauerstrich-Maschine, wäre das günstig.

Und sie müssten den Strom nicht treiben.

Wann wird der fertig?

Der hat in Betriebnahme in 2014.

Er ist jetzt schon...

Ah, nächstes Jahr.

Ja, ja, tüchtig weit. wird in Greifswald gebaut vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik.

Ist ein deutsches Projekt.

Ach, ein rein deutsches Projekt.

Ein deutsches Projekt.

Ui, weil der ITER ist ja ein internationales.

Der ITER ist ein internationales Projekt.

Und der wurde in der Zeit der Wende wurde das beschlossen, dass das in Greifswald stattfindet. und ein Teilinstitut von dem hierigen Max-Planck-Institut dort aufgebaut wird.

Weil als von der Tradition her, wir hier am Max-Planck-Institut in Garching, wir haben immer beide Konzepte verfolgt.

Wir hatten auch schon Tokamak-Experimente und Stellarator-Experimente in kleineren Dimensionen.

Die wurden ja immer größer, sagte ich Ihnen.

Also wir hatten vor Folgen beide Konzepte.

Das wird dann der weltgrößte Stellarator.

Im Moment ist der in Japan.

Oder Japan hat den weltgrößten Stellarator.

Und der wird dann abgelöst vom Händelschein-SIMX.

Ist das eigentlich, wenn es ein rein deutsches Experiment ist, wollen wir es



besser machen als die Japaner oder arbeiten wir letztlich dann doch mit den Japanern zusammen?

Nein, wir arbeiten mit allen zusammen.

Okay.

Das ist jetzt nicht irgendwie so ein nationales...

Nein, nein, aber das war die Finanzierungsfrage, wie das letztendlich auf die Füße gestellt worden ist.

Mit welchen Fördermachen letztendlich.

Ja, das kostet ja auch...

Was kostet sowas eigentlich?

Wendelstein-SIMX?

500 Millionen.

Ach, das geht ja.

Ich dachte, jetzt käme dasselbe in Milliarden.

Weil das so...

Ja, ITER hat 15 Milliarden.

Ach, das ist ja auch nicht so viel.

Finden Sie?

Andere Leute finden das wahnsinnig viel.

Also es ist nur die Frage, an was man es misst.

Sie können es an Kohlesubventionen messen, Sie können es messen an Förderungen für andere Bereiche, Sie können es für Großmaschinen...

Kann man an verschiedenen Sachen messen.

Aber an für sich ist es natürlich ein Großforschungsprojekt.

Ja, das ist so.

Also in meiner Wahrnehmung ist das, was Sie hier machen, die am weitesten draußen stattfindende Forschung.

Also ich kann mir nichts vorstellen, was noch weiter...

Ja, was noch mehr Cutting-Edge ist irgendwie.

Und von daher finde ich 15 Milliarden jetzt nicht so viel.

Ich meine, das verbrennt so eine komische Pleitebank wahrscheinlich an einem Tag.

Ja, danke.

Sagen Sie das mal.

Den ganzen Politikern schenken wir Unterstützung.

Vielleicht habe ich da auch einfach irgendwie die falsche Wahrnehmung.

Aber das ist halt so fortgeschritten, dass ich tatsächlich das Gefühl habe, dass

das nicht viel Geld ist.

Und das ist auch einiger...

Eins unserer Probleme letztendlich, dass viele Leute denken, dass es viel Geld ist für eine Forschung, die man ausgibt.

Und würde man da, sagen wir das mit dem Apollo-Programm, mit viel Risk daran gehen und mehr Geld ausgeben, dann würde man sicherlich einiges sagen, okay, das ist nicht für Erfolgsversprechen, aber parallele Entwicklungen.

Und wenn man schnell vorwärts kommen will, ist immer gut.

Und das muss auch nicht hier in Deutschland sein, das muss weltweit sein, weil es Großforschungssachen sind.

Das können Sie sowieso nicht, wie Sie vorhin andeuten, allein im kleinen Kämmerchen machen und sagen, oh, ich habe jetzt einen Fusionsreaktor.

In einem Glas Selters.

Das ist Großforschung, das ist Internationalität.

Sie sagten, Sie hätten ja auch hier so Fusionsexperimente.

Wie forschen Sie eigentlich?

Ich hatte ja, auch in meinem Kopf ist irgendwo ein riesiger Forschungsreaktor aufgestellt und Sie sitzen eigentlich nur hier und haben die ganze Zeit Zahlenreihen auf Bildschirmen und werten die irgendwie aus.

Haben Sie auch Labore?

Ja, natürlich.

Ich meine, wenn wir jetzt hier zum Beispiel, vorhin sprach ich die Heizung an, wir machen hier in dem Bereich die Neutralteilchenheizung, dann haben wir auch Teststände für diese Neutralteilchenheizung, wo wir die Quellen entwickeln, wo wir das in Beschleunigung machen, die Neutralisation.

Auch Kleinexperimente, die wir dann haben.

Genauso in der Materialforschung.

Sie erzeugen, stellen Materialien her, Sie modifizieren die Materialien, stecken die dann in den Manipulator, wieder in die Fusionsmaschine rein, schauen Sie sich die hinterher an, was passiert ist.

Die ganzen Diagnostiken müssen Sie in Laboren vorbereiten, die Detektoren austesten.

Also sind viele Kleinlabore da.

Die Fusionsmaschine, das Experiment, das wir haben, ist dann, wo alles zusammenkommt.

Wenn Sie mal Gelegenheit haben, das anzuschauen, ist sehr spannend, dieses Experiment.

Das steht hier auch?

Bitte?

Das steht auch hier?

Das Fusionsexperiment steht hier.

Aber Sie werden kaum den Torus erkennen, von dem ich Ihnen die ganze Zeit

erzähle.

Warum nicht?

Weil da zugebaut ist.

Die Gelöte, das wäre ja noch klein.

Also Sie werden die ganzen Maschinen sehen, die drum zu sind.

Auch die Diagnostiken, die Spulen.

Ich war in Adlershof am Bessi.

Das hat mich schon beeindruckt.

Bessi ist lang und schlank.

Wir sind...

Okay.

Haben wir irgendwas vergessen?

Fällt mir jetzt nicht so ein.

Nee?

Werden wir zu unseren Lebzeiten noch ein Fusionskraftwerk, werden wir Strom aus einem Fusionskraftwerk kriegen?

Sind Sie optimistisch?

Also natürlich sind Vorhersagen albern.

Ja.

Aber wenn Sie an die Zukunft denken, ich meine, wenn wir jetzt davon reden, kann ein Fusionskraftwerk, wann muss es eingesetzt werden?

Wann sollte es verfügbar sein?

Also zu unseren Lebzeiten, 20, 30 Jahre, ist schon eine Zeitskala, auf der man denken kann. richtig dringend wird es natürlich dann, wenn die Energiebedarf explosionsartig steigt, wenn Sie irgendwann doch nicht alles mit erneuerbaren Energien decken brauchen.

Man braucht eine Grundlast und ein Fusionskraftwerk ist einfach eine Grundlast.

Aber selbst wenn ich Ihnen das dreifache Geld gebe, können Sie auch nicht schneller forschen?

Nee, aber Sie können parallel forschen.

Okay.

Sie können an mehreren Dingen, an mehreren Orten, Fusionsexperiment, können Sie verschieden auslegen, dass die verschiedene Sachen machen.

Sie können sich jetzt einen Testreaktor vorstellen, indem Sie die Materialien einfach testen.

Dann können Sie sich einen Testreaktor vorstellen, indem Sie nur das Erbrüten testen, parallel dazu.

Und nicht warten, bis eine Maschine wieder alles hat und möglichst flexibel, dass man alles machen kann, wo immer ein bisschen wieder was umgeschmissen wird, damit es miteinander kompatibel ist.

Sondern ich baue eine Maschine, die ich das Brüten zeigen kann.

Ich baue eine Maschine, mit der ich die Materialwechselwirkung mit den Neutronen machen kann.

Wäre das auch Ihr, ich sage mal, feuchter Traum?

Ja.

Parallelforschung?

Mehr Großexperimente in der Fusion, ja.

Parallele arbeiten.

Also muss nur der Leidensdruck der Energiekosten groß genug werden.

Da kann ich nicht mehr allzu lang dauern.

Ursle Fantz, vielen Dank.

Ja, gerne. und da kann ich nicht mehr.

Ja, gerne. und da kann ich nicht mehr.

Bis zum nächsten Mal.