

9. Feb. 10.38.57

RES032_Der_Wendelstein_7-X

Ich bin Holger Klein.

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Ich bin nach Greifswald gefahren.

Auch da gibt es ein Institut für Plasmaphysik.

In Garching war ich ja schon mal.

Jetzt sitze ich hier am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, das auch ein Helmholtz-Institut ist, nämlich beim IPP.

Und vor mir sitzt ein Professor Dr.

Thomas Klinger.

Das ist der wissenschaftliche Leiter von Wendelstein 7X.

Hallo Herr Klinger.

Ja, hallo.

Ist das ein Reaktor?

Nö.

Warum nicht?

Ja, man könnte Platz sagen, weil da nichts drin reagiert.

Aber etwas genauer gesagt, ist es nicht das Ziel dieser Anlage, etwas zum Reagieren zu bringen.

Was ist dann das Ziel dieser Anlage?

Das Ziel dieser Anlage ist, die Bedingungen herauszufinden, unter denen eine Maschine, wir reden von einer Maschine, eine Maschine, die größer ausgelegt ist, tatsächlich die erwünschten Reaktionen erzeugen kann, die in der Sonne passieren.

Also wir imitieren die Sonne.

Jo.

In Greifswald.

Jo.

Scheint ja auch heute.

Scheint, das hat man Schwein gehabt.

Wissen wir wenigstens, wie es aussehen sollte.

Das ist einer der sonnenreichsten Plätze Deutschlands.

Tatsächlich?

Die Insel Usedom ist mit Freiburg immer Nase an Nase um den Rekord.

Das heißt, Sie haben den idealen Arbeitsplatz?

Ja.

Schwein gehabt?

Mit Strand.

Seit wann bauen Sie an dieser Maschine?

Naja, so seit gut 15 Jahren bauen wir, seit 10 Jahren montieren wir.

Das heißt, 5 Jahre Planungsphase hatten Sie vorher?

Ne, 5 Jahre Bauteilebeschaffungsphase.

Ah, und die Planungsphase, war die dann nochmal länger?

Die war nochmal davor, ja.

Wie lange hat die gedauert?

Aber die Planungsphase hat am Ende 20 Jahre gedauert, weil die Planung ist permanent nachgezogen, durchgezogen worden.

Aber die Konzeptplanung, die muss natürlich stehen, wenn Sie so ein Projekt beantragen, wenn Sie dafür Geld beantragen, dann muss eine konzeptionelle Planung vorliegen.

Die ist schon Ende der 80er gestartet worden.

Da sehen Sie dort unsere sogenannten orangenen Bücher.

Drei dicke Bücher?

Drei dicke Bücher.

In diesen orangenen Büchern ist das ganze Grundkonzept, die ganze Grundkalkulation, das Vorgehen, schon mal drin festgehalten.

Und das wurde international begutachtet und bildet dann die Entscheidungsbasis für die Zuwendungsgeber, für die Geldgeber, das Projekt zu finanzieren.

Also Wendelstein 7X ist eine Fusionsmaschine.

Warum, der Volksmund nennt es Fusionsreaktor, warum nennen wir das Fusionsreaktor?

Ich glaube, wenn man an den Begriff Reaktor gewöhnt ist, aus anderen...

Flitzen Atome rum, kommt Strom raus.

Ja, aus anderen Umständen, nicht aus anderen vergleichbaren Anlagen heraus.

Also wahrscheinlich kommt es einfach vom Atomreaktor, um das mal klar zu sagen.

Aber wie gesagt, da muss man ein bisschen präzise sein.

Das sind Forschungsanlagen, mit denen wir das Reaktorpotenzial dieses Konzeptes herausfinden wollen.

Und das Konzept ist welches?

Das Konzept hört auf den Namen Stellarator.

Das ist der Sonnenbringer.

Der Sonnenbringer?

Ja.

Welche Sprache?

Stellar, Stellar, Stellar, der Stern.

Da kommst du her.

Verstehe, verstehe.

Im Gegensatz zu diesem anderen Konzept, was ich in Garchen angeschaut habe, Tokamak.

Das ist ja ein Akronym.

Für?

Ein russisches Akronym.

Leider kann ich nicht gut genug russisch, um das jetzt vorzulesen oder zu sagen.

Da würden alle russischsprachigen sich zu sehr darüber amüsieren.

Aber es heißt, übersetzt steht es für Torus in Magnetfeldspulen.

Beide, also Tokamak und Stellarator, versuchen die Sonne zu imitieren.

Was sind die Unterschiede zwischen diesen beiden Maschinentypen?

Also ich will erstmal erklären, was gleich ist.

Also beide haben eine Ringform.

Reden wir von einem Torus.

Sieht aus wie ein Donut, ne?

Ein bisschen.

Oder ein Treckerreifen.

Treckerreifen.

Was erdiges.

Ja, in das landwirtschaftliche Umfeld.

Gut.

Also hat eine Reifenform.

Beide haben eine Reifenform.

Das ist das erste, was gemeinsam ist.

Beide haben ein reifenförmiges Magnetfeld.

Also erzeugen ein reifenförmiges Magnetfeld.

Mithilfe von einem Satz von Spulen.

Von stromdurchflossenen Spulen.

Stromdurchflossene Spulen erzeugen ein Magnetfeld.

Wenn man diese Spulen richtig anordnet, dann entsteht ein reifenförmiges Magnetfeld.

So, und da ist die Grundidee, dass man geladene Teilchen, die diesen Materiezustand Plasma bilden, dass man die auf diese reifenförmigen Bahnen setzt.

Also ich habe meinen Treckerreifen und möchte, dass diese geladenen Teilchen innerhalb des Treckerreifens auf einer bestimmten Bahn sind.

Ja, die sitzen da so auf Bahnen, die von dem Magnetfeld gegeben sind.

Feldlinien.

Ja, da reden wir in der Physik von Feldlinien.

Das ist so ein abstrakter Begriff.

Kann man gar nicht.

Kann ich nichts mit anfangen.

Kann man auch nicht sehen.

Also das ist wirklich ein rein abstrakter Begriff.

Das ist eine große intellektuelle Leistung der Aufklärung, sich sowas dann vorstellen zu können, obwohl man es nicht sieht.

Faraday.

Maxwell.

Gut, okay.

Google ich.

Das heißt Feldlinien.

Also das heißt, man kann sich das wie Bahnen vorstellen.

Ändere wie Straßen.

Das heißt also, wie so die Autorchen auf der Autobahn sollen diese geladene Teilchen auf wohl definierten Straßen halt im Kreis fahren.

Kann man sich wie so eine kreisförmige Autobahn oder wie so ein Märklin Starter Set vorstellen.

Warum sollen die eigentlich im Kreis fahren?

Weil sie nicht an die Wand klatschen sollen.

Dann werden sie weg.

Könnte ich es aber doch auch gerade bauen und echt lang machen.

Ja, das ist aber viel zu teuer.

Hat man probiert.

Also das hat man probiert.

Gute Idee von Ihnen.

Danke.

Aber hatten viele Kollegen auch da in den 50ern, 60ern.

Hat man probiert.

Lang und am Ende das irgendwie so ein bisschen zuquetschen.

Nicht, dass es dort reflektiert wird, aber das hat nicht geklappt.

Das sind so lineare Maschinen.

Die nennen sich eine Spiegelmaschine.

Da sind riesengroße Dinger gebaut worden.

Los Alamos und so.

Aber die sind dann irgendwann wieder eingestampft worden, wo man festgestellt hat.

So geht es nicht.

Nach allen möglichen Konfigurationen.

Wir reden da von Konfigurationen.

Also Anordnung.

Ganz lang und mit Spiegeln und irgendwie gewunden und rund und alles mögliche.

Hat sich denn so evolutionär?

Diese ringförmige Konfigurationen durchgesetzt.

Das heißt, die gab es auch schon ganz am Anfang.

Also sowohl der Tokamak als auch der Stellarator.

Die sind 1959 vorgeschlagen worden.

Der Tokamak in Russland.

Das war ein russisches Akronym.

Das Kurchatow-Institut.

Der Stellarator in Princeton in den USA.

Von unserem hochgeschätzten Astronomen, Astrophysiker Leimann-Spitzer.

Und die gab es von Anfang an.

Aber da gab es eben noch ein Dutzend andere Ideen, wie man das machen könnte.

Ich finde, hat man da immer weitergearbeitet.

Parallel an all diesen Ideen.

Am Ende übrig geblieben.

Wie gesagt, wie bei einer Evolution.

Sind letztlich noch der Tokamak und der Stellarator als so die, die es am vielversprechendsten sind, die sich am besten durchgesetzt haben.

Survival of the fittest.

Die haben sich am besten durchgesetzt, um die Sonne nachzuhelfen?

Um die Parameter zu erreichen, die man braucht, damit die Prozesse, die in der

Sonne passieren, auf der Erde geschehen.

Welche Prozesse sind das?

Das ist der Fusionsprozess.

Bei dem passiert was?

Da werden leichte Kerne zu schwereren Kernen verschmolzen.

Woraus bestehen die leichten Kerne?

Jetzt müsste ich auf das Periodensystem gucken.

Ja, also die leichten sind ganz links.

Die schweren sind ganz rechts.

Und wir wollen die in der Mitte haben.

Ja, ja.

Also grob.

Nicht, wir sind da irgendwo im Periodensystem, so links oben.

Und wenn man diese leichten Kerne verschmilzt, dann bleibt Energie übrig.

Energie, die man abführen kann, die man dann in Wärme umwandeln kann.

Und wenn man Wärme hat, dann kann man daraus elektrischen Strom machen.

Also wenn man so will.

Das ist so, da baut man sich so eine Miniatur-Sonne.

Wirklich eine ganz, ganz winzig kleine Sonne.

Die Sonne ist ja ziemlich groß.

33.000 Erden passen da rein.

Also wir wollen das im Miniaturformat machen.

Also so ein menschlich realisierbarer Format.

Und dann setzen wir quasi einen Kessel Wasser auf drauf.

Ja.

Ja, das ist die Idee.

Gut, aber dafür muss man Parameter erreichen.

Da muss man also in eine bestimmte Ecke hin.

Von Temperaturen, von Dichten.

Damit das wirklich läuft.

Damit es nicht nur einmal, nicht nur zweimal läuft pro Sekunde, sondern eben halt oft Milliarden Mal pro Sekunde.

Also effizient läuft.

Nämlich dass Fusion, ich werde manchmal gefragt, geht denn Fusion?

Ja, jeden Tag, ständig, in jeder Sekunde, in jeder Mikrosekunde, in jeder

Millionsten Sekunde.

Ständig fusioniert etwas.

Da oben zum Beispiel.

Achso, also in der Sonne.

Ja.

Aber ich glaube, wenn Sie gefragt werden, ob das denn geht, heißt das hier auf der Erde, oder?

Ja, aber trotzdem gibt es manchmal so eine gewisse Unklarheit, ob es um den Prozess an sich geht, den Fusionsprozess an sich, dass wir den erforschen.

Und das ist Kernphysik.

Das Verschmelzen dieser leichten Kerne zu schweren, das ist Kernphysik.

Und die ist sehr gut bekannt.

Ich wollte gerade sagen, das erforschen Sie jetzt aber nicht mehr.

Nee, das ist sehr gut bekannt seit den 60 Jahren.

Das ist gegessen.

Das ist so in Büchern wohl abgedruckt und so.

Das ist wirklich einfach Wissen.

Und das erforschen wir nicht, sondern wir erforschen die Bedingungen, unter denen dieser Fusionsprozess möglichst häufig pro Zeiteinheit passiert.

Weil wir viel Energie rausziehen wollen.

Um irgendwann sagen zu können, es ist durchgehend.

Ja.

Also die Fusion findet durchgehend statt.

Ja, sie findet einfach massiv statt, sodass man wirklich viel Energie davon hat.

Wir wollen ja nicht eine große Anlage bauen und dann einen Watt Strom rauskommt.

Nö, ja.

Da kann man auch die Bauarbeiter auf so Fahrräder setzen und Dynamo.

Eben.

Nicht, also es geht wirklich um die Menge.

Ja.

Also es muss, die Menge ist einfach gegeben durch die Häufigkeit dieser Fusionsprozesse.

Jeder Fusionsprozess gibt ein kleines, kleines Bröckchen Energie.

Und das heißt, da muss man sich darum kümmern, das muss oft passieren.

Und das geht letztlich nur in diesem Plasma-Zustand, indem man ein Plasma aus sehr leichten Kernen mischt.

Ein Plasma ist ein, wenn ich versuche mich zu erinnern, ein sehr, sehr heißes Gas, das so heiß ist, dass die Protonen und Elektronen da so frei drin rumfliegen und nicht mehr aneinander kleben.

Ja, also ein normales Gas, was wir jetzt so etwa einatmen hier, ist ja auch ein Gemisch, so aus Stickstoff, aus Sauerstoff, ein bisschen anderes Gedöns dabei.

Und das sind alles neutrale Gase.

Das heißt also, da ist der Atom...

Elektrisch neutral, oder?

Ja, elektrisch neutral, also das heißt, da ist der Atomverbund, nehmen wir mal so ein Wasserstoffatom, der ist noch vollständig, da sind alle Elektronen dran, die da zu dem Atom gehören.

Und der Kern ist natürlich da und das Gleiche, und dann bilden sie noch ein Molekül obendrein.

Das sind also alles heile Welten.

Die sind so, wie das Atom sein soll.

Wenn man jetzt so ein Gas heiß macht, sehr heiß macht, dann kommt man irgendwann zu einem Punkt, wo diese Atomverbände sich anfangen aufzulösen.

Und dann lösen sich als erstes die Elektronen ab davon.

Die ersten Elektronen, die beginnen abzuheben und schwirren dazwischen rum.

Und ich glaube, wenn man es dann noch heißer macht, wird immer weniger Elektronen da und irgendwann ist dann der Atomkern nackt, hat keine Elektronen mehr.

Und der ist dann positiv geladen und die Elektronen, die schwirren als negative Ladung so in dem Zwischenraum herum.

Wenn man das Ganze so nimmt, das Ganze als Volumen, sind das immer noch die gleichen Ladungsträgerzahlen natürlich.

Also das heißt, man hat ja nichts verändert, man hat ja nichts dazu getan.

Und so ein Zustand nennt sich dann Plasma.

Und so ein Plasma hat man in der täglichen Erfahrung, wenn Sie so einen Blitz sehen.

Also so ein Blitz, der von der Wolke in die Erde zuckt, dann wird dieses Gas, was wir hier haben, also unsere Atmosphäre, wird dann von diesem neutralen Zustand durch die hohe Temperatur des Blitzes in einen Plasmazustand verwandelt.

Und das ist ein natürlich auftretendes Plasma.

Jetzt hat so ein Blitz ja sehr viel Energie, wie wir spätestens seit Marty McFly wissen.

Ja, aber sehr kurz.

Aber diese Energie muss ich ja erstmal aufwenden, um das Plasma zu erzeugen.

Das heißt, wenn ich jetzt hier die Sonne nachäffen will, muss ich viel Energie in so eine Maschine reingeben, um den Plasmazustand zu erzeugen.

Den Plasmazustand zu erzeugen, in der Hoffnung, dass ich dann wieder noch mehr Energie rausziehen kann.

Ja, ja.

Das geht.

Aber die Energie, die wohnt ja drin.

Die wohnt ja in den Kernen.

Also wenn sie die Kerne verschmelzen, und wir reden jetzt erstmal ein bisschen konkret von Wasserstoff, das ist ein Wasserstoffplasma, von dem wir reden, wenn sie diese Kerne verschmelzen, dann kommt ein neuer Kern dabei raus.

Das heißt, konkret in diesem Fall wird schwerer Wasserstoff und superschwerer Wasserstoff, können wir gleich mal darüber reden, was das ist, wird verschmolzen zu Helium.

Das heißt, wird ein neuer Atomkern draus.

Anderes Element.

So, und wenn man das auf die Waage legt, das heißt, sich den Wasserstoff, also den superschweren Wasserstoff auf die Waage legt, und das Helium auf die Waage legt, dann stellt man da fest, das ist ein kleiner Masseunterschied.

Das Helium ist etwas leichter, der Heliumkern.

Was da passiert ist, ist die Umsetzung der berühmtesten Formel der Physik, die jeder kennt, E gleich mc^2 .

Ah, ja.

Die so immer auf den T-Shirts draufsteht.

Jeder kennt, keiner versteht.

Nee, alle, die wir ganz toll finden, die so auf T-Shirts draufsteht, wo sich manche Leute eintätowieren lassen und so.

Das habe ich noch nicht gesehen.

Dann gehen sie mal in Berlin auf der Straße spazieren.

So viele Physiker laufen da rum.

Das machen irgendwelche Hipster.

Also, das heißt, es gibt einen Masseunterschied.

Sie verschmelzen schweren und superschweren Wasserstoff, sie kriegen einen Heliumkern.

Der Heliumkern ist leichter als die Summe der beiden Ausgangsprodukte.

Das heißt, irgendwo muss Masse hin verschwunden sein.

Da ist ein Massedefekt, heißt das dann in der Physik.

Ein Masseunterschied.

Und diese Masse, ich darf sagen, das Symbol m , das wird dann mit der Lichtgeschwindigkeit im Quadrat multipliziert, ist dann genau die Energie, die dann übrig geblieben ist.

Wo holen wir dann die Lichtgeschwindigkeit gerade her?

Das steckt in der Relativitätstheorie drin.

Da wollen wir jetzt mal nicht ausschreiben.

Versuch was wert.

Aber die ist wichtig für die Relativitätstheorie.

Das können wir festhalten.

Okay.

Die Lichtgeschwindigkeit, ja.

So, okay.

Das heißt also, da kommt ein Energieüberschuss.

Und dieser Energieüberschuss, der wird in Geschwindigkeiten umgesetzt.

Ich habe die Geschichte noch nicht vollständig erzählt.

Es kommt nicht nur ein Heliumkern dabei raus, sondern auch ein Neutron.

Jetzt wieder etwas.

Ein Neutron ist ein Kernbaustein.

Also Kerne bestehen wieder aus Bausteinen.

So wie Legosteine, kann man sich das vorstellen.

So alles so zusammenbasteln sich so die Kerne der Periodensysteme, also der Elemente im Periodensystem.

Und ein Neutron ist so ein Kernbaustein.

Okay.

Der ist neutral, deshalb heißt er Neutron, der hat keine elektrische Ladung.

Also das heißt, wenn man den, ich gehe nochmal wieder zurück, schweren Wasserstoff, super schweren Wasserstoff verschmilzt, dann erhält man einen Heliumkern und ein Neutron.

Ein einzelnes kleines Lacktes Neutron.

Können wir das Neutron überhaupt kontrollieren, wenn es keine Ladung hat?

Da kommen wir gleich noch zu.

Okay, Entschuldigung.

Erstmal kriegen diese beiden Produkte, also das heißt der Heliumkern und das Neutron, kriegen natürlich die Geschwindigkeit.

Das muss man sich jetzt richtig vorstellen.

Also das ist wie so ein ganz komischer Zusammenstoß.

Sie haben also zwei Stoßpartner, das heißt der schwere und der super schwere Wasserstoff.

Die stoßen zusammen mit einer bestimmten Geschwindigkeit und dann verschmelzen die.

Und das, was dabei rauskommt, fliegt viel, viel, viel, viel schneller auseinander.

Als die beiden Wasserstoffe vorher schnell waren.

Ja.

Das heißt, die werden durch den Zusammenstoß gewaltig beschleunigt.

Und das ist die Energie.

Und diese Geschwindigkeit, diese kinetische Energie, das ist das, woran wir interessiert sind.

Und das, was man dann durch Abbremsen an der Wand wiederum in Wärme umwandeln kann.

Und da kommt wieder das Neutron rein.

Also das Neutron wird von dem Magnetfeld nicht beeinflusst, weil es ja neutral ist.

Also es schert sich nicht um die Autobahn.

Sondern geht einfach schnurstracks geradewegs raus, bis es auf eine Wand trifft.

Eine Wand ist natürlich für so ein Neutron schon ein Hindernis.

Das heißt, es wird abgebremst, macht eine Vollbremsung.

Das kennt man auch vom Autofahren.

Wenn man Vollbremsung macht, dann hat man heiße Bremsen danach, nicht heiße Bremsscheiben.

Diese Wärme wird abgeführt durch ein Kühlmittel und ein Dampfumwand.

Auf diese Herdplatte stellen sie dann den Wasserkessel.

Das ist die Herdplatte.

Das ist die ganze Story.

Was ich immer noch nicht wirklich, ich habe immer noch nicht verstanden.

Warum lassen wir die im Kreis flitzen?

Also warum lassen wir die überhaupt flitzen?

Warum nehmen wir nicht einfach zwei von diesen Wasserstoffatomen und klatschen die aneinander und nehmen dann das Neutron?

Naja, und darum geht es.

Die brauchen eine Ausgangsgeschwindigkeit.

Natürlich.

Die müssen erstmal eine Hürde überwinden.

Denn die stoßen sich auch ab.

Die sind ja beide positiv geladen.

Also der Kern des schweren und des superschweren Wasserstoffes sind beide positiv geladen.

Und positive Ladungen stoßen sich ab.

Damit sie das überwinden können, müssen sie sich mit Tempo annähern lassen.

Damit sie sich zumindest nahe kommen, sehr nahe kommen bis zu einer bestimmten Grenze.

Und wenn sie sich nahe genug gekommen sind, dann übernehmen andere Kräfte die Rolle und dann werden sie dann zusammengesaugt.

Und darum ist es da auch so heiß drin.

Ja, und deshalb muss man es heiß machen.

Deshalb muss man es ganz heiß machen.

Weil Hitze im Prinzip dasselbe ist wie Teilchengeschwindigkeit.

Hitze, also hohe Temperatur, das bedeutet hohe Geschwindigkeit.

Temperaturreichgeschwindigkeit, das ist äquivalent.

Also das heißt, das ganze Ziel ist, erstens ein Plasma zu erzeugen, das ist dann noch relativ kalt.

Und dann Tempo reinzubringen, Geschwindigkeit reinzubringen, das heißt das heiß zu machen.

Damit diese Barriere überwunden werden kann.

Damit diese abstoßende Kraft überwunden werden kann.

Dass es dann häufig, also häufig, häufig zu diesen Verschmelzungen kommt.

Wodurch dann wiederum das, was dabei entsteht, nochmal tüchtig mehr Geschwindigkeit kriegt.

Und das ist dann der Überschuss.

Das geht eben zurück auf Ihre Frage.

Erstmal müssen wir es reinstecken, um die auf Geschwindigkeit zu bringen.

Wo kommt die Energie denn überhaupt her?

Und die kommt dann aus jedem dieser einzelnen Verschmelzungsprozesse, wo am Ende die Produkte auf Tempo gebracht werden.

Erzeugen Sie das Plasma außerhalb Ihres Ringes?

Oder wird das im Ring erzeugt?

Nein, das wird alles im Ring erzeugt.

Und zwar permanent.

Mich wird immer wieder nachgeheizt sozusagen.

Und das Plasma sitzt komplett in diesem Ring drin.

Ist also eingeschlossen in diesem Ring.

Und von außen geben Sie nur schweren und superschweren Wasserstoff dazu?

Also über eine Düse einspritzen?

Ja, richtig.

Aber dann kühlt das doch auch wieder ab?

Ja, deshalb muss man auch nachheizen.

Weitere Zweihter.

Wenn irgendwann genügend Energie drin ist in dem Ganzen.

Diese schnellen Teilchen, also die superbeschleunigten Teilchen, diese Heliumkerne, die nach der Fusion entstehen.

Die heizen ja selber das Plasma auch wieder auf.

Die bringen da wieder Energie rein.

Und irgendwann balanciert sich das alles schön aus.

Und dann reden wir von einem brennenden Plasma.

Und das ist wie so eine brennende Kerzenflamme.

Sie müssen erst mal eine Kerze erstmal anzünden.

Mit einem Streichholz.

Und dann zack.

Dauert es ein bisschen, bis sie so anständig steht.

Irgendwann stellt sich so ein Gleichgewicht ein.

Und dann brennt sie ganz friedlich vor sich hin.

Letztlich ist so ein Fusionsprozess.

Ist nichts anderes als eine brennende Kerze.

Eine nukleare Kerze, wenn Sie so wollen.

Nur, dass eben bei dieser brennenden Kerze, dass da ein Gas verbrennt.

Chemisch.

Das ist eine chemische Verbrennung.

Und hier haben wir es mit einer nuklearen Verbrennung zu tun.

Das heißt eine Kernverbrennung.

Aber es ist ein Brennprozess.

Und es hat viele Analogien.

Also auch bei einer Kerze, wenn Sie dann das Fenster aufmachen, es kommt ein Windstoß, dann ist die Kerze aus.

Das gleiche ist hier.

Wenn wir das geringste falsch machen, fällt das sofort wieder in sich zusammen, ist aus.

Es gibt so eine schöne, inhärente Sicherheit bei der Angelegenheit.

Ich wollte gerade sagen, ist das denn eigentlich gefährlich?

Also immer wenn man mit Atomen rummacht, ist ja Doktor Seltsam nicht weit.

Ja, ja.

Das ist in der Vorstellung der meisten Menschen.

Ja, ja, so ist das mit Atomen.

Aber am Ende bestehen wir halt draußen.

Also so fremdartig sollte einem das gar nicht sein.

Ja, die Welt ist immer gefährlich.

Also Chemie ist ja auch gefährlich.

Erst das Wasser, dann die Säure.

Ja, und Kraftwerk ist auch gefährlich.

Auch das beliebte Gaskraftwerk oder so.

Also eine Gasexplosion, das ist auch immer schon nicht toll.

Das heißt also, überall wo Energie entsteht, ist erstmal grundsätzlich auch eine Gefahr da.

Das ist erstmal so weit so banal.

Was sind denn hier jetzt die Gefahren, beziehungsweise was sind die Dinge, auf die man aufpassen muss?

Ja, es handelt sich natürlich um einen nuklearen Prozess.

Das heißt also, man muss sich mit Radioaktivität auseinandersetzen.

Aber das heißt doch immer, dass bei Fusionskraftwerken, also wenn wir dann irgendwann mal Strom aus solchen Maschinen gewinnen können, dass da überhaupt gar nicht Radioaktivität ist?

Doch, natürlich ist Radioaktivität im Betrieb.

Also allein schon die Neutronen, die berühmten Neutronen, die ich vorher

beschrieben habe.

Diese ungeladenen Kernbausteine, die also schnurstracks ihren Weg aus dem Plasma raus in die Wand reinmachen.

Alle kriegt man nicht von der Wand eingefangen.

Das heißt also, einige machen ihren Weg ganz durch und gehen dann schön schnurstracks weiter in die entsprechende Halle rundherum.

Manche halt vielleicht auch noch, ein paar dann auch noch durch die Betonwand, die um die Halle herum ist.

Und da muss man eben die Betonwand so auslegen, dass die Anzahl der Neutronen, die es dann noch durch diese Betonwand durchmachen, dass die auf einem so niedrigen Niveau ist, dass es keinen Menschen schert.

Und das ist Strahlenschutz.

Und während diese Maschine läuft, hat man sich gefälligst nicht in dieser Halle rumzutreiben.

Ja, die Wände waren dick, das habe ich gesehen.

Wie dick ist das?

1,80 Meter.

1,80 Meter, ja.

Wir erzeugen auch gar nicht viele Neutronen hier.

Warum heißt das Ding eigentlich Wendelstein 7x?

Hätte man das nicht irgendwie Gröffatz oder so nennen?

Größte Fusionsmaschine aller Zeiten oder so?

Nee, den Begriff hätte ich jetzt aus vielen Gründen nicht gerne.

Okay, Gröhmatz.

Ja, schlechte Assoziation.

Nee, Wendelstein ist ein historisch bedingter Name.

Muss ich eine kleine Story zu erzählen.

Der Stellarator als solches, also als der so entworfen wurde, das war finsterste Kalte Kriegzeit.

Das waren so Ende 50er Jahre.

Ist das ursprünglich mal Rüstungsforschung gewesen?

Ja.

Nee, nee, nee.

War es nicht.

Aber das geht es in die Richtung.

Das war Kalte Kriegszeit.

Und alle waren schrecklich neurotisch.

Alle haben darauf geachtet, nicht?

Also die kalten Kriegsopponenten haben darauf geachtet, jeder muss seine Technologie für sich behalten, nicht?

Man könnte ja was draus machen, nicht?

Wo es einen Vorteil in diesem Wettbewerb der Großmächte, der Supermächte denn verschafft.

Also war die Forschung, die Fusionsforschung, erst mal hat sich den Stempel classified bekommen.

Geheimforschung.

Von den USA und auch von Russland.

Also beide Seiten haben an der Fusionsforschung intensiv gearbeitet.

Russland und USA.

Und haben das erst mal komplett unter Geheimhaltung gestellt.

Das ist dann, 1959 ist denn diese Geheimhaltung aufgehoben worden, als die Militärs festgestellt haben, damit kann man gar nichts anfangen.

Da kann man überhaupt keine Waffe draus bauen.

Das ist militärisch völlig uninteressant.

Das ist vielleicht mal ein Kraftwerk, aber Kraftwerke haben wir eh.

Also da haben die diskutiert.

Damals hat auch keiner darüber nachgedacht, dass irgendwo mal fossiler

Brennstoff...

Ja, also man dachte, man macht sowieso alles mit Kernenergie.

Stimmt.

Das war die große Euphorie der Kernenergie.

Da hat man gesagt, naja, lass die mal machen.

Aber wichtig ist das für uns nicht.

Also militärisch wichtig ist das für uns nicht.

Da wurde also die Geheimhaltung aufgehoben.

Und da gab es eine berühmte Konferenz in Genf, wo denn das erste Mal die Fusionsforscher aus England, aus den USA, aus Russland, Deutschland, wo die dann zusammengekommen sind.

Und sich so austauschen konnten.

Und so festgestellt haben, jeder von dem anderen verstaunen, festgestellt haben, was der schon gemacht hat, wie weit die sind, was für Unterschiede so sind.

Das war natürlich sehr, sehr spannend.

Ist das überhaupt noch vorstellbar?

Nein, in der heutigen Welt ist das ganz unvorstellbar.

Ich meine schon gar nicht in den Zeiten des Internet und der Wikileaks.

Na gut, also das heißt, das waren ja andere Zeiten. 50er Jahre, da konnte man

sowas auch wunderbar geheim halten.

Da war es großes Staunen, was denn der andere gemacht hat.

Und wahnsinnig spannend.

Und haben alle ihre Maschinen mit nach Genf genommen und gezeigt.

Die waren ja noch nicht so groß wie der Wendelstein jetzt.

Die waren auch so auf den Tisch groß.

Also ganz lustig.

Und da haben dann...

Moment, die waren auf Tischgröße, aber da war schon Fusionsreaktion.

Nö, da war noch weit entfernt davon.

Man hoffte ja am Anfang, dass man es viel kleiner hinkriegt.

Aber da hat man es doch überhaupt nicht vernünftig verstanden.

Und da dachte man auch, dass man das so als kleinen Tischapparat braucht.

Und da hat man dann noch sich im Kopf gekratzt.

So, warum kommen wir da nicht hin?

Über das Thema Größe sollten wir später nochmal reden.

Okay, naja.

Und wenig später wurde ja auch unser Institut gegründet von Werner Heisenberg und Ludwig Biermann in Garching.

Und 1961 war das ja.

Und naja, da war diese Konferenz gerade gewesen.

Und da hatte man gerade noch diese neuen Informationen aufgesogen.

Und das war ja auch ein Grund, so nicht zu sagen, ja, jetzt muss die Max-Planck-Gesellschaft einsteigen.

Und es wurde aber erst mal das GmbH gegründet, dann später die Max-Planck-Gesellschaft eingebaut.

Also ein bisschen komplizierte Geschichte.

Aber wie auch immer, auf jeden Fall ist da Deutschland in Ernsthaft in diese Forschung eingestiegen.

Und das war dann halt in Garching.

Da war in Garching noch nicht viel.

Michels war noch ein ganz kleiner Forschungsstandort.

Nicht wahr, noch weit das Kartoffelfeld.

Und naja, da hat man sich überlegt, ja, wie nennen wir denn dieses Experiment?

Nicht bei diesem, da haben wir mehrere Experimente aufgebaut, aber halt dieses Experiment, was dieser amerikanischen Idee folgen sollte, dieser Stellarator.

Und da hat man den ersten Stellarator so aufgebaut in Garching.

Und dieses geheim gehaltene Projekt in den USA, das hieß Project Matterhorn.

Ah.

Nicht, nämlich die Militärs geben ihren Projekten oder ihren Unternehmungen ja immer irgendwelche Decknamen.

Nicht so, Desert Storm, Matterhorn.

Nicht so, nicht so.

Nicht, das sind immer so schöne, knallige Namen.

Nicht so.

Nicht, wo man dann sich nichts darunter vorstellen kann, die auch nichts mit dem Inhalt zu tun haben.

Nicht, die möglichst absurd weit weg davon sind, damit kein Spion raten kann, was dahinter ist.

Manhattan.

Ja, Manhattan Project und so, nicht?

Das ist so militärische Denke, so nicht, dass man dann irgendeinen Decknamen da nimmt.

Das ist also der Deckname des US-amerikanischen Stellarators gewesen.

Da haben sich dann unsere Kollegen in Bayern gesagt, so, hm, da haben sie das gleich so ein...

Das ist gleich so ein...

Das ist gleich so ein...

Das ist gleich so ein...

Das ist so ein Berg aus den Alpen geklaut, nicht?

Da haben wir doch unseren Hausberg, unseren Münchner Hausberg, wo oben drauf ein schöner Biergarten ist, der Wendelstein.

Und da fährt man immer gerne hin, so zum Runtergucken oder zum Biermaß trinken.

Und das ist dann doch ganz nett.

Und dazu muss man sich dann noch überlegen, warum man der Wendelstein.

Wendelstein heißt, da hat so Serpentinstraßen da hoch, so gewendelte Straßen.

Das wendet sich so hoch, die Straße, der hat so seinen Namen.

Diese spiralige Straße, die da so hoch führt, die erinnert auch so ein bisschen an diese spiraligen Spulenausführungen der frühen Stellaraturen.

Das war so ein bisschen suggestiv.

Irgendwie fand man, ist das ein netter Name dafür.

Und dann hat man das eben Wendelstein genannt.

Das war dann der Wendelstein 1.

Dann gab es einen Wendelstein 1a, einen Wendelstein 1b, einen Wendelstein 2a und einen Wendelstein 2b.

Das heißt, wir sitzen jetzt gerade neben der siebten Generation Wendelstein. sozusagen mit den ganzen A's und B's sind es sogar noch ein paar mehr Generationen.

Ein paar gab es auch nur auf dem Papier.

Der Wendelstein 2a, der steht im Deutschen Museum in München zum Bestaunen.

Nicht so als historisches Experiment.

Wir sind jetzt so hier bei der wievielten Generation, also bei einer späten Generation dieser ganzen Entwicklung.

Warum steht der ausgerechnet in Greifswald?

Also diese ganzen Gebäude und so, die sind nur für diese Maschinen gebaut worden.

Alles nur für Wendelstein.

Ich war sehr fasziniert, als ich dann darauf zumarschiert bin.

Weil ich dachte, ja, da steht jetzt so eine Halle und da ist ein Ding drin.

Aber das ist ja schon ein Rieseninstitut.

Hier ist ein Rieseninstitut auf die grüne Wiese gestellt worden.

Und das ist ein Wendekind.

Ein Wendekind?

Ja.

Das heißt, Sie bauen hier schon seit 20 Jahren, hatten Sie eingangs gesagt.

Sind Sie von Anfang an dabei?

Nee. 1999 bin ich hier nach Greifswald gekommen. 2001 bin ich hier zum Institut hinzugestoßen, hinzugebeten worden.

War das Absicht?

Wollten Sie hier hin?

Ich bin gefragt worden.

Warum?

Weiß ich nicht.

Müssen Sie die fragen, die mich gefragt haben?

Ach, tun Sie nicht so.

Sie wissen, warum Sie gefragt wurden.

Irgendeiner muss das ja machen.

Was für Qualifikationen muss man mitbringen, um gefragt zu werden, ob man sich um den Aufbau einer, das ist ja unsere, im Grunde ist es gerade unsere aktuelle nationale Fusionsmaschine, oder?

Ja, ja, das ist das größte nationale Fusionsprojekt momentan, was

vorangetrieben wird im Aufbau.

Ja, ja.

Ja, gut, also erstmal bin ich als Plasmaphysiker gefragt worden.

Also ich bin ans Institut eingestellt worden als Turbulenzforscher.

Weil ich habe mich da viele Jahre mit Turbulenz beschäftigt.

Turbulenz ist wichtig für Fusionsforschungsanlagen.

Weil im Kreis flitzende Gase, die sind halt nicht glatt.

Die sind nicht glatt, das sind Kreis flitzen, das ist mal das einfache Bild.

In Wirklichkeit bilden sich da Turbulenzen aus, weil es ja auch viele Teilchen sind, die miteinander wechselwirken, also sich gegenseitig sehen.

Diese Wechselwirkung führt dann dazu, dass es dann irgendwann beginnt, so turbulente Bewegungen, uneratische Bewegungen zu machen.

Und diese eratischen Bewegungen führen dazu, dass viel mehr Teilchen, als man es haben möchte, dann am Ende doch an der Wand landen.

Also das ist mal das, was man nicht haben, wofür diese ganze Magnetfeldgeschichte auch da ist.

Die Teilchen dürfen nicht mit der Wand in Berührung kommen.

Nicht deshalb macht man den Ring.

Weil sie dann sofort abkühlen.

Deshalb macht man das Magnetfeld, nämlich sobald die Teilchen in die Wand kommen, werden sie mit einem Schlag kalt und peng raus aus dem Spiel.

Kalt ist dann, also wie heiß sind sie, die Teilchen?

Also die Teilchen an sich, das dünne Gas, was da drin ist, die umgerechnete Temperatur, haben eine Temperatur von gut 100 Millionen Grad.

Und wenn sie schlagartig kalt werden, was bezeichnen sie als kalt?

Raumtemperatur, 100 Grad oder so.

Ach, die kommen schlagartig so weit runter.

Aber das ist ja kein Problem, weil die Wand ist ja massiv und dieses Gas ist extrem dünn.

Also eine Million Mal dünner als unser atmosphärisches Gas.

Das heißt, wir reden ja auch nicht von vielen Teilchen, sondern das ist so ein relativ schnelles Teilchen, kommt in Kontakt mit der kalten Wand.

Und diese kalte Wand besteht wiederum auch aus Atomen.

Das sind halt unendlich viel mehr davon.

Weil es eine Wand ist und die ist ja auch dichter.

Also eine Wand ist massiv.

Das können Sie sich auch, also einfach um das mal zu illustrieren, die Mengenverhältnisse.

Wir werden hier im Wendelstein 7X 0,1 Gramm Gas drin haben.

0,1 Gramm Wasserstoffgas.

Ja.

Und so das Gesamtgewicht der Wand, die dieses Gas so sieht, das sind sowas wie 50 Tonnen oder so.

Ja.

Also 0,1 Gramm versus 50 Tonnen.

Das heißt, ja, das ist nichts.

Ja.

Geht die Wand davon kaputt, wenn das Teilchen da drauf stößt?

Nö.

Nö.

Ist ja so wenig.

Ja.

Also selbstverständlich.

Ja.

Könnte ja sein, dass es trotzdem kaputt geht, weil das ist ja doch, ich meine, das ist ja doch eine große Energie.

Ja, ja.

Also merken tut man das schon, das sind schon ordentlich Energieflüsse, die da drin sind.

Also muss man sich schon drum kümmern, aber kaputt geht ja nichts.

Warum kann das nicht in Tischgröße stattfinden?

Also warum kann ich so ein Gerät nicht...

Ja, Thema Größe, ja.

Ja, eben.

Also es geht ja alles darum, dieses Gas, dieses Plasma, heiße Gas, super heiße Gas aus geladenen Teilchen, auf hinreichend hohe Temperaturen zu bringen, sodass es häufig genug zu diesen Verschmelzungen kommt, von diesem Wasserstoff zu dem Helium und Neutron.

Okay.

Als Einstieg.

Also es geht alles um die Temperatur.

Temperatur und die Anzahl der Teilchen pro Volumen.

Aber nehmen wir erstmal nur die Temperatur.

Damit man auf so eine Temperatur kommt, heizt man rein und es zeigt sich, man hat natürlich Verluste.

Womit heizt man eigentlich rein?

Zum Beispiel Mikrowellen.

Mikrowellen ist bei uns eine beliebte Methode.

Es gibt auch noch andere Methoden.

Vielleicht sollten wir es später nochmal diskutieren.

Sonst schweifen wir jetzt ab.

Das mache ich gern.

Ja.

Ich schreibe mir mal Heizung auf.

Ja, ja.

Also das heißt, nehmen wir also auf irgendeine Art und Weise, nehmen wir mal als Referenz Mikrowellen.

Ich schicke mir Mikrowellen rein und mache es heiß.

So, damit kriegt man die Temperatur hoch.

Und dann haben wir auch gleichzeitig Verluste.

Das heißt, Wärme geht auch wieder raus.

Auch bevor es überhaupt zu Fusionskrieg kommt, kommt es zu Verlusten.

Das sind Strahlungsverluste.

Einerseits, es leuchtet.

Das geht als Licht einfach raus.

Es können aber auch Wärmeflüsse sein, die rausgehen.

Zum Beispiel durch die bereits erwähnten Turbulenzen.

Aber auch durch normale Gasdiffusionen.

Am Ende ist das so, wie in Ihrer Wohnung.

Sie stellen in der Mitte einen Ofen auf. und wollen eine bestimmte Wohlfühltemperatur daran haben in Ihrer Wohnung.

Sagen Sie, Sie wollen gerne 25 Grad haben.

Damit es richtig angenehm warm ist im Winter.

So stellen Sie in der Mitte einen Ofen rein.

Das ist Ihre Heizung.

Und dann, damit Sie auch irgendwie eine schicke Wohnung haben, haben Sie große, großzügige Fenster überall.

So, dadurch, durch diese Fenster strahlt es auch wieder ab.

Und am Ende bildet sich ein Gleichgewicht.

Müssen Sie also den Ofen so einstellen, dass Sie die gewünschte Temperatur haben.

Okay.

Und es hängt davon ab, wie viel Verlust Sie haben.

Wie gut Ihr Haus isoliert ist.

Es geht also alles um die Isolation.

Das heißt, wenn Sie einfach verglaste Fenster haben, doppelt verglaste Fenster, dicke Wände aus Gasbeton oder nur ein Backstein, alles das geht damit ein.

So, die Rolle dieser Wände übernimmt bei einer Fusionsmaschine das Magnetfeld.

Das Magnetfeld ist unsere Isolation.

Das ist die Wand.

Das ist die Wand für diese Teilchen, die diese Teilchen vor der kalten Außenwelt schützen.

Damit wir sie überhaupt auf Hohltemperatur bringen.

Der Ofen sind meinetwegen die Mikrowellen.

Okay.

So, soweit so gut.

Jetzt kann man sich das vorstellen.

Jetzt bauen wir die perfekte Wand.

Das perfekte Magnetfeld, was alles schön drin hält.

Also richtig gut.

Richtig, richtig gut ist.

Dann ist alles paletti.

Dann habe ich also eine bestimmte Heizleistung da drin.

Also muss ich den Ofen irgendwie einstellen und da stellt sich die Temperatur ein, die ich haben möchte.

So, wenn man jetzt aber leider feststellt in der Forschung, diese perfekte Wand kriegt man so nicht hin.

Es gibt also viele, viele Physikeffekte, die dafür sorgen, dass es trotzdem rauspfeift, dass ich trotzdem Wärmeverluste habe.

Ja, und wenn es so ist.

Nicht?

Also das heißt, man kann dagegen nicht mehr viel tun.

Man kann natürlich dann sagen, ja, verbessern wir hier, verbessern wir da, nicht machen wir da was, machen wir da was.

Dann kommen sie irgendwann an einer gewissen Grenze an.

Sagen, ja, jetzt kommen wir nicht mehr weiter.

Die einzige Möglichkeit, die sie dann haben, ist das Ganze größer zu machen.

Soll ich dann die Wand dicker machen?

Nee, nicht die Wand dicker.

Dicker wäre wieder bessere Isolation.

Einfach das Volumen zu vergrößern.

So, und ich kann Ihnen nämlich erklären, warum.

Dass der Abstand vom Ofen zum Fenster den vergrößern Sie.

Sozusagen, ja.

Sozusagen, nicht?

Das ist das.

Und zwar ist das nämlich das Volumen-zu-Oberfläche-Verhältnis.

Verlust geht immer durch die Oberfläche.

Die strahlen durch die Oberfläche ab.

Durch ihre Fenster, durch ihr Dach, durch ihren Fußboden.

Die Energie ist im Volumen drin.

So, und wenn Sie jetzt den Durchmesser vergrößern, dann geht das Volumen mit der dritten Potenz, also Kubikmeter, und die Oberfläche mit Quadratmeter, der zweiten Potenz.

Das heißt, wenn Sie also jetzt Ihre Wohnung, wenn Sie die jetzt im Durchmesser verdoppeln, haben Sie ein günstigeres Verhältnis dann aus Volumen und Oberfläche.

Das heißt, dass der, also wenn wir dann irgendwann mal richtig Strom erzeugen

wollen, im Regellaß, wären wir mit einer umso größeren Maschine umso besser dran.

Richtig.

Und man muss die Maschinen, und das ist die Moral von der Geschichte, es gibt eine minimale Größe für die Stromerzeugung.

Es gibt eine Schwellgröße, ab der eine positive Energiebilanz möglich ist.

Vorher haben Sie einfach mal so viel Abstrahlung, dass Sie noch zusätzlich reinheizen müssen.

Und Sie können immer durch nachheizen, können Sie natürlich durch beliebig viel nachheizen, können Sie jede Temperatur erzeugen.

Ja, aber das ist dann auch beliebig viel Energie, die ich reingebe.

Ja, ja.

Das will ich ja, ich will ja beliebig viel rausholen.

Ja, und Sie wollen ja am Ende, dass die Energie im Volumen erzeugt wird, nicht sozusagen, also dass die Wärme in ihrem ganzen Volumen erzeugt wird, und dass das deutlich mehr ist, als das, was durch die Oberfläche abgestrahlt wird.

Und deshalb müssen Sie diese Anlagen, müssen Sie diese Anlagen, diese Anlagen eine bestimmte Größe spendieren.

Haben Sie die hier?

Nee.

Diese Größe?

Zu klein.

Zu klein.

Also das Ding hat jetzt 16 Meter Durchmesser.

Mhm.

Und das müsste etwa, ja, zwischen 40 und 50 Meter Durchmesser haben.

Warum haben Sie nicht direkt so ein großes Ding gebaut?

Zu teuer.

Was hat das hier gekostet?

Oder was wird es gekostet haben?

Wir sind ja noch im Bau.

Naja, die Hardware, also die Maschine, die nackte Maschine an Investitionen, etwa 400 Millionen, ja.

Ja, also zu teuer ist das.

Also simpel gesagt, man muss sich mal ein bisschen überlegen, wie man effiziente Forschung macht.

Also wie man Forschungsmittel effizient einsetzt.

Und da kommt es eben sehr genau darauf an, was für Fragestellungen man denn dort hat.

Die Fragestellung, die wir sinnvollerweise, also aus inhaltlichen Gründen stellen, ist die Fragestellung nach der Güte des Magnetfeldes.

Und da sind wir wieder bei der Isolation.

Das heißt, wir wollen jetzt ein Magnetfeld hier nachweisen, dass wir ein Magnetfeld gefunden haben, was diese Isolationsbedingungen, heißes Plasma versus kalte Wärm, optimal erfüllt, also sehr gut erfüllt.

Das ist unser Ziel.

Wenn Sie das nachgewiesen haben sollten, kann man es beliebig skalieren.

Dann skalieren Sie es.

Dann blasen Sie das Ding einfach auf.

So, und das heißt, das ist unser Ziel.

Und es ist vernünftig, dass man das in einem kleineren Format macht.

Und dann sagt, da pfeifen wir auf Stromerzeugung.

Wir werden damit nie Strom erzeugen.

Natürlich nicht.

Das ist viel zu klein.

Und das wird auch keine nukleare Anlage sein.

Weil da werden wir gar nicht diese Fusionsreaktionen, da werden wir uns gar nicht für interessieren.

Die wollen wir gar nicht haben.

Wir wollen hier gar nicht die Sonne nachäffen?

Ja.

Ach, das ist aber schade.

Sondern wir bauen jetzt sozusagen ein Modell davon.

Also auch dort habe ich vielleicht eine etwas alberne Analogie, aber da lernt man was.

Wenn Sie, also nehmen wir mal an, Sie sind Räder.

Und jetzt komme ich als Schiffbauer bei Ihnen an, sage zu Ihnen Räder.

Ich habe mir einen total tollen neuen Containerfrachter ausgedacht. der ist viel, viel profitabler, viel schneller als die Konkurrenz.

Liegt besser im Wasser, kann mehr schleppen, kennt da sicher.

Alles super, alles besser.

Und das Ding kostet 200 Millionen Euro Investitionen.

Wurde aber noch nie gebaut.

Hat noch keiner gemacht.

Das sage ich auch.

Ja, dann komme ich mit dem Modell freundlich.

Wird aber super.

Genau.

Ja, dann würden Sie sagen, na dann zeig mir das mal erstmal.

Ich komme erstmal mit dem Modell.

So, dann sage ich, okay, wird billiger, wird zehnmal billiger dieses Modell, müssen wir auch alles instrumentieren und so, müssen wir dann genau untersuchen, dass wir uns auch ganz sicher sind.

Und das bauen wir und setzen es in so eine Wanne rein, nicht und schaukeln das Ganze durch, nicht bauen da noch Strömungen rum, so bauen sie eine künstliche Umgebung dafür, stellen ein paar Wissenschaftler ein, die sich dann dann beschäftigen, viele Ingenieure, die das so alles im Detail ausarbeiten.

Und dann können Sie sicher sein, dass Ihre 200 Millionen für den Frachtgut investiert sind.

Und genau das ist der Wendelstein 7X hier.

Zu dem sind dieser Prototyp.

Natürlich würden Sie da als Räder auch nicht dann plötzlich kommen und sagen, was, da mit diesem Ding kann ich jetzt keine Container transportieren?

Nee, das ist ja nicht das Ziel der Sache, nicht das Ziel dieses Prototyps.

Der kann noch nichts.

Ja, aber wäre trotzdem cool, oder?

Ich meine, jetzt mal einfach die Leistung ein bisschen hochfahren, gucken, ob

nicht doch Strom rausfällt.

Also so.

Ja, da muss man ein paar Voraussetzungen für schaffen.

Nicht eben diese Energieumwandlung.

Also erstens müssen Sie dann dafür die volle Lizenzierung als nukleare Anlage haben.

Nicht was, ja, nicht was viel technischen Aufwand erzeugt.

Wird das einer merken, also würde das einer merken, wenn Sie, das ist eine blöde Vorstellung, also auch eine alberne Analogie eigentlich, wenn Sie, wenn ihr euch hier nachts einen zwitschert, mal runtergeht und sagt, komm, jetzt machen wir mal Strom zum Spaß.

Ja, ja, ja, ich sage ja, das geht gar nicht.

Geht gar nicht.

Nee, nee, schade.

Also unbenommen dessen, dass es auch bemerkt werden würde, geht gar nicht.

Nämlich, erstens müssen wir dafür die Lizenzierung haben, selbstverständlich, und zweitens, für diese Stromumwandlung, da muss man noch etliche Klimmzüge machen.

Also das heißt, da braucht man diese Wandstrukturen, die die Neutronen abbremsen, die dann aktiv Wasser gekühlt werden müssen, und dann das wiederum in Dampf umwandeln.

Da sind unsere Kollegen in Karlsruhe, also im KIT, die sind da wahrscheinlich weltweit führen.

In diesen Technologien, die man dafür braucht, um tatsächlich dann...

Also die Materialforschung.

Ja, genau, diese Materialien, die dazugierigen Technologien, um tatsächlich diese Energiekonversion durchzuführen.

Das ist im Grunde aber auch nur ein Wärmetauscher, ne?

Das hört sich so simpel an.

Das ist irre kompliziert.

Das ist schon sehr, sehr, sehr schwierig.

Also, nee, es hat sehr gute Fortschritte gegeben, aber es ist ein schwieriges Gebiet.

Und da sagen wir auch, dann arbeiten wir nur arbeitsteilig innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft.

Da sagen wir, okay, also Karlsruhe, drücken euch die Daumen nicht.

Also Technologie heißt das da.

Da bleibt ihr am Ball.

Wir wollten noch über schweren und superschweren Wasserstoff reden.

Ja, die Rolle rückwärts, ja genau.

Worum geht es eigentlich?

Ja, das hört sich erstmal so geheimnisvoll an.

Super schwerer, super schwerer Wasserstoff.

Superschwer.

Ja, besonders superschwer.

Mag ich gerne. super.

Klingt so ein bisschen wie das Journalesisch.

Ja, ja, ja.

Da ist auch immer alles massiv.

Ja, also, wie es mal so ist im Periodensystem der Elemente, es gibt Elemente und weitere Elemente, also noch ein Nachbar-Element, Isotope.

Das Wort habe ich schon mal gehört.

Ein Isotop verhält sich chemisch genauso.

Also zwei Isotope verhalten sich chemisch gleich.

Ja.

Nicht?

So, Kohlenstoff 12 und Kohlenstoff 14.

Nicht so.

Haben ein unterschiedliches Gewicht.

Hm?

So, da hat man früher sehr gestaunt.

Ich staune jetzt noch.

Also sagt so, aha, das eine ist Kohlenstoff, das andere ist Kohlenstoff.

Nicht?

Chemie ist genau das Gleiche.

Nicht?

Kann man so verbrennen oder so.

Nicht?

Also oxidieren.

Aber es ist unterschiedlich schwer.

Merkwürdig, merkwürdig.

Und das hat man eben in der Kernphysik auch genau untersucht.

Und hat so festgestellt, eben als man ein bisschen verstanden hat, wie die Kerne so aufgebaut sind, dass man da so weitere Bausteine dazutun kann.

Und zwar kann man diesen Kern weiteres Gewicht verleihen, indem man Neutronen spendiert.

Die bereits vorhin erwähnten Neutronen.

So als Kernbausteine.

Dadurch, dass die eben keine weitere Ladung hinzufügen, verändern die das chemische Verhalten nicht.

Das heißt, der Übergang ins Plasma ist nicht gefährdet, sozusagen.

Das hat erstmal nichts mit dem Plasma zu tun.

Also das heißt, es gibt immer so eine Variante.

Also muss man feststellen, es gibt immer so eine Varianz bei den Elementen.

Das heißt, jedes Element hat typischerweise so ein paar Nachbarn, die chemisch äquivalent sind, die aber unterschiedliches Gewicht haben.

So, das brauchen wir jetzt nur.

Gehen wir zurück zum Wasserstoff.

Das Wasserstoff ist das einfachste Atom der Welt.

Das ist der Primitivling.

Das ist ein Proton und ein Elektron.

Also einfacher geht es echt nicht.

Das Proton ist so der Kern.

Er bildet den Kern.

Das Elektron ist dieses leichte Bürschchen, was da außen drum seine Bahn zieht oder irgendwo eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit hat.

Also irgendwo da ist.

Das ist das einfachste Atom der Welt.

Und jetzt gucken wir mal, was sind die Nachbarn davon.

Und da fügen sie dann zu diesem Kern, zu diesem Proton, einen weiteren Kernbaustein dazu, nämlich das bereits erwähnte Neutron.

Also ein Proton und ein Neutron bildet dann den schweren Wasserstoff.

Wie kriege ich das Neutron denn da dran?

Ja, das ist, kann sie sagen, das ist hier in dem Weltraumofen der Elemente, ist das geschaffen worden.

Ach, das gibt es.

Das gibt es einfach.

Das kann ich, das ist, ich ernte, ich erzeuge das nicht, ich ernte das.

Das ist so da.

Das ist da.

Das ist da.

Mit 0,01 Prozent im Wasser zum Beispiel enthalten.

Das heißt, wenn wir dieses Glas Wasser austrinken, 0,01 Prozent davon ist schweres Wasser.

Es besteht also aus schweren Wasserstoff und Sauer.

Wie trenne ich denn das schwere Wasser vom leichten Wasser?

Zentrifugiere ich das da?

Ja, genau.

Tatsächlich?

Ja, so macht man das, wenn Sie es haben wollen.

Können Sie zentrifugieren.

Ist halt schwerer, fliegt halt raus, hat eine andere Bahn.

Können Sie also schön separieren voneinander.

Okay, das ist dann der schwere Wasserstoff, der hier drin enthalten ist.

Gut, das Spielchen können Sie jetzt weiter spielen.

Wenn Sie so wollen, können Sie sich so vorstellen, dass da irgendein Deus Ex Machina, dass der das dann halt so baut, so ein Kernbaumeister, den es natürlich nicht gibt.

Wie gesagt, das geschieht ja alles durch Kernprozesse, in den Sternen und so.

Dadurch sind alle Elemente entstanden.

Alle Elemente, die wir kennen, sind in den Sternen ausgebrütet worden.

Und dann halt irgendwie auf der Erde gelandet in diesen ganzen Drecksammelprozessen.

Das ist jetzt Kosmologie.

Okay, also das heißt, jetzt haben wir schon mal den schweren Wasserstoff.

Jetzt können Sie das gleiche nochmal machen.

Also das heißt, dann nehmen Sie sich wieder dieses Neutron und pappen noch eins ran.

Das würde so ein Kernbaumeister neben machen.

Sondern haben Sie zwei Neutronen und das Proton.

Und wieder nur ein Elektron, was außenrum schwirrt.

Das heißt also chemisch ist es wieder das Gleiche.

Es kommt immer nur darauf an, wie ist diese Balance zwischen Elektronenhülle und dem Kern.

Es ist immer eins plus eins.

Eine positive Ladung plus Elektronen ist immer Wasserstoff.

Aber wiegt dreimal so viel wie der normale Wasserstoff.

Weil zwei Neutronen drin liegen.

Weil zwei Neutronen drin.

Neutronen und Protonen sind fast die gleiche Masse.

Also damit ist es superschwer.

Das heißt, da haben wir Wasserstoff, ein Proton, schwerer Wasserstoff, Proton und Neutron, superschwerer Wasserstoff, Proton, Neutron, Neutron.

Gibt es auch mit drei Neutronen, also extrem schwerer Wasserstoff?

Den hyperschweren Wasserstoff.

Hyperschwer, genau.

Ne, der ist nicht mehr stabil.

Das heißt, da kommen sie dann in dieses Gebiet der Kernphysik, wo sie beurteilen, sind diese Kerne, sind die noch lebensfähig?

Halten die noch?

Sind das stabile Konstrukte oder fallen die plopp sofort wieder auseinander?

Warum würde ein zusätzliches Neutron dazu führen, dass sie auseinanderfallen?

Ja, das liegt dann in den Kernbindungskraften, was eine schöne, feine Balance ist, wie Kerne aneinander gebunden werden.

Die werden ja nicht wie Legosteine aneinander gesteckt, sondern das sind dann die Bindungskräfte der Kerne unter sich.

Und irgendwann kommen sie dann in so ein Problem zwischen Bindungskraften und dem Volumen, dem Abstand zueinander, das sind alles Funktionen des Abstandes, dann kriegen sie das nicht mehr gebackten.

Dann fällt ihnen das einfach auseinander.

Das heißt, dann kriegen sie dort keine Kräftebalance mehr hin, die stabil ist.

Man sieht schon, das ist schon kritisch bei dem superschweren Wasserstoff, denn der hält nicht mehr ewig.

Also der Wasserstoff und der schwere Wasserstoff, die halten ewig.

Der superschwere Wasserstoff hat eine Halbwertszeit von zwölfteinhalb Jahren.

Aber er ist trotzdem auch im Wasser, oder ist das wieder welcher, den wir erzeugen können?

Ja, kommen wir gleich zu.

Der hat eine Halbwertszeit von zwölfteinhalb Jahren.

Das heißt, so eben nach zwölfteinhalb Jahren ist die Hälfte allen superschweren Wasserstoffes schon zerfallen.

So plopp wieder auseinander.

Und dann haben sie wieder...

Und der zerfällt ja schon seit einigen zig Jahren.

Ja, deshalb, also den superschweren Wasserstoff, der dann vielleicht bei der Gründung der Erde mal da war, der ist schon weg, die ist etwas älter.

Das heißt also, das kommt nicht vor.

Das heißt, nehmen wir wieder unser Glas Wasser, das trinken können wir uns ziemlich sicher sein, dass, können wir uns sehr sicher sein, dass da kein

superschwerer Wasserstoff drin ist.

Okay, den gibt es also nicht mehr in der Natur?

Den gibt es nicht.

Den gibt es nicht in der Natur.

Das heißt, wenn ich jetzt davon rede, wir wollen also schweren Wasserstoff und superschweren Wasserstoff miteinander verschmelzen, haben wir da ein Problem.

Weil schweren Wasserstoff, den können wir kaufen.

Also den kann ich bei Messer Griesheim oder bei Erdekiet oder anderen Gaslieferanten bestellen.

So als Buddel.

Die stehen hier auch rum.

Also das ist kein Problem.

Den kann man kaufen.

Tritiumflaschen kann man nicht kaufen aus nachvollziehenderen Gründen.

Weil es kommt erst mal nicht vor.

Dazu kommt der Zerfallsprozess.

Also jeder Zerfall ist mit Radioaktivität verbunden.

Dann sortiert sich das alles wieder um.

Dann wird radioaktive Strahlung freigesetzt.

Also Beta-Strahlung.

Und ja, das ist also ein radioaktiver Geselle.

Und damit muss man entsprechend, wie man mit radioaktiven Gesellen umgeht, Handhabung machen.

Das heißt, es darf nicht inkorporiert werden.

Das heißt, würde ich den in der Tat auch nicht trinken.

Also wenn es da drin wäre, weil nicht, dann schwirrt das hier im Körper rum.

Spätestens wenn es nach zwölf einhalb Jahren zerfällt.

Ja, das bedeutet ja nicht, dass es exakt nach zwölf Jahren zerfällt.

Es kann auch sofort zerfallen.

Es kann auch in einer Stunde zerfallen.

Das heißt, Sie haben permanenten Strahler drin.

Genau.

Das heißt, es darf nicht in den menschlichen Körper aufgenommen werden.

Aber ich muss ihn ja erstmal in mein Glas Wasser kriegen.

Ja, man muss ihn überhaupt erstmal haben.

Genau.

Also das heißt, erstmal gibt es ihn nicht.

Und das heißt, es ist auch klug, ihn nicht so im Vorrat zu erzeugen, sondern in dem eigentlichen Produktionszyklus. und hier verwendet man jetzt einen weiteren Trick.

Und zwar sagt man, naja, also wenn wir jetzt schweren und superschweren Wasserstoff verschmelzen, bekommen wir Helium und reichlich Neutronen.

Also immer jeweils ein Neutron, das heißt, da schwirren irre viele Neutronen mit schöner hoher Geschwindigkeit.

Mit diesen Neutronen kann man ja was machen.

Und zwar, wenn man in diese Wand, diese Energiekonverterwand, wenn man in die noch Lithium reinbringt.

Das heißt, hier unser braves Erdalkalimetall Lithium, was man wieder wunderbar aus der Erde rausgraben kann, Lithium reinbringt.

Und dieses Lithium konfrontiert wird mit solchen Neutronen.

Dann macht das Lithium wiederum eine Kernumwandlung. und dann wird dieser Lithiumkern umgewandelt in ein Tritium, also in einen superschweren Wasserstoff, der hat den einen Namen Tritium und wiederum Helium.

Was mache ich denn eigentlich mit dem ganzen Helium, das dabei anfällt?

Ist ja nicht so viel.

Ja, aber es fällt ja an.

Ja, das tut man beiseite.

Nächstes füllt man eine Flasche und nimmt das dann zur Aufblasung von Luftballons.

Das ist sozusagen Abfallprodukt.

Also ein völlig banales, langweiliges, harmloses Abfallprodukt.

Abfall hört sich manchmal so nach schwierig, schwierig an.

Aber friedlich als Helium geht es ja gar nicht.

Der Kollege, der mich eben durch die Halle geführt hat, der sagt, Helium ist unsere Asche.

Das finde ich irgendwie ganz nett.

Ja, es wird auch von Helium Asche gesprochen.

Das sind wir Aschekasten.

Aber es ist immer ein bisschen positiv, weil Helium ist ja ein nettes Gas.

Also okay, das heißt also, durch diese Umwandlung von Lithiumatomen mit Lithiumkernen in superschweren Wasserstoffen Wasserstoff und Helium kann man das in der Wand erzeugen.

Zieht das dann so aus der Wand raus.

Ins Magnetfeld hinein?

Ja, zieht das aus der Wand raus.

So eine schöne Ringleitung.

Wird dann vorher noch ein bisschen getrennt und gewaschen oder so.

Ein paar Zwischenstufen.

Und wird dann schön wieder reingeleitet.

Sodass Sie dann tatsächlich die Versorgung, die Gasversorgung mit dem superschweren Wasserstoff, dass Sie die im geschlossenen Zyklus drin haben in der Maschine.

Das heißt, Sie brauchen keine Gasflaschen mit Tritium kaufen, sondern Sie erzeugen es sich vor Ort.

Aber irgendwann, es gibt ja den Moment, wo Sie von Null anfangen müssen mit der Brennerei.

Wo das Plasma erstmalig, wo das Gas erstmalig zu Plasma werden muss.

Und da haben Sie ja noch keinen schweren Wasserstoff.

Ja, das ist ein guter Punkt.

Was machen Sie denn da?

Das ist ein guter Trick.

Oder kriegt es irgendwo?

Wie kriegt man den Start hin?

Naja, also entweder, es gibt schon andere Fusionsreaktoren, also andere, das sind ja schon richtige Reaktoren, andere Fusionsreaktoren, wo Sie den

Überschuss erzeugt haben.

Also Sie ziehen es ja mal wieder raus, da können Sie auch ein bisschen was beiseite tun.

Und das müssen Sie dann tatsächlich transportieren.

Das würden Sie dort beiseite tun und würden es dann transportieren zu dem nächsten Fusionsanlage, wo Sie es zum Start verwenden würden.

Da kann man wieder sagen, wenn man da der Avocatus Diavoli ist.

Aber wer hat denn das gestartet?

Ja, ganz am Anfang.

Wie kriegt man die Kette hin?

Naja, aber zum Glück gibt es ja noch andere Kernprozesse, die den superschweren Wasserstoff erzeugen.

Und das sind in der Tat Kernreaktoren von einem bestimmten Typ.

Nicht die, also mit schwerem Wasser arbeiten.

Und da gibt es in Kanada etwa, deshalb heißt es auch Kandu, das ist der kanadische Spaltreaktor, der superschweren Wasserstoff einfach erzeugt.

Das fällt da so an.

So, das kann man denn in der Tat nicht so flüssigen, in der Flasche abfüllen, müssen wir ein bisschen Strahlenschutz noch rummachen, das kann man so transportieren, das kann man tatsächlich dann kaufen.

Man möchte das eben halt nicht gerne, nicht weil, das ist erstens den schönen geschlossenen Zyklus, so geht es nicht und die ganze Handhabung ist irgendwie blöd davon.

Deshalb der geschlossene Zyklus des Fusionsreaktors ist dann sehr charmant.

Aber für den Start braucht man in der Tat mal eine solche gekaufte Menge.

Und was für eine Menge ist das dann?

Naja, um so diese ganze Anlage da zu befüllen, ist das schon mal so ein Kilo oder sowas, was man dann in der Summe reintun muss.

Die Wand, in der dann das Lithium, Tritium erzeugt, die verbrennt ihn doch dann aber über die Zeit, oder nicht?

Also die brennt doch dann aus, also das Lithium brennt aus.

Ja, das Lithium wird wirklich konsumiert.

Da gibt es eben verschiedene Ideen, wie man es macht.

Also entweder, also es sind nicht so gewaltige Mengen, das ist ja immer der Witz.

Selbst bei einem Reaktor hat man zu jedem Zeitpunkt immer ein Gramm Gas insgesamt in diesem großen Volumen drin.

Also ein Gramm.

Wir reden ja nicht von Tonnen oder Hunderten von Tonnen wie bei einem Spaltreaktor, sondern nicht so ein Gramm ist dann so immer drin, nicht grundsätzlich und das sind eben halt über 24 Stunden und so, und so ein geschlossener Kreislauf.

Also es ist alles immer nicht so wahnsinnig viel, das ist schon mal gut.

Das heißt also, das führt schon mal dazu, dass man einfach gut mit Reserven arbeiten kann.

Und davon gibt es ja verschiedene Konzepte mit diesen Wandelementen.

Also entweder bringt man das Lithium so wirklich so in Kugeln oder sowas so ein, nicht so materiell ein und nach ein oder zwei Jahren wird die halt ausgetauscht.

Achso, Maschine auf, Wand raus, Maschine auf, Wand raus, neue Wand rein.

Stimmt, ist ja relativ simpel machbar, weil man hat ja das Magnetfeld, das das Plasma festhält.

Das heißt, selbst wenn eine Schraube nicht richtig angezogen ist, nicht ganz fest angezogen ist, passiert nicht so viel, oder?

Naja, also es muss schon alles anständig angezogen werden, da hilft das Magnetfeld auch nicht viel.

Okay.

Also das muss man schon technisch ordentlich machen und dieses Austauschen, das ist auch alles nicht so einfach.

Hätte ich jetzt gedacht.

Nee, nee, das ist schon nicht so einfach, muss man auch mit Robotern machen und so, das ist schon alles anspruchsvoll.

Aber trotzdem, da macht man halt mal so eine Wartungsphase, legt man ein und tauscht dann die ganze Wand aus. man kann natürlich, da gibt es dann auch Konzepte, wo das Lithium so als Flüssigkeit nicht da so durchgepumpt wird, das

kann man relativ leicht verflüssigen, nicht, und dann kann man so von außen dann zuführen, nicht, so, das heißt, dass es dann auch wirklich so einen strömenden Kreislauf so gibt, gibt es auch so als Konzept, nicht, und die werden alle verfolgt, die werden alle sehr tief untersucht, von all denjenigen, denjenigen Instituten, die sich mit diesen Wandelementen beschäftigen, nicht, und ich sage ja, das ist sehr anspruchsvolle, sehr anspruchsvolle Forschung, die da gemacht wird, die wir nicht machen, und, aber die sorgen eben dafür, dass insgesamt dieser, die, ja, die Wand, dass die hinreichend viel Tritium, also hinreichend viel superschweren Wasserstoff liefert.

Warum, warum machen wir, also das, das, das kommt mir ein bisschen vor, also der Wendelstein, kommt mir ein bisschen vor, wie so ein nationaler Alleingang, was er selbstverständlich nicht ist, weil die Erkenntnis, die hier herausfällt, wird ja internationalisiert, aber warum machen wir das, also warum bauen wir nicht sofort international an so einem Ding rum?

Es wird ja international an solchen Dingen gebaut, ITER ist ein gutes Beispiel dafür, aber jedes, ja, jedes Land, was es ernst meint mit der Fusionsforschung, treibt auch ein nationales Programm voran.

Das ist ja in China nicht anders, in Indien, in Japan, was auch ein sehr ambitioniertes Programm hat, in den USA, in europäischen Ländern, aber es gibt ja, es gibt ja reichlich Maschinen.

Alles jetzt international zu machen, ist auch nicht so gut, weil man ja eine, ja, eine Plattform braucht, auch für internationale Zusammenarbeit.

Insbesondere braucht man die Leute, die was können.

Und damit man die Leute hat, die was können, müssen die erstmal auch was, machen.

Internationale Kooperation ist ja nicht so einfach.

Das sehen wir auch am ITER, wo so sieben Großregionen der Welt zusammenarbeiten.

Vor allen Dingen die Politik reinredet.

Ja, wo die Politik eine ganz starke Rolle spielt, wo unterschiedliche Arbeitskulturen eine Rolle spielen.

Und da muss man schon verdammt fit sein überhaupt, da muss man schon fit sein wie ein Apfel, damit man da überhaupt in so einem Umfeld vorankommt.

Also insofern ein starkes nationales Programm ist die Voraussetzung dafür, dass man international das vorantreiben kann.

Warum Deutschland jetzt ausgerechnet den Stellarator macht, naja, erstens machen wir ja beides, mit gleicher Intensität.

Damit haben wir auch diese zwei Standorte, die wirklich so auf Augenhöhe da an diesen beiden Konzepten arbeiten. insofern sind wir in der guten Situation, dass wir beides machen und beides sehr intensiv machen.

Der Stellarator ist in anderen Ländern ist der etwas vom Tisch gefallen, als es mal eine, ja, so ein bisschen so eine Sinnkrise gab, wo man dachte, so der Stellarator, der ist es nicht.

Also das heißt, im Rahmen dieser Evolution, die ich ganz am Anfang beschrieben habe, der fällt raus.

Nicht so wie viele andere Maschinen, wie diese lange lineare Maschine rausgefallen ist.

Der war schon raus sortiert von manchen Nationen, weil die gesagt haben, der Tokamak ist viel besser. und der war dann auch zu dem Zeitpunkt viel besser.

Ist das nicht mehr?

Naja, also das war dann ein großer Durchbruch in den späten 70er und frühen 80er Jahren, wo im Kotschatow-Institut in Moskau so gezeigt wurde, so Werte gezeigt wurden, wo alle gesagt haben, wow, die einfach großartig waren, die Klasse waren, die waren so großartig.

Was für Werte sind das?

Ja, da reden wir von Temperaturen.

Temperaturen.

Also vor allem voran über die Temperaturen.

Also auch ein paar andere müssen stimmen, aber die tun wir jetzt mal beiseite.

Aber so das, wo alle immer drauf gucken, das ist auch die Temperatur, nicht berüben, 100 Millionen Grad, nicht?

Und das war zu der Zeit waren es 10 Millionen Grad, nicht?

Das war eine totale Sensation.

Es war so eine Sensation, dass es keiner geglaubt hat und dass da eine Delegation, eine europäische Delegation, geführt von den Engländern, nach Moskau gereist ist mit ihren Messinstrumenten, haben alles nochmal nachgemessen.

Russische Wissenschaftler haben festgestellt.

Ja, ja, so ungefähr.

Es war kein Misstrauen gegenüber den hochgeschätzten russischen Kollegen.

Kurt Schaddov-Institut war immer top.

Nichts, sondern man wollte seinen Augen nicht trauen.

Und das ist gute wissenschaftliche Praxis, die Vier-Augen-Prinzip.

Wir gucken nochmal mit einem anderen Instrument völlig unabhängig drauf, bloß um sicherzustellen, dass man sich nicht verpaddelt hat an der Stelle.

Naja, und das war, dann kam eine große Tokamak-Euphorie natürlich auf, weil alle gesagt haben, wahnsinnig, das wollen wir auch haben.

Manche Institute haben ihre Stellaraturen in Tokamaks umgebaut, was relativ leicht geht.

Und da gab es eine große, große Euphorie.

Und, naja, ein paar Länder, Deutschland, Japan, noch ein paar andere haben gesagt, naja, gucken wir mal, machen wir lieber mal beides.

Das war auch der Grund, warum eben hier in Deutschland das Institut für Plasmaphysik sich entschlossen hat, wir fahren jetzt zwei Schienen, fahren beide Schienen, treiben beide Schienen voran. nicht so ganz vorsichtig.

Und in der Tat ist es dann gelungen, letztlich durch die Verfügbarkeit von Supercomputern in den späten, mittleren, späten 80er Jahren, so ab Cray aufwärts.

Das war diese Sitzgelegenheit.

Ja, dieser Turm mit den bequemen Sesseln.

Kennt jeder.

Also die ersten Crays, die dann im Rechenzentrum Garching da etabliert wurden, damit konnte man diese Nuss knacken.

Und hat, ist dann nochmal ans Magnetfeld rangegangen, hat wirklich die Frage gestellt, ist das Magnetfeld richtig?

Und bei diesen sogenannten klassischen Stellaratoren, da war das Magnetfeld so ein bisschen ad hoc, so mit Hände wedelnden Methoden, so nicht nach bestem Wissen und Gewissen designt worden.

Und hier hat man wirklich mal den Computer befragt, also wo ist das optimale Magnetfeld?

Und das sah dann doch überraschend anders aus. da hat man gesehen an dem Ergebnis in der Computer Berechnung, dass dieses Magnetfeld, was bei dieser fundamentalen Frage, wie ist es richtig?

Wie ist das beste Feld?

Dass es ganz anders aussah als die Felder, die man vorher gemacht hat, die man so ad hoc aufgesetzt hat.

So, da hat man festgestellt, eventuell müssen wir mit den Stellaraturen in eine andere Richtung drehen, und zwar in die Richtung drehen dieses computerberechneten Magnetfeldes. und diese computerberechneten Magnetfelder haben letztlich auch diese merkwürdigen Spulen hervorgebracht, die unser Markenzeichen geworden sind.

Sind die damals computerberechneten Magnetfelder der Bauplan für die Maschine, die hier jetzt nebenan steht?

Ja, letztlich ja.

Also dieses Magnetfeld ist aus den späten 80er Jahren, was wir hier jetzt bauen.

Warum hat das so lange gedauert?

Ja, da ist erstmal ein Entscheidungsprozess dazwischen.

Also sagen wir mal, nehmen wir mal so 90, 91 wusste man, na, nicht das, das ist wahrscheinlich das richtige Magnetfeld.

Ich hatte immer noch ein bisschen Details rumgemacht, aber da war die Marschrichtung klar.

Da musste erstmal die Wende kommen.

Die Wende hat viel möglich gemacht.

Die Max-Bank-Gesellschaft hat 14 neue Institute gegründet in den neuen Bundesländern.

Unsere Zuwendungsgeber waren auch offen für Think Big, für große Projekte.

Das heißt, es gab Möglichkeiten, Sachen vorzuschlagen, die man unter anderen Umständen vielleicht nicht gemacht hätte oder anders gemacht hätte.

Also, wie auch immer, auf jeden Fall war das auch eine besondere Zeit, wo man eben für den Aufbau der neuen Bundesländer auch ein paar Leuchttürme setzen wollte.

Und der Leuchtturm hier in Mecklenburg-Vorpommern wurde dann vom BMBF entschieden, soll Wendelstein 7x werden. insofern war das ein ganz großes Glück, ein ganz großer Segen.

Man muss das auch sagen, das ist sehr, sehr anerkennenswert, dass Deutschland sich eine Anlage von dieser Größe und dieser Bedeutung leistet, so

wesentlich mit nationalem Geld.

Da ist auch europäisches Geld reingegangen, etwa ein Viertel von den gesamten Investitionen, aber trotzdem eigentlich von seinem Grundcharakter ist es eine nationale Anstrengung.

Das finde ich schon toll, das ist schon super.

Gut, insofern war das Glück, aber trotzdem auch da mussten Genehmigungsprozesse und so Begutachtungsprozesse laufen, sodass es dann so 95, 96 erst losgegangen ist, dann wurden die ersten Blaupausen, Zeichnungen so erzeugt und so war es nicht, dann mussten Verträge platziert werden, dann hat die Industrie angefangen zu herzustellen und so weiter.

So die ersten wesentlichen Bauteile, die sind dann so 2003, 2004 gekommen und da hat die Montage begonnen und wir haben etwa 10 Jahre montiert.

10 Jahre montiert?

Ja.

Warum so lange?

Das sind eine Million Montagestunden, die da drin stecken.

Eine Million Montagestunden, das ist eine Ansage.

Das ist aber wirklich mal eine Ansage.

Das Jahr hat 8760 Stunden.

Ja, das Arbeitsjahr mit Urlaub und auch Krankheit abgezogen und sowas hat irgendwas zwischen 1400 Stunden oder sowas. 1400, 1200 bis 1400 Stunden.

Sie können nicht 1000 Arbeiter immer parallel arbeiten lassen.

Stimmt, obwohl das sehr lustig aussehen.

Ja, das wäre so ein Ameisenhaufen, aber das geht technisch nicht.

Das heißt, die haben auch eine bestimmte maximale Arbeitsdichte.

Wenn sie das mal so runterbrechen, dann kommen sie ganz gut darauf, dass so 10 Jahre, eine Million Montagestunden verteilt auf 10 Jahre, dass das so in etwa unseren Schichten entspricht, so zwei Schichten, eine Frühschicht, eine Spätschicht mit gut 50 Leuten, die dann da mal arbeiten.

Und sie haben es ja gesehen, der Montagehalle, da wuseln so alle rum.

Viel mehr kann man da gar nicht unterbringen, abgesehen davon, dass das alles auch noch in einer Sequenz drin ist, in einer Anordnung, zeitlicher Anordnung.

Also sie müssen eine Million Montagestunden unterbringen.

Wie viel konnten sie davon auslagern?

Also konnten sie Bauteile zukaufen?

Oder mussten sie alles selber entwickeln?

Nein, wir haben enorm stark mit der Industrie zusammengearbeitet.

Das ist also ein sehr industrielles Projekt geworden, was auch dazu geführt hat, dass wir lernen mussten, zu denken, wie die Industrie, Industriestandards zu erfüllen, die Industrie auch zu respektieren.

Mit ihren, ja, ihren Randbedingungen müssen zum Beispiel Geld verdienen.

Also das muss man respektieren, dass eine Firma einen Auftrag nicht aus kulturellen Gründen macht, sondern weil die damit Geld verdienen wollen.

Wenn sie sagen, das Geld ist alle, und dieser Auftrag ist gefährdet, dann muss man was tun.

Stimmt, dann reicht es nicht zu sagen, aber wir bauen da ein echt cooles Gerät.

Stimmt.

Oder einfach zu sagen, sagen Sie mal, wir sind hier eine staatliche Einrichtung, jetzt gehorchen Sie gefälligst.

So kann man nicht daherkommen.

Da muss man verhandeln, muss man einen Kompromiss finden, da muss man eventuell Lasten aufteilen, also bestimmte Arbeitspakete wieder reinziehen, Risiko minimieren.

Also Industrieunternehmen denken auch sehr starken Risiken, also dürfen keine großen Risiken eingehen, die dazu führen würden, dass sie Verluste machen würden.

Also man muss anders denken, man muss auch an Standards denken.

Also wir sind bestimmt, vielleicht das einzige, aber auf jeden Fall eines der wenigen deutschen Forschungsinstitute, die ISO 9001 zertifiziert sind, also eben nach diesen Qualitätsstandardsnormen.

Also jedes Jahr kommt der TÜV Nord und durchkämmt über Audits das ganze Institut, ob unsere Qualitätsstandards richtig sind, um unsere Art und Weise mit Qualität umzugehen.

Das wirkt ja auch nach außen.

Die meisten Industrieunternehmen sind auch nach ISO 9001 zertifiziert und dann kann man sagen, das passt dann zusammen.

Das heißt, man hat einen gemeinsamen Standard.

Alle diese Dinge mussten wir lernen.

Also die Industrie spielt für uns eine wahnsinnig wichtige Rolle.

Wir haben das Grundprinzip, dass wir so wenig wie möglich selber machen.

Aha.

Also so wenig wie geht, fertigen wir selber und so viel wie möglich platzieren wir in der Industrie.

Deshalb haben wir über die vielen Jahre vor der Beginn der Montage und parallel zur Montage war eine Riesenaktivität des Projektes Bauteilbeschaffung in der Industrie.

Warum machen Sie das so rum?

Sie hätten es auch alles selber basteln können.

Ja, aber dann ist es also A, ist es gebastelt.

Ja, stimmt.

Es ist gebastelt.

Ja, man kriegt dann schon, also das Know-how ist in der Industrie da.

Die guten Standards, das Know-how, das Wissen ist in der Industrie da.

Sie müssen eben, wie gesagt, müssen herausfinden, als Forschungseinrichtung müssen herausfinden, wie sie mit der Industrie angemessen umgehen, auch kommunizieren.

Und das Know-how ist da, das heißt, sie kriegen die gute Qualität.

Es ist dann auch zuverlässig.

Das heißt, man kann Liefertermine vereinbaren, das lässt sich alles vertraglich vereinbaren. und es ist arbeitsteilig.

Das ist ganz entscheidend.

Wenn man alles selber macht, das ist eine Bastelbude, man braucht einen riesen Personalhaufen.

Kann man natürlich sagen, ja, das stellen wir uns alles befristet ein oder so.

Müssen sie die ganze Infrastruktur schaffen, die in der Industrie ja schon da ist.

Da müssen sie alle Maschinen kaufen, um das herzustellen, die in der Industrie schon da sind.

Die ganzen 3D-Fräsen, die ganzen Gussanlagen.

Das heißt, alles, was sie hier verbaut haben, ist letztendlich Regalware gewesen, also die sie sich in einem, also als würde ich in den Baumarkt gehen und würde mir Zeugs kaufen, um irgendwie einen Heizkessel oder eine Schnapsbrennanlage zu bauen oder sowas.

So haben sie ihre Bauteile einfach bei der Industrie bestellen können?

Naja, da musste nichts entwickelt werden.

Richtig ist, dass wir es in der Industrie bestellt haben.

Entwickelt werden musste da reichlich.

Es ist jetzt keines dieser Bauteile richtiges Hexenwerk, sodass man wirklich von Null beginnen musste.

Sondern das sind schon Dinge, die fertigbar sind, wo es dann eben auch entsprechende Erfahrungen dann jeweils vorgelegen hat.

Nehmen wir unsere Magnete, die superleitende Magnete.

Gibt es in ihrem Krankenhaus.

Jedes NMR-Gerät hat superleitende Magnete da stehen.

Das heißt, es gibt eine Industrie, die superleitende Magnete herstellt.

Was die Industrie bei den Magneten, also unser Industriepartner bei den Magneten, Firma Babcock Null in Würzburg ist das gewesen, was die dann für sich lernen mussten, entwickeln mussten, war eben diese komische Form herzustellen.

Das heißt, diese komische, gewundene Spulenform.

Ja, diese Spulen, diese nicht planare Spulenform.

Mussten die also so Werkzeuge dafür bauen, die dann diese Form ermöglicht haben, dieses Herstellen der Wickelpakete und so weiter.

Da mussten sie sich durchkämpfen.

Aber da hat eben der Anbieter gesagt, ja, das können wir uns vorstellen, dass wir

uns das entwickeln.

Und so läuft dann immer so ein Beschaffungsprozess.

Das heißt, sie machen eine Spezifikation.

Das heißt, sie schreiben auf, wie soll das aussehen?

Was für Leistungsparameter soll das haben?

Welche Form soll das haben?

Welche Materialien?

Und so weiter.

Und das geht dann in eine Ausschreibung, eine europäische Ausschreibung.

Und dann kann ganz Europa, können dann Anbieter sagen, ja, das machen wir und zwar zu dem Preis.

Und sie müssen dann den Billigsten nehmen.

Und wir werten das aus und da gibt es dann große Matrizen, an denen man das auswertet, wo man dann Bepunktungen gibt für Preis, für Technologie, für Zuverlässigkeit, für Liefertreue und so weiter, also für Liefertermine, Einhaltung.

Und alles das wird bepunktet und am Ende wird das alles zusammengerechnet und da gibt es dann auch viele Gespräche dazwischen und dann machen wir eine Entscheidung.

Ist es nicht immer der Billigste, nebenbei gesagt?

Der preislich Billigste Dafür macht man ja den Beauty Contest.

Der preislich Billigste muss am Ende nicht der Billigste sein.

Wenn sie das billigste Produkt bekommen, das kommt viel zu spät, dann müssen sie zwei Jahre lang Gehälter bezahlen, obwohl niemand mehr arbeiten kann.

Mal so ganz simpel gesprochen.

Das heißt also, eine Verspätung zum Beispiel kann dazu führen, dass sie viel, viel mehr Geld draufpacken.

Oder wenn sie nicht überzeugt sind von den Qualitätsstandards, wenn sie qualitativ schlechte Ware bekommen, das heißt mit Defekten, kann das am Ende auch mit juristischer Streiterei oder sowas nicht, wenn er schuld ist, kann es ja am Ende viel teurer kommen.

Das heißt, das müssen sie alles sehr genau bewerten.

Das ist ein feiner, sehr intelligenter Prozess und dafür haben wir Profis in unserem Einkauf, also Profi-Einkäufer, die genau diesen Prozess sehr gut beherrschen.

Sind sie denn eigentlich pünktlich fertig geworden hier?

Also ist das alles im Zeitplan geblieben?

Das muss man jetzt in einen historischen Kontext reinschauen.

Ich sehe hier so einen Gant an der Wand hängen.

Ja, ja.

Zeit und Geld sind unsere beiden Hauptparameter.

Zeit, Geld, Qualität.

Das ist das berühmte Dreieck, das industrielle Dreieck, die miteinander immer in einem schrecklichen Widerspruch stehen.

Also wenn sie beschleunigen wollen, dann geht das aufs Geld und kostet es teurer.

Wenn sie die Qualität runterdrehen, können sie auch beschleunigen, wollen sie aber nicht.

Wenn sie Qualität hochdrehen, kostet es wieder Geld und geht auf die Zeit.

Vor allem können sie hier, Qualität ist auch das Letzte, woran sie hier drehen können, oder?

Sie können sich ja jetzt nicht irgendwie größere Fehlertoleranzen erlauben.

Ja, manchmal geht das schon.

Tatsächlich.

Man kann auch manchmal bei Spezifikationen, also bei so Grenzen, das heißt, Qualitätsgrenzen kann man manchmal ein bisschen nachlassen, wenn es technischer für gute Gründe gibt.

Dann kann sein, kann ein Ingenieur sagen, das muss auf 0,1 Millimeter genau gefräst werden.

Dann gucken sie sich das an und sagen, warum denn?

Da ist doch Platz.

Dann sagt er, naja, ich dachte, die wollten mal auf die sichere Seite gehen.

Dann ist eben 0,1 Millimeter viel, viel teurer als ein Millimeter teurer Hans.

Also sie können, das ist nicht so eine ganz heilige Kuh, aber trotzdem Qualität steht ganz oben nicht.

Also da muss man ganz genau technisch hingucken, ob das geht.

So, also jetzt zur Pünktlichkeit.

Also de facto, das muss man ganz klar sagen, sollte diese Maschine 2007 fertig sein.

Ah ja.

Gewesen sein.

Ja.

Fertig ist der Zustand, in dem sie heute ist.

Ja, richtig.

Also das will ich überhaupt nicht irgendwie verhehlen.

Das war die Ansage basierend auf dem Plan 1996.

Naja gut, das ist, also das, ja.

Ja.

Ja, ja.

Wir bauen hier keinen Flughafen, sondern wir machen Grundlagenforschung.

Das ist halt doch nochmal, von daher kann ich das verzeihen, dass es nicht fertig geworden ist, pünktlich.

Ja, das ist gut zu hören.

Trotzdem hat es viel Ärger gegeben.

Das glaube ich. berechtigten Ärger.

Denn man muss sagen, naja, was es eigentlich heißt, eine Maschine von dieser Kategorie zu bauen, nicht, das hat das Institut schon unterschätzt am Anfang.

Ja.

Und das heißt, da muss man ganz klar sagen, unsere Pläne waren nicht gut.

Also die konzeptionellen Pläne waren super, nicht, eine Magnetfeldidee und so, das überhaupt zu bauen und ungefähr, wie man es macht.

Aber der Teufel steckt da furchtbar im Detail.

Und wenn sie das dann ausarbeiten, dann stellen sie fest, die Pläne waren nicht gut.

An welchen Stellen?

Das waren teilweise die Fertigungs, also teilweise die Fertigungsaspekte, wie lange es dauert und wie aufwendig die Entwicklungsschritte sind, um besonders aufwendige Komponenten zu fertigen.

Das war sehr verschieden, abhängig von Komponente zu Komponente.

In manchen lief das sehr gut.

Woanders gab es ganz, ganz große Schwierigkeiten, das wirklich herzustellen.

Das heißt, da haben wir allerlei Zeit verloren bei der Fertigung von Komponenten.

Das heißt, das vorhin angesprochene, subtile Verhältnis zur Industrie, auch die Industrie, kommt dann in Schwierigkeiten irgendwann.

Dann können sie sagen, ja, das muss aber jetzt morgen geliefert werden und dann sagen, geht aber nicht, haben wir noch nicht hingekriegt.

Das ist wohlberechtigt.

Okay, das heißt, da haben wir viel Zeit verloren.

Dann war letztlich die Frage, also die berühmten eine Million Montagestunden, da hatte man viel weniger angesetzt.

Wie viel hatte man angesetzt?

Ja, die Zahl, die habe ich jetzt gar nicht parat.

Es war viel weniger.

Es war wirklich viel weniger.

In der Hoffnung, in der Hoffnung, dass die Industrie mehr machen könnte.

Also, dass man größere, integrierte Einheiten komplett von der Industrie geliefert bekommen könnte.

Diese Hoffnung hat sich ganz schnell zerstoßen.

Also, da hat es keinen Industriepartner gegeben, der gesagt hat, das fassen wir

an.

Die haben gesagt, das fassen wir überhaupt nicht an.

Und wenn sowas passiert, wenn sowas vorliegt, wenn also ein Industrieunternehmen sagt, da ist uns zu viel Risiko drin, jetzt also kein Sicherheitsrisiko, also ein wirtschaftliches Risiko, ein unternehmerisches Risiko drin, dann bleibt Ihnen als Forschungseinrichtung, als Auftraggeber nichts anderes übrig, als das Risiko reinzuholen.

Das müssen Sie an sich ziehen.

Das heißt, das muss an vielen Stellen passieren, bei der Montage, bei den Bauteilen.

Und da hat sich so viel Risiko akkumuliert, bei dem Projekt selber, dass sich dieses Risiko dann am Ende auch realisiert hat.

Also, das heißt, die ganzen Risiken haben wir dann eben an uns gezogen und dann ist das dem Institut um die Ohren geflogen.

Dann sind einfach, diese Pläne haben sich dann als so unrealistisch erwiesen, dass man dann irgendwann sagen musste, so kommen wir nie an.

Und dann beginnt es natürlich, dann wird das extern begutachtet von vielen klugen Leuten und dann muss man sehr, sehr viel Papiere dazu schreiben, muss man also berichten, muss man Vorschläge machen, muss man neue Konzepte ausarbeiten.

Und das hat dann so etwa, etwa 2003 hat sich abgezeichnet, also 2007 wird nichts.

Und dann beginnen Zeitpläne zu rutschen.

Dann wird aus 2007 plötzlich 2010 und aus 2010 plötzlich 2011 und aus 2011, 2012, ohne dass ein klarer Bild existiert.

Und das schlägt dann ja auch alles auf die Kosten durch.

Weil Gehälter müssen bezahlt werden.

Wie viele Leute arbeiten hier?

500 Leute etwa.

Nicht müssen Gelder bezahlt werden.

So ein Institut muss ja auch betrieben werden.

Das muss beheizt werden und sowas.

Und das gibt laufende Kosten.

Nicht alles, das schlägt dann brutal durch.

Nicht einzelne Bauteile sind auch mal teurer geworden.

Das ist dann auch mal vorgekommen.

Nicht wahnsinnig viel teurer.

Das ist quasi, ist das sogar noch ungefähr im Rahmen der Inflation geblieben.

So aufsummiert über die vielen Jahre.

Aber dann kam einfach der Zeitpunkt, der war 2007 erreicht, wo wir uns dann mal zusammensetzen mussten mit unseren Geldgebern.

Also mit Bund, allem voran, den Ländern und Euratom, also der Europäischen Union.

Nicht sagen, so jetzt müssen wir einen neuen Basisplan mal machen.

Und da haben wir sehr, alle Beteiligten sehr intensiv daran gearbeitet.

Und wir haben da eben halt die starke Unterstützung vom Bund bekommen, der gesagt hat, ja wir glauben weiter an dieses Projekt.

Was sehr dankenswert ist, nicht dass da nicht, manchmal ist das noch eine Krise, nicht da kann man auch finden, das lassen wir mal lieber.

Ich kenne da ein Projekt, aber...

Ja, es gibt solche Projekte, also überall auf der ganzen Welt.

Da gibt es viele Beispiele.

Aber der Bund hat sich da entschieden, nein, wir sind weiter davon überzeugt, von dieser guten Idee und wollen das umsetzen.

Und dann haben wir einen vernünftigen Plan auf die Beine gestellt, wo wir gesagt haben, das ist jetzt ein guter Basisplan, den haben wir 2007 dann verabschiedet.

Und da haben wir uns dann auch wirklich gegenseitig in Augen geguckt und haben gesagt, das war es jetzt auch.

Also das soll es jetzt sein.

Und wie viel ist es teurer geworden?

Naja, also 2007, denn diese Planung 2007, also eine revidierte Planung, die eben Fertigstellung 2014, also jetzt vorgesehen hat, und von 1996 bis 2014, mit allen

Gehältern drin, mit dem Gebäude selber, mit den Laufenkosten und den Investitionen, haben wir da die Milliardengrenze überschritten.

Das heißt, das sind 1,06 Milliarden.

Also 2007 war diese Summe nicht so festgeschrieben.

Und da haben wir uns in die Augen geguckt und haben gesagt, dabei bleibt es jetzt.

Also sowohl von den Kosten, also keine weiteren Kostensteigerungen, wie auch bei der Zeit. 2014 wird das Ding gefälligst verhalten.

Wie viel Prozent der ursprünglichen Planung?

Insgesamt hat es sich in etwa verdoppelt, ja.

Also alles zusammengeschmissen.

Aber natürlich ganz stark, ganz stark hat diese Zeitverschiebung von 2007 auf 2014 durchgeschlagen.

Nicht ganz einfach, diese laufenden Kosten, unsere schiere Existenz, die kostet ja Geld.

Das war ein ganz wesentlicher Faktor in dem Ganzen drin.

Na gut, und seit 2007, da haben wir uns drauf eingesprochen, und seit 2007 sind wir auch im Plan, also komplett im Plan, also im Zeitplan und Kostenplan geblieben.

Wäre die Industrie jetzt, wo Sie die Risiken an sich genommen haben und letztendlich auch geschultert haben, wäre die Industrie jetzt bereit, diese Erkenntnis gewinnen, aus den Risiken zu benutzen, um die Risiken selbst zu

übernehmen?

Teilweise schon, ja.

Ich denke, also, nee, ist nicht nur ich denke, das ist nachweisbar, dass die Industrie, das Abwickeln dieser Aufträge, enorm viel gelernt hat.

Und da kann man sagen, da haben wir auch zumindest einen Teil der Steuergelder wieder zurückgegeben an die Gesellschaft, weil wir die Industrie trainiert haben.

Das ist wirklich wie so ein Gym, wie so ein Workout für die Industrie, wo die einfach bis an die Grenzen gehen mussten, die fettesten Gewichte, die sie überhaupt stemmen können, nicht, dass sie die denn stemmen, da gehen sie anders raus, als sie reingehen in das Ganze.

Das heißt also, es gibt keinen einzigen Industriepartner, der von uns komplizierte Aufträge bekommen hat, der nicht deutlich klüger rausgegangen ist, als er reingegangen ist.

Und das wirkt sich dann auch wieder auf die anderen Produkte, mit denen sie dann so im Exportgeld verdienen, wirkt sich das auch.

Wir haben da so eine Broschüre mal zusammengestellt, wo wir das alles mal so durchdiskutiert und mit unseren Industriepartnern abgestimmt haben und nachgewiesen haben.

Das ist ein sehr signifikanter Effekt, weil er auch multiplikativ ist.

Das heißt, nehmen Sie mal einen Hersteller, der dann sagt, naja, so als kleine 10% Seitenaktivität bauen wir für die verrückten Physiker verrückte Dinge.

Und 90% unseres Geldes verdienen wir mit einem Standardprodukt, nicht was wir in den ganzen Weltmarkt reindrücken, nicht von dem wir Tausende verkaufen

und davon verkaufen wir eins.

Aber bei diesem einen Produkt für die Wissenschaft, wo man dabei etwas nur lernt, also nur ein paar Dinge lernt, die man in dieses Produkt hineinbringen kann, was sie hundertfach, vielleicht tausendfach verkaufen, da haben Sie natürlich einen irren Multiplikator da drin.

Das kennt man ja aus allen Bereichen der Industrie und Technologie, so kleine Detailverbesserungen, die können gerade sie mit ihrer Nase so nach vorne bringen, dass sie dann doch den koreanischen Mitanbieter aus dem Feld schlagen und den fetten Auftrag kriegen.

Die Industrie hat viel gelernt.

Sie haben vieles von der Industrie bauen lassen.

Sie sagten, Sie hätten vieles ausgelagert.

Könnte ich jetzt theoretisch zur Industrie gehen und sagen, ich möchte jetzt gerne so ein Ding bauen, gebt mal her?

Naja, so die industrielle Fertigung von solchem Großgerät.

Ja, die Firma, die wirklich dieses Wissen integral beisammen hat, also wirklich so integriert beisammen hat, die Firma gibt es noch nicht.

Können wir eine Ausgründung machen?

Ja.

Das sind jetzt so verteilte, sehr große Einzelaspekte.

Und das heißt, man wäre jetzt, also man ist jetzt industriell in einer besseren, deutlich besseren Lage.

Also ich glaube, der nächste Stellarator, der würde mal viel einfacher bauen können.

Bin ich mir ganz sicher.

Wird der nächste Stellarator gebaut?

Na, einen Plan gibt es davon noch nicht oder eine Finanzierung.

Aber ich meine, natürlich müsste man hier nachdenken, also wenn der Vendorstein 7X, wenn das ein großer Erfolg wird, wovon ich mal rein als persönliche Meinungskundgebung fest überzeugt bin.

Selbst wenn es in die Hose geht, wissen wir hinterher mehr als vorher.

Ja, so ist Wissenschaft immer.

Aber trotzdem, ich bin davon überzeugt, dass das eine tolle Maschine wird.

Naja, also, und wenn sich das tatsächlich so realisiert, dass es eine tolle Maschine wird, dann muss man natürlich einen logischen nächsten Schritt gehen.

Das heißt, das wirklich dann auf Kraftwerksgröße bringen.

Dann müssen wir mal ran an den Spektrum, wenn ich dann auch wirklich Strom erzeugen.

Ist das der nächste Schritt nach, wenn du Stand 7X wäre, der nächste Schritt ein Probekraftwerk?

Ja, so eine Art Probekraftwerk, irgend so was ITER-artiges.

Also ein ITER-Stelerator.

Das könnte man natürlich nicht mehr national machen.

Warum nicht?

Das wäre zu teuer.

Würde das mehr als eine Milliarde kosten?

Ja.

Warum?

Magnetfeld bezahlen sie nach Volumen.

Ach.

Ah ja.

Nach Kubikmeter.

Ja.

So steht das dann auch in ihren Kalkulationen.

Ja.

So viel Kubikmeter Magnetfeld, sonst für Millionen Euro.

Ja.

Das können sie wirklich so wie Milch kaufen.

Also geht nach Volumen.

Das heißt einfach, das größte Volumen, das Magnetfeld ist das teure dabei.

Und deshalb, so als Forschungsmaschine, also noch nicht als kommerzielle Maschine, Kraftwerke sind immer teuer.

Also ein Gigawatt Braunkohlekraftwerk kostet auch drei Milliarden Euro.

Also keine Frage.

Und das ist die konventionellste der konventionellen Technologien.

Und wenn sie dann so ein schickes, tolles Kraftwerk, was fast gar keinen Brennstoff braucht und ganz viel liefert und sowas.

Das wird natürlich auch teurer werden als so ein Braunkohlekraftwerk am Ende.

Aber das ist dann die industrielle Geschichte, das dann zu vermarkten.

Also solange wir noch im Forschungssektor, so im Prototypensektor sind, überschreitet man irgendwo die Grenze, wo Kooperation notwendig ist.

Und ich bin auch der Überzeugung, dass man für diesen nächsten Schritt, nicht, dass man da wirklich auch mit der Industrie ein Joint Venture machen sollte.

Also nicht dann einfach sagen, ja, das muss mit Steuergeldern bezahlt werden und Industrie ist nur als Auftragnehmer außen vor.

Sondern besser wäre es, besser wäre es, wenn sich da so ein gemeinsames Konsort finden würde.

Also Industrieunternehmen, die dieses Know-how haben wollen, also wirklich dieses integrierte Know-how, was Sie gerade angesprochen haben, nicht wie

man das Ganze baut und nicht nur Teile baut.

Solche Industrieunternehmen, die es ja gibt, so die großen Anlagenbauer und die öffentliche Hand, also Forschungseinrichtungen, Forschungsorganisationen, nicht?

Und dass man da denn, ja, meinetwegen, ein transeuropäisches Konsortium bildet, nicht?

Oder ein deutsch-französisches oder ein deutsch-französisch-finnisches oder was auch immer, nicht?

Also nicht, vielleicht auch über die europäischen Grenzen hinweg geht.

Also das würde man anders aufstellen.

Aber wichtig ist, dass man zunächst, dass man mit dem Wendelstein 7x zeigt, das Ding hat das Zeug dazu.

Wenn Sie sagen, es gibt keine Planung für den nächsten Schritt, also für was auch immer nach dem Wendelstein 7x kommt, haben wir dann erstmal ein paar Jahre Forschungsleerlauf?

Nein.

Also Sie zünden Ihre Anlage?

Wenn ich von Planung rede, wenn ich von Planung rede, dann meine ich wirklich Planung so mindestens auf dem Niveau der Orangenen Bücher, also wirklich so eine komplette Konzeptstudie.

Achso, das heißt, in Ihren und Ihres gleichen Köpfen existiert da schon sehr, sehr viel?

Oh, ja, ja, natürlich machen wir solche Reaktorstudien, das heißt diese Extrapolation, nicht vom Wendelstein zu einer Reaktorgröße, da haben wir schon sehr, sehr viel getan und das ist auch gut dokumentiert, das wird auf Konferenzen vorgestellt, das wird auch immer wieder evaluiert, nicht auf Konferenzen, immer wieder auch durchleuchtet.

Das ist eingebettet in die deutsche und in die europäische Reaktorstudienwelt.

Und nicht was, was auch in, also die deutschen Aktivitäten, die werden dann Garching auch sehr stark vorangetrieben, das ist aber eine gemeinsame Aktivität von allen drei deutschen Fusionsforschungszentren, Jülich, Karlsruhe und Garching-Greifswald.

Da hat das seinen festen Platz, das heißt also, wie das prinzipiell geht, ich denke, da haben wir schon ein ziemlich gutes Bild, das ist schon sehr, sehr vollständig.

Aber ich sage, das ist ja noch kein Plan, das ist ja kein Projektplan, das ist ja noch nicht runtergebrochen auf Bolzen und Schrauben und Arbeitsstunden und Arbeitsorganisationen und nicht Fertigungsprozesse und Fertigungsstandards und so weiter, das ist ein Projektplan.

Das Ganze muss dann zeitlich angeordnet werden, unterlegt werden mit Personal, was für Leute braucht man dafür, welche Qualifikationen, was gibt man in der Industrie.

Und das ist sicher mehr als eine Million Arbeitsstunden, die dann darin stecken.

Bin ich mir gar nicht so sicher.

Obwohl, nein, nee, wir wissen ja jetzt, wo wir, ja.

Also, nämlich erstens, das ist nur Größe, das heißt, die Bauteile werden größer, aber das erzeugt ja nicht viel mehr Arbeit.

Ja.

Sie brauchen einen stärkeren Kran, nicht?

also den 150 Tonnen Kran, den sie gesehen haben.

Ja, da müssen wir wahrscheinlich irgendwie so ein, ja, 3000 oder 5000 Tonnen Kran denn dafür kaufen.

Kann man kaufen, nicht?

Das ist ein normaler, ganz normaler Werftenkran.

Ist also nicht so schlimm.

Also, das heißt, die Bauteile sind größer, aber die sind nicht dadurch nicht aufwendiger.

Also, unsere Ingenieure finden das sogar, ja, sogar einfacher, eine größere Maschine zu bauen, weil die Toleranzanforderungen nicht mehr so groß sind.

Gleichzeitig ist die Halle größer, es können mehr Leute gleichzeitig arbeiten.

Ja, ja gut, vielleicht ein bisschen mehr Arbeitsdichte könnte man sogar auch erzeugen.

Aber die Toleranzen, die absoluten Toleranzen, das heißt unsere berühmten 1 bis 2 Millimeter, das könnte man ein bisschen relativieren.

Und das finden unsere Ingenieure nicht unattraktiv.

Des Weiteren ist der Wendelstein 7X natürlich eine ganz krachharte Forschungsmaschine.

Sie haben ja gesehen, diese unheimlich vielen Öffnungen und Sensoren und Zugänge da drin, das sieht ja völlig aus.

250 Öffnungen?

Ja, 250 von diesen, nee, es sind insgesamt 500 Öffnungen, aber 250 von denen gehen durch bis zum Plasmagefäß.

Ah, okay.

Nicht das andere sind Öffnungen, die nur in dieses äußere Gefäß reingehen.

Und irre viele Sensoren, alles ist ausgestattet da drin.

Das ist halt wie so ein Prototyp-Motor bei Daimler-Benz, nicht?

Da gucken auch, so ein Knoll an Kabel, guckt da raus, das baut kein Schwein in einem Auto ein.

Und da haben sie dann eine Scheibe, wo sie reingucken können und so.

Und bereits der nächste Schritt, der wird ja viel, viel einfacher ausfallen.

Weil wir dann ja schon viel mehr wissen hier, das heißt, gar nicht mehr jedes noch so kleine Detail angucken müssen.

Also das hier ist die richtige Forschungsmaschine, das andere wäre dann richtiger, sozusagen so ein Prototyp dann schon.

Den würde man anders ausrüsten, da würde man schon einfacher werden.

Und der zweite Punkt ist, dass wir beim Aufbau von Wendelstein 7X enorm viel gelernt haben, wo wir Dinge einfacher machen können.

Also diese Maschine ist physikoptimiert, das heißt, da haben Physiker sich dran gemacht, das Magnetfeld zu optimieren.

Und dieses Konzept braucht jetzt noch eine Ingenieuroptimierung.

Das heißt also auf der Basis der Erfahrung, die man hier gesammelt hat, wo man festgestellt hat, das ist aber nicht so gut geworden.

Das ist umständlich.

Wenn sie es dann gemacht haben, dann sagen sie, das hätte man ja eigentlich auch ganz anders machen können.

Und zwar viel, viel einfacher machen können.

Und das merken sie sich natürlich, das vergessen sie ja nicht sofort.

Das merken sie sich, tun sie auf die lange Liste der Vereinfachungen.

Das heißt also, die nächste Maschine würde deutlich einfacher werden, jetzt diese, umgekehrt gesagt kann man sagen, Wendelstein 7X ist der komplizierteste Stellarat bei aller Zeiten.

Weil ihr da nicht sitzen, sondern ganz oben, jetzt wird es wieder einfacher von der Komplexität her.

Insofern bin ich mir gar nicht sicher, ob wir diese eine Million Montagestunden dann wiederbekommen.

Aber wir reden dann auch wieder über so Zeiträume von eher ein bis zwei Jahrzehnten bis so ein Prototyp-Kraftwerk jemals.

Ja, wir müssen auch erstmal in diese Maschine reinschauen.

Ja.

Wann zünden wir eigentlich hier?

Wir zünden ja gar nicht.

Na, zünden.

Sie können schon zünden sagen, aber der Begriff ist mehrfach belegt.

Also die Erzeugung, wir reden ja von Erzeugung, des ersten Plasmas, das ist für die Mitte des nächsten Jahres vorgesehen.

Wir haben jetzt ein Jahr, ein Jahr mit Inbetriebnahme vor uns.

Was sind die Schritte der Inbetriebnahme, dass es ein Jahr lang dauert?

Naja.

Reizung an, Strom an.

Ja, ja, so ähnlich.

Lampe an, Strom an.

Aber es ist halt keine Nachttischlampe, nicht?

Das heißt, es wird immer gerne von Einschalten gesprochen.

Wir stehen jetzt ja kurz vom Einschalten der Maschine.

Ja, eben.

Aber das ist ja...

Leute wie ich haben dann so diesen, so diese großen Hebel, diese Spiele.

Ja, so ein großer Hebel oder so, oder so ein Knöpfchen, auf das man draufdrückt oder so.

Genau.

Aber das sind in Wirklichkeit eben tausende von Knöpfen.

Nicht, weil das eben aus vielen Subsystemen besteht, die alle laufen müssen, die teilweise sehr komplex sind.

Was sind da so die Hauptschritte?

Naja, also die Magnete wohnen im Vakuum, weil die ja kalt sind.

Die sind auf minus 270 Grad runtergekühlt.

Das kann man nicht in der Luft aufrechterhalten.

Das heißt, dieses äußere Gefäß, was Sie da gesehen haben, das ist das Gefäß, was das Vakuum herstellt für die Magnete.

Ah.

Die Magnete wohnen in einem Vakuum.

In Luftkontakt könnte man sie nicht kalt kriegen.

Verstehe.

So, okay.

Das heißt, das Vakuum müssen wir erzeugen.

Ja, aber da muss man doch, da muss man doch nur, wollte ich gerade sagen, da muss man doch nur die Luft rauspumpen.

Ja, ja.

Ja, ja, genau.

Aber das Vakuum muss gut sein.

Das heißt, die Luft muss rausgepumpt werden und es darf eben halt auch keine Luft mehr nachströmen.

Sowas nennen wir ja Lecks.

Also kleine, kleine Leckage.

Die können einem dieses Vakuum schon kaputt machen, weil das muss ein gutes Vakuum sein.

Das darf nicht nur ein bisschen dünne Luft sein, sondern das muss schon ordentlich sein.

Das gleiche zählt für das, Vakuum in dem eigentlichen Plasmagefäß, in dem Stahlgefäß, in dem das Plasma wohnt.

Wir müssen ja erstmal die Luft rausnehmen, damit wir dann dieses bisschen Wasserstoff, 0,1 Gramm dort reintun können.

Ja.

Und, Das heißt, ich muss das Vakuum evakuieren.

Ja, das Gefäß, das Gefäß wird evakuiert.

Das heißt, wir pumpen die ganze Luft raus.

Und das ist schön leer.

Ist fast nichts mehr drin.

Ganz, ganz wenig ist noch drin.

Und da tun wir wieder ein bisschen Wasserstoff rein.

So.

Das heißt, diese beiden Vakuumgefäße, diese beiden Vakuumvolumina, die müssen leer gepumpt werden.

Da müssen alle Lecks gefunden werden, wenn es dann eben nachzischt und so weiter.

Und muss sauber sein.

Dann müssen die Magnete abgekühlt werden von Raumtemperatur auf minus 270 Grad.

Das geschieht mit flüssigem Helium.

Da haben wir eine Heliumverflüssigungsanlage, die dann da 14 Tage, drei Wochen, vier Wochen lang nicht immer gasförmiges Helium immer weiter runterkühlt, bis es dann flüssig wird. und das dann so schön in einem geschlossenen Zyklus dann durch alle Spulen durchströmen lässt.

Das ist ein weiterer wichtiger Schritt.

Das können Sie erst machen, wenn Sie vorher das Vakuum erzeugt haben.

Ja.

Okay.

Sind Sie denn jetzt schon dabei, das Helium schon mal zu verflüssigen und irgendwo zu lagern?

Naja, wir haben diese Heliumverflüssigungsanlage haben wir zwei Jahre lang getestet schon, mit dem Hersteller zusammen.

Und so, dass wir sicher sind, dass sie funktioniert.

Dann haben wir sie zwischendurch eingemottet, weil die braucht wahnsinnig viel Strom.

Das ist ganz teuer.

Und wir beginnen, die jetzt gerade wieder auszumotten.

Also jetzt wieder zu befüllen.

Und demnächst wird sie wieder befüllt und wird dann wieder hochgefahren, sodass die dann Gewähr bei Fuß steht, wenn die dann die Aufgabe hat, die Spulen runterzukühlen.

Naja, wenn denn die Spulen runtergekühlt sind, dann beginnen wir sie mit Strom zu versehen.

Da beginnen wir auch erstmal ganz bescheiden, erstmal mit ein paar kleinen Amperechen.

Und dann am Ende müssen wir bei 18.500 Ampere ankommen.

Maximal.

Also das heißt so schön Schritt für Schritt den Strom hochfahren, gucken, was so passiert.

Hoffen, dass nicht irgendwann ein Kabel durchbrennt.

Ja, quasi.

Also dass die ganzen Kontakte, dass die sauber laufen und sowas.

Also elektrische Kontakte sind ja immer eine schwierige Sache bei hohem Strom.

Nicht, dass das alles sauber läuft.

Nicht, dass das ganz, ganz vorsichtig gemacht.

Da gehen wir mit einem rohen Ei, wie mit einem rohen Ei.

Und das heißt, Schritt für Schritt tasten wir uns da zu höheren Feldern.

Und das kostet alles Zeit.

Aber wir wollen ja diese Großinvestitionen ja auch nie gefährden.

Also Anlagensicherheit und Personensicherheit.

Personensicherheit war zuerst.

Niemand wird gefährdet.

Anlagensicherheit gleich dahinter.

Die Anlage darf nicht gefährdet werden.

Und da muss man entsprechend vorsichtig vorgehen.

Das wäre Hektik auch ein falscher Ansatz.

Gut, und dann werden wir die Magnete hochfahren.

Das wird dann auch mehrere Wochen, Monate dauern.

Und wenn das Magnetfeld den gewünschten Wert hat, den notwendigen Wert hat, dann erzeugen wir das Plasma.

Das sind so die ganz, ganz grob die Hauptschritte.

Und dann gucken Sie sich das Plasma an.

Und er sah, dass es gut war.

Naja.

Wenn Sie jetzt rausfinden wollen, ob das Magnetfeld ein gutes Magnetfeld ist, wie lange müssen Sie dann das Plasma sich angucken?

Oder was genau gucken Sie sich da an?

Naja, wir haben das Privileg, dass wir das Magnetfeld selber vermessen können.

Also wir können uns die Struktur des Magnetfeldes mit einem Messinstrument anschauen.

Mit einem Spezialisierten dafür, was wir auch selber entwickeln mussten.

Und damit können wir uns das wirklich so räumlich ganz, ganz genau angucken.

Das wird der erste Schritt sein.

Dass wir dann so sehen, die Berechnungen, die numerischen Berechnungen, die mathematischen Berechnungen zum Magnetfeld stimmen die überein mit dem, wie es sich in der Wirklichkeit...

Stimmt, das gibt ja noch gar kein Experiment.

Ja, wie es sich in der Wirklichkeit so darstellt.

Nicht so, okay.

Und das ist der erste Schritt.

Gut, und dann werden wir Plasma erzeugen.

Okay, und das wird dann auch recht bescheiden sein.

Das ist dann noch nicht so wahnsinnig leistungsfähig, in Sachen Temperatur, Dichte und so.

Das sind noch nicht so die Leistungskiste.

Und das ist dann zunächst erstmal für sich genommen sehr erfreulich.

Und dann beginnt ein riesengroßes Forschungsprogramm.

Und dann haben wir also einen ellenlangen Fragenkatalog, den wir dann abarbeiten.

Und den auch immer wieder readressiert, den auch immer wieder nachjustiert.

Das ist einfach dann die Forschungsrealität.

Das heißt, Sie haben einen initialen Fragenkatalog, also Fragen, die Sie am Anfang stellen.

Die Antworten auf diese Fragen werfen, wieder neue Fragen auf oder modifizieren.

Andere Fragestellungen, die Sie dann wieder nachziehen, die Sie dann wieder nachjustieren.

Das heißt, Ihr Bild, Ihr Bild davon, wie sich das verhält, Ihr physikalisches Bild, das verändert sich ständig.

Das ist in einem ständigen Fluss.

Und das ist also ein sehr großes Forschungsprogramm.

Und wir haben es denn hier mit einer Forschungsanlage, mit einer Forschungsinfrastruktur zu tun, wo große nationale und internationale Kooperationen arbeiten werden.

Das heißt, wir gehen davon aus, dass hier ganz bestimmt 50 Wissenschaftler aus der ganzen Welt noch hierher kommen, die dann in dieser Anlage mit unserem Team zusammen dann forschen werden.

Das wird also von Anfang an eine internationale Forschungseinrichtung werden.

Wie lange wird diese Forschung betrieben werden?

Es ist natürlich schwer zu sagen, weil es immer wieder neue Fragen gibt.

Ja, ja, man kann sowas unendlich lange machen.

Da muss man sich aber auch selber beschränken.

Also wann ist der Zeitpunkt, wo Sie sagen, genug geforscht, jetzt der nächste Schritt, jetzt Wendelstein 8?

Ja, der ist schwer vorher zu sagen, wann dieser Punkt gekommen ist.

Wir haben natürlich gut definierte Meilensteine, also bestimmte Punkte, wo wir sagen, okay, wenn wir das erreichen, dann sind wir wissenschaftlich einen ganz gewaltigen Schritt vorangekommen.

Und wann dieser Punkt erreicht ist, das ist schwer vorherzusagen, muss man sagen.

Da müssen wir erstmal ein Gefühl für die Maschine so bekommen.

Natürlich gibt es sehr viele Computersimulationen, die Vorhersagen machen.

Das gibt uns eine gewisse Marschrichtung, in Ecken, in die wir gucken werden, bezüglich der Fragestellung, die wir da bearbeiten werden.

Aber das ist natürlich, wie Forschung so ist, eine Terra incognita.

Das heißt, wir müssen so Nebel auflösen, so nacheinander und sehen, wie wir denn da marschieren.

Man kann uns das so an so einer Faustformel so festmachen. zehn Jahre lang ist so eine Maschine super spannend.

Dann entdeckt man, ist alles neu, was man anguckt.

Und dann die weiteren zehn Jahre konsolidiert sich das.

Das heißt, dann beginnen sie, beginnen sie viele Details auszuarbeiten und sowas und da noch was zu entdecken.

Und manchmal gibt es dann plötzlich hier noch einen kleinen Durchbruch, manchmal gibt es sogar noch einen großen Durchbruch.

Aber das heißt, 20 Jahre ist mal so eine typische gute Dauer für eine Fusionsanlage.

Und entweder man baut diese Anlage dann nochmal massiv um, also erweitert sie mit ein paar guten Ideen, fügt man noch Elemente dazu, die die völlig anders machen, völlig neu machen.

Dann kann man das noch ein paar weiter fortsetzen.

Wenn das aber nicht sinnvoll ist, oder man das nicht möchte, weil man dann lieber gleich den Wendelstein 8 oder sowas bauen möchte, dann sagt man, dann lassen wir es mal.

Das heißt, also so grob die 20 Jahre Perspektive, die würde ich dem schon so einräumen.

Und das, obwohl sie nur gucken wollten, ob das Magnetfeld ordentlich ist.

Nee, das ist nämlich nicht.

Nämlich es geht ja nicht nur darum, dass man so ein Magnetfeld hat und da tut man ein paar Teilchen rein und dann ist es gut oder nicht.

So einfach ist die Welt denn nicht.

Sondern das ist ein, ja, das ist auch eine, ein sehr feines Wechselspiel zwischen dem Magnetfeld und diesem Plasma.

Also das kann man nicht voneinander trennen.

Oha!

Ja, das Magnetfeld wird nämlich durch das Plasma entweder dauerhaft, also stationär, so wie ich das während des ganzen Betriebes oder eben auf kurzen zeitlichen, verschiedenen kurzen zeitlichen Skalen, verändert.

Nämlich ein Plasma, das ist ja etwas, wo geladene Teilchen drin sind, nicht geladene Teilchen in Bewegung.

Die sind nicht immer gleich verteilt.

Nee, das macht Ströme.

Strom, elektrischer Strom wird erzeugt.

So wie elektrischer Strom erzeugt wird, steht da ein Magnetfeld.

Und das Magnetfeld entsteht aus dem Plasma heraus.

Dann hat man das Magnetfeld, was man von außen erzeugt mit den Spulen.

Dann hat man das Magnetfeld, was innen drin wohnt.

Also was innen drin erzeugt wird.

Aber jetzt kriegen Sie doch ein Problem, weil Ihre Spulen sind ja fest designt.

Sie haben ja ein festes Spulendesign, diese ganzen ineinander verteilten Dinger, die da drumherum stehen.

50 Stück, glaube ich, sind es.

Und Sie wissen jetzt ja noch nicht, was für Ströme im Plasma entstehen.

Naja, ganz so schlecht ist unser Wissen nicht.

Da haben wir zum Glück die Theorie.

Ohne die Theorie könnten wir diese ganze Forschung nicht machen.

Die ist zu komplex, dass man da nur so heuristisch rangeht.

Und deshalb haben wir also ein sehr, sehr gutes theoretisches Bild, was auch gut validiert ist.

Also sich abstützt auf Beobachtungen in Vorgängermaschinen.

Das ist ja nun nicht die allererste Maschine dieser Art in der Welt nicht, sondern der Wendelstein 7AS, der Vorgänger, der hatte schon bestimmte Eigenschaften davon.

Damit konnten diese theoretischen Bilder, nicht die Berechnungen, konnten damit gut abgestützt werden, sodass wir schon sehr gute Vorhersagen haben, was wird passieren.

Und da kann man sagen, okay, das passt eigentlich alles ganz gut zusammen.

Nun ist aber die Theorie auch immer so, die muss bestimmte Annahmen machen, auch vereinfachende Annahmen machen.

Das heißt, da gibt es auch Unsicherheitsfaktoren so drin.

Was es denn wiederum notwendig macht, dass die Experimente sich diese Theorie angucken, wieder zurückkoppeln in die Theorie.

Okay, das ist jetzt vollkommen robust, das ist vollkommen richtig.

Hier müsst ihr eventuell nochmal ran.

So, das heißt, wir haben schon ein echt vernünftiges Bild davon, wie sich das Verhalten wird.

Trotzdem müssen wir diesen Dingen Schritt für Schritt nachgehen.

Das ist einfach auch gute wissenschaftliche Praxis, aber quasi der heilige Gral der Wissenschaft, dass man immer wieder die Bilder abgleicht, also mit der Erfahrung abgleicht.

Es hilft nichts, ein Gedankenkonstrukt zu haben, wenn man es nicht abbildet auf die Wirklichkeit.

Diese Wirklichkeit ist dann letztlich der oberste Gerichtshof dafür.

Man muss natürlich sicherstellen, dass die Wirklichkeit, dass die Beobachtung auch tatsächlich korrekt beobachtet ist.

Das heißt, dass man wirklich sieht, was man, also das ist tatsächlich das, was man sieht, dass es das ist, was man glaubt.

Was man angenommen hat zu sehen?

Nein, also das nicht, dass man nicht irgendeinem Artefakt aufsitzt.

Das kann man natürlich messen, sehr leicht.

Wie viel Toleranz hat Ihr Spulendesign denn?

Zu 100 Prozent können Sie nicht wissen, was im Plasma passiert, oder?

Nö, aber wir haben sehr viel Flexibilität in unserem Spulen.

Also jede Spule kann, es wird mit einer separaten Stromversorgung versehen,

also so, dass wir insgesamt für die sieben verschiedenen Spulentypen sieben verschiedene Stromversorgungen haben und die sieben verschiedenen Stromversorgungen können wir alle separat steuern.

Das heißt, wir haben sieben Knöpfe da dran.

So, und damit haben wir eine enorme Flexibilität im Magnet, in unserem ganzen Magnetsystem, sodass, wenn wir eine Situation feststellen, wo das von außen erzeugte Magnetfeld mit dem Plasma-Gleichgewicht nicht gut zusammenpasst, wo sich garstige Ströme entwickeln oder Instabilitäten, das heißt, zeitliche Ströme, die dann dazu führen, dass wir Plasma-Verluste an die Wand haben und sowas, sowas gibt es alles.

Dann können wir diese Magnetfeld-Konfiguration ändern, können wir in eine andere Ecke gehen und sagen, ah, jetzt wird es besser.

Und es gibt noch ein paar andere Parameter, mit denen man das beeinflussen kann, mit Gaszufuhr und Heizung und sowas.

Das heißt also, wir haben am Ende sehr viele Möglichkeiten, das experimentell zu beeinflussen, also daran, ja, quasi Knöpfe zum Drehen, nicht so bildlich gesprochen, und dann das Verhalten des Plasmas in diesem Magnetfeld zu optimieren wiederum.

Das heißt, das so hinzubringen, dass wir die bestmöglichen Parameter haben.

Warum sind die Spulen denn dann so komisch geformt?

Hätten sie doch nicht ganz einfach gerade Spulen drumherum bauen können, an deren Magnetfeldern sie dann rumspielen, solange bis es sitzt?

Ja.

Also diese Formung der Spulen, die erzeugt erstmal eine Magnetfeldgeometrie,

die für sich als gut angesehen wird.

Das ist sozusagen eine gute Basis, das ist eine gute Plattform.

Kann man so sagen, das ist ein guter Standard, den wir damit erzeugen.

Es ist jetzt schon klar, dass dieser gute Standard nicht alle Ansprüche erfüllt, und dass links und rechts und oben und unten von diesem guten Standard nicht, dass dort Ecken sind, nicht die andere Vorteile haben.

Und da beginnt diese, da beginnt diese bereits erwähnte Terra incognita, nicht, da wissen wir das nicht so ganz genau.

Wir wissen auch nicht ganz genau, ob der gute Standard der beste Standard ist.

Also das ist sozusagen einfach eine solide Sache, auf die wir uns aussetzen können.

Und diese solide Sache ist in diese Spulenform denn schon mal hineingegossen worden.

Und mithilfe der Variation der Ströme und dieser zusätzlichen Planadensuren und sowas können wir uns in diesem Parameterraum, der diese Geometrien dann festlegt, können wir uns da hin und her bewegen und in andere Ecken hineingucken.

Und ja, das ist Forschung.

Das heißt, da erforschen wir dann tatsächlich, wie die reale Situation ist, wie die realen Eigenschaften eines solchen Magnetfeldes sind bezüglich der Wärmeisolation.

Das ist dann immer die Sache.

Kann man mit so einer Maschine eigentlich noch irgendwas anderes machen als Strom erzeugen?

Ja, Prozess Wärme.

Also, als erstes erzeugt man erstmal Wärme.

Stimmt.

Das ist das.

Stimmt, den Strom, den macht ja hinterher die Turbine.

Ja, den Strom, den Strom macht ja die Turbine.

Was wir mit der Wärme machen, das bleibt Ihnen überlassen. und es gibt da durchaus Konzepte, was heißt Konzepte, es gibt da durchaus Bereiche, wo sie enorme Mengen Prozesswärme brauchen.

Katalyse, zum Beispiel.

Großkatalytische Anlagen.

Und unser lieber Kollege am Max-Planck-Institut für die Konversion chemischer Energie in Mühlheim, euer Gründer des Instituts, der wird nicht müde zu betonen, dass er diese Prozesswärme, die wir mit einem Fusionskraftwerk erzeugen könnten, dass er die verdammt gut gebrauchen könnte für seine katalytischen Verfahren, um aus Wasserstoff und CO₂ in der Atmosphäre künstlichen Brennstoff, also künstlichen Kraftstoff zu machen.

Also das heißt, der Energiespeicher, Kohlenwasserstoffe über heterogene Katalyse.

Da brauchen Sie Prozesswärme.

Heterogene Katalyse.

Sie sprechen in Zungen.

Ja, das ist ein ein Beschleuniger, also ein cleverer Beschleuniger für einen chemischen Prozess.

Also eine schick geformte Oberfläche, so nanostrukturierte Oberfläche.

Und diese Oberfläche kann Moleküle dazu bringen, viel effizienter, viel häufiger langkettige chemische Verbindungen zu bilden, die Sie sonst ewig warten, bis die sich mal bilden könnten.

Und dazu brauche ich aber Wärme.

Dazu brauchen Sie Wärme.

Dazu brauchen Sie Prozesswärme.

Das ist durch die Chemie bedingt, nicht durch die Energieniveaus, die damit verbunden sind.

Und da sehen Sie, da gibt es auch so eine Querverbindung.

Also das heißt, am Ende können wir das auch gar nicht sagen.

Jetzt ist das nur ein Beispiel.

Ich glaube, dass man einfach so eine massive Wärmequelle, dass man die für vieles gut gebrauchen kann.

Und das wissen wir noch gar nicht.

Wir müssen ja bedenken, wir arbeiten hier an einer neuen Primärenergiequelle.

Meines Wissens nach ist sogar die einzige neue Primärenergiequelle, an der hier auf der Erde gearbeitet wird.

Die anderen sind alle schon wohl etabliert, die Primärenergiequellen.

Und wo die Anwendungsbereiche, wo die Perspektiven dieser neuen Primärenergiequelle sind, das wissen wir noch gar nicht.

Aber wir müssen uns erst mal rausfinden, wie das läuft.

Und ja, und dann kommt die Anwendung.

Also vor das Anwenden hat der liebe Gott das Forschung gesetzt.

Thomas Klinger, vielen Dank.

Das war mir ein Vergnügen.