

12. Jan. 20.12.52

RES095_Die_PtB_und_die_neuen_Einheits

Willkommen zum Forschungspodcast der Helmholtz-Gemeinschaft.

Ich bin Holger Klein.

Ich bin nach Braunschweig gefahren.

In Braunschweig, da ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und mir gegenüber sitzt deren Präsident Joachim Ullrich.

Hallo Herr Ullrich.

Hallo.

Guten Tag.

Die PTB, Sie sind die mit der Atomuhr, ne?

Ja, ja, ja.

Ach komm, bevor wir jetzt über die Details reden, reden wir mal über die PTB.

Was ist eigentlich Ihr Job?

Das klingt so unglaublich hoheitlich, was Physikalisch-Technische Bundesanstalt wäre.

Das ist in der Tat eine hoheitliche Aufgabe, die wir hier erfüllen, nämlich wir sind zuständig für die gesamte Messinfrastruktur in Deutschland, also zu etablieren die ganze Messinfrastruktur in Deutschland für die Industrie, aber auch für die Verbraucher, für die Wirtschaft, die Wissenschaft zu etablieren und diese auch international zu harmonisieren, sodass das Meter international das gleiche ist sozusagen, dass die Zeit überall gleich tickt.

Dafür sind wir zuständig.

Was heißt denn Messinfrastruktur?

Sie sind diejenige, die Zollstöcke produziert?

Nein?

Nein, aber wenn Sie einen Zollstock kaufen, sind wir letztendlich dafür zuständig, dass er korrekt ist, dass er genau die Länge hat, die er wirklich braucht.

Das heißt, in Deutschland gibt es insgesamt jetzt im industriellen Bereich mehr als 400 Kalibrierlabors, die alle Größen, die in der Industrie gebraucht werden, also Länge, Gewicht, Temperatur vermessen und weitergeben, also kalibrieren.

Also wenn Sie ein Spannungsmesser kaufen, zum Beispiel die 220 Volt in der Steckdose messen wollen, dann können Sie ein kleines Gerät kaufen im Supermarkt und so weiter, da steht drauf, mit welcher Genauigkeit dieses Gerät misst und dass diese Genauigkeit jetzt zum Beispiel stimmt an der Stelle, das wird von einem Kalibrierlabor sichergestellt, dass dieses Gerät das tatsächlich so kann.

Von der Seite gibt es 400 für alle möglichen Größen, ich hatte es schon gesagt, Temperatur für Längen, für Masse und so weiter und diese Kalibrierlabors, die müssen wir da sicherstellen, dass sie mit unseren normalen übereinstimmen.

Also die müssen sich sozusagen, wir nennen das Rückführen auf uns, die müssen, wenn die sagen, wenn ein Kalibrierlabor sagt, ich kann einen Meter mit einer Genauigkeit von 5 Mikrometer messen, dann müssen sie das uns gegenüber nachweisen und das muss stimmen.

Und wir wiederum weisen unsere Fähigkeit nach, dass wir diesen Meter nicht nur mit einer Mikrometergenauigkeit, sondern mit einer Nanometergenauigkeit messen können im Vergleich international mit ähnlichen Institutionen, die es weltweit in jedem Land mehr oder weniger gibt.

Damit stellen wir eine weltweite Qualitätsinfrastruktur zur Verfügung und wir stellen weltweit sicher, dass wenn irgendwo jemand in dem System ist, von uns kalibriert ist und rückgeführt ist, dass man vertrauen kann auf die Messgröße, die er hat und dass die Unsicherheit, die er angibt, dass die auch korrekt ist.

Also wenn ich jetzt Zollstöcke produzieren wollen würde, könnte ich ja auch hingehen, könnte mir in einer anderen Zollstöckeholung sagen, der ist einen Meter lang, ich mache meinen genauso lang.

Dürfte ich das oder muss ich dann zu so einem Kalibrierlabor gehen?

Also im gesetzlichen Messwesen gar nicht, also überall wo Geld dabei ist sozusagen.

Also ich meine, wir stellen zum Beispiel auch sicher, dass Tankuhren richtig gehen, dass ihr Stromzähler richtig geht, dass ihr Wasserzähler richtig geht und so weiter.

Also es gibt 150 Messgerätearten, die gesetzlich geregelt sind, weil damit Geld verbunden ist.

Okay, also Abrechnungen.

Da müssen sie dafür bezahlen, also es sind Abrechnungen damit verfügbar, das nennt man das gesetzliche Messwesen.

Und da gibt es also etwa 130 verschiedene Messgeräte-Typen, also auch Wärmehähler und so weiter und so fort, was man alles so braucht.

Taxometer, Geschwindigkeitsmessgeräte da von der Polizei, wenn sie in eine Falle fahren und so.

Das muss natürlich auch korrekt funktionieren, also überall wo Geld im Spiel ist oder Strafen oder sonst was.

Das ist das gesetzliche Messwesen und das ist reguliert und da können sie natürlich nicht irgendein Gerät in den Verkehr bringen.

Also früher musste die Bauart von uns zugelassen sein und jetzt ist es europäisch anders geregelt.

Also es muss eine sogenannte Konformitätsbewertung stattgefunden haben, damit die Dinge richtig funktionieren.

Ich könnte also einen Zollstock bauen, der behauptet er wäre einen Meter lang, ist aber nur 95 cm lang, dann kriege ich von ihm keinen Berger.

Also wenn sie im Geschäft sind, dann dürfen sie das nicht.

Dann darf ich es nicht.

Da gibt es ja den berühmten Witz, dass der Meister den Lehrling fragt, hol mal den Zollstock und dann sagt der Lehrling, den für den Verkauf oder für den Einkauf.

Das ist der Finger auf der Waage sozusagen.

Sie sind ja, ich mache es etwas pathetisch, Sie sind ja ein direkter Nachfahre des Namensgebers, meines Auftraggebers, nämlich ein direkter Nachfahre von Hermann von Helmholtz.

Der hat das hier gegründet.

Hermann von Helmholtz war der erste Präsident.

Er hat die Gründung mit betrieben, aber der eigentliche Betreiber war eigentlich Werner von Siemens.

Werner von Siemens hatte zu dem Zeitpunkt, also nicht lange zuvor, gerade den Dynamo erfunden, elektrische Größen wurden, also Elektrizität wurde überhaupt verfügbar, irgendwo anders.

Man konnte generieren und konnte dann auch transportieren.

Die Beleuchtung war gerade in einem Umbruch, also von Gasbeleuchtung zu elektrischen Beleuchtung und so weiter.

Und Werner von Siemens war ein sehr weitsichtiger Mann, hat sich sehr viele Gedanken gemacht über die Konkurrenzfähigkeit deutscher Industrie.

Es war die Gründerzeit, also Ende des 19.

Jahrhunderts, und er war der festen Überzeugung, dass es ein nationales Institut bräuchte, die also damals, so hat er es ausgedrückt, für Präzisionsmessungen zuständig ist, für Wissenschaft außerhalb der Universitäten.

Es war auch ganz klar, wir haben sehr gute, zu dem Zeitpunkt sehr gute Wissenschaftler ausgebildet.

Die Universitäten waren sehr gut, sehr hochrangig, allerdings dann häufig abgewandert, darüber hat er sich ins Ausland, darüber hat er sich Gedanken gemacht.

Die Umsetzung in die Industrie war nicht besonders gut und es gab keine, sag ich mal, ja, Anstalt oder es gab keine Heldenholz-Gemeinschaft, es gab auch keine Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, keine Max-Planck-Gesellschaft, keine Fraunhofer.

Es gab nichts.

Es gab keine außeruniversitäre Forschung.

Außer in der Industrie selber dann wahrscheinlich.

Ja, außer in der Industrie selber, aber da hat er gesehen, dass da eine Lücke klafft, dass die Industrie das nicht selbst leisten kann, insbesondere dann, wenn es also um die Entwicklung von Präzisionsmessmethoden geht, die er

insbesondere natürlich dann in der Elektrik und der Lichttechnik, also in dem Sinne für die Dinge, wo er involviert war, dann auch tatsächlich gesehen hat.

Also da klaffte eine Lücke und in dem Sinne war dann auch, und das hat er sehr stark betrieben, über 10, 15 Jahre gegen politische Widerstände, wie das manchmal so ist.

Also das war nicht von vornherein klar, dass man als Staat so etwas braucht.

Das kann ich mir überhaupt nicht vorstellen, das leuchtet aber doch jedem ein.

Also ich meine, allein das, gab es damals schon überall die gleiche Uhrzeit wenigstens?

Das gab damals nicht die gleiche Uhrzeit, nein.

Also die gleichen Uhrzeiten, also da bin ich jetzt nicht ganz der Fachmann, aber soweit ich informiert bin, kamen die aus letztendlich der Bedarf über die Eisenbahn, hauptsächlich auch in den USA, wo große Strecken sind und da mussten die Uhren halt irgendwie halbwegs gleich gehen.

Ich bin mir nicht sicher, muss ich zugeben an der Stelle, ob es damals schon die gleiche Uhrzeit gab.

Das heißt, bevor die Physikalisch-Technische Bundesanstalt gegründet wurde, konnte ich eine 15er Schraube in Hamburg komplett anders bauen als eine 15er Schraube in München.

Also ich muss noch mal klar sagen, ich meine, es war ja erst 1871, wo dann das Deutsche Reich sozusagen vereinheitlicht wurde.

Vorher hatten wir ja, also noch weiter vorher, hatten wir viele deutsche Länder, also einige hundert, und die hatten ihre eigenen Längenmaße zum Teil.

Wir hatten die Braunschweiger Elle, die hängt hier irgendwie eingemeißelt an einem Haus in der Stadt.

Jeder Herrscher konnte das machen, wie er wollte.

Es gab Zölle an jeder Stelle und so weiter.

Und die Meta-Konvention wurde dann aus den Gründen ja auch 1875 erst gegründet, um da eine internationale, auch einheitliche Basis zu schaffen.

Und das war auch auf Betreiben von Smitz und Helmuth?

Nein, das war nicht auf direktes Betreiben, aber Deutschland war von Anfang an Mitglied dann in dieser Meta-Konvention.

Es waren 17 Staaten, die das ursprünglich mal unterschrieben haben.

Heute sind wir knapp 100 Staaten, die die Meta-Konvention unterschrieben haben.

Das heißt, es gibt weltweit nur 100 Staaten von über 200 Staaten, die sich an Meta halten?

Aber die repräsentieren 97 Prozent der Weltwirtschaftskraft.

Jeder, der internationalen Handel treiben will, bezieht sich auf das internationale System der Einheiten und damit die Meta-Konvention.

Also nochmal zurück zu Werner von Siemens, zu der Gründung.

Werner von Siemens war da extrem weitsichtig an der Stelle, hat das Ganze befördert dadurch, dass er erstens Geld zur Verfügung gestellt hat, dem deutschen Staat damals, und zusätzlich sogar auch noch seinen Garten zur Verfügung gestellt hat, sein Gelände.

Also das war in Berlin, Charlottenburg, hat er ein Haus mit großem Garten.

Und auf diesem Gelände wurde damals dann auch tatsächlich die Reichsanstalt

gegründet.

Das war, wenn man so will, die erste Private-Public-Partnership oder eine der ersten möglicherweise.

Ich weiß nicht, ob es die erste ist.

Aber er hat das extrem forciert und insbesondere auch eben durch diese Schenkungen nochmal stark hinterlegt, dass sowas passieren muss.

Also der Kaiser konnte dann nicht mehr Nein sagen?

Konnte dann nicht mehr wirklich Nein sagen.

Oder dass der Kaiser nicht ablehnen kann.

Und ab dann war es eine gigantische Erfolgsgeschichte, war die erste außeruniversitäre Forschungseinrichtung in Deutschland.

Auch weltweit gab es das in der Art und Weise nicht.

Und in den ersten 15, 20, 15, 20 Jahren gab es dann auch wissenschaftliche Durchbrüche ersten Ranges, die mit der Reichsanstalt verbunden sind.

Zum Beispiel?

Zum Beispiel die Entwicklung der Quantenmechanik.

Das ist das, was heute immer noch keiner versteht, oder wie wir das nennen?

Ja, also genau, da gibt es also Aussprüche von Dirac und anderen.

Nobody understands quantum mechanics.

Also mathematisch kann man es verstehen, ich glaube anschaulich häufig eben nicht.

Die Entwicklung der Quantenmechanik, die basiert auf Präzisionsmessungen, die damals in der Reichsanstalt gemacht wurden, kurz vor 1900.

Also waren mit die ersten Messungen, da ging es also um die Strahlung, sogenannte schwarzer Strahler, wurde extrem genau vermessen.

Es gab klassische Beschreibungsmöglichkeiten, Theorien dazu, die aber dann bei sehr genauem Hinschauen das Spektrum, also die Form dieser Wellenlängenabhängigkeit nicht wiedergegeben hat.

Blank war damals im Kuratorium der Reichsanstalt.

Das ist übrigens auch sehr bemerkenswert, von Anfang an gab es so etwas wie einen wissenschaftlichen Beirat, ein Kuratorium, also sehr modern auch im heutigen Sinne, von sehr hochrangigen Persönlichkeiten.

Das heißt, Siemens hat auch erkannt, dass er das nicht einfach nur, ich sage mal, profitgetrieben steuern darf, sondern das ist auch immer erkenntnisgetrieben.

Also für ihn war das extrem erkenntnisgetrieben, also wenn man seine Schriften auch liest, und das habe ich nur zum Teil jetzt auch gemacht, aber auszugsweise, er war natürlich auch im Herzen ein Wissenschaftler.

Und er hat immer gesagt, er hat gesagt, dass die Wissenschaft die eigentliche Basis für die Fortschritte eines Landes ist.

Hat es natürlich bei sich auch dann immer wieder umgesetzt, in Technologie, in Wirtschaft, in Ökonomie, aber er war ein begeisterter Wissenschaftler und er hat das als absolute Grundlage gesehen.

Was sind schwarze Strahler?

Also Sie nehmen ganz einfach, Sie nehmen eine Kiste, einen Pappkarton, malen den schwarz an und der ist vollständig zu und jetzt machen Sie da ein kleines Loch rein mit der Nadel zum Beispiel.

Und okay, jetzt machen wir die Kiste aus Metall, damit wir sie erhitzen können und so.

Jetzt erhitzen wir die Kiste und wir schauen auf das Licht und die Wärmestrahlung, was ja letztendlich das gleiche ist, elektromagnetische Strahlung, was aus diesem Loch rauskommt.

Das heißt, das ist ein Strahler, also da kommt was raus.

Ich frage mich gerade, warum man das macht.

Aber eins nach dem anderen.

Ja, weil man den Zusammenhang zwischen Temperatur und Wellenlängen von Licht erkennen möchte.

Einfaches Beispiel, das kannst du zu Hause ausprobieren, eine Herdplatte, Sie schalten die an, ist am Anfang schwarz, aber Sie sehen nichts, weil Ihr Detektor-Auge diese Strahlung nicht sehen kann.

Ihr Detektor-Hand spürt schon was, nämlich Wärmestrahlung, die da weg geht und dann wird das Ding rot, dann wird es weiß, glühend und so weiter.

Das heißt also, die Farbverteilung, die von dieser Platte ausgeht, hängt mit deren Temperatur zusammen.

Hängt also von der Temperatur ab.

Und was man also gemacht hat, was dieser schwarze Strahler idealisiert macht, ist, dass ich Strahlung in so einem Gefäß drin habe.

Die wird überall reflektiert an den Wänden, hängt von der Temperatur ab, der Wände.

Also genauso wie bei der Herdplatte, viele Herdplatten irgendwie aneinander

gebaut zum Beispiel.

Und kommt dann statistisch irgendwann mal durch das kleine Löschchen.

Das heißt, das ist komplett thermalisiert, das ist also statistisch gemittelt, die Strahlung, die da rauskommt.

Es kommt fast nie vor, dass da ein Strahl direkt rauskommt, sondern es ist x-mal gestreut und dann irgendwann kommt er raus.

Und hat sich also mit allen abgeredet, abgesprochen, die da drin sind.

Und was dann da rauskommt, ist ein Farbspektrum, was von der Temperatur abhängt.

Es wird immer heller sozusagen, immer blauer, also von rot immer blauer und immer hochenergetischer, aber hat eine breite Verteilung.

Auch die anderen Farben sind immer noch da, nur sieht das Auge das nicht und wir sehen immer nur die hellste.

Und diese Verteilung war zu dem Zeitpunkt sehr stark untersucht.

Also wie hängt die von der Temperatur ab?

Und das sind natürlich sehr, sehr grundlegende Fragen, wie Temperatur und Strahlung, elektromagnetische Strahlung, überhaupt miteinander in Verbindung stehen.

Da kommt der Begriff Entropie, Wahrscheinlichkeitsverteilung und so weiter mit ins Spiel.

Haben die daraus dann auch unmittelbar was gemacht?

Also Siemens wird ja schon, auch wenn er Wissenschaftler, Sie sagen ja selbst, Siemens war Wissenschaftler, aber er hat halt auch immer wieder das zu

industriellen Anwendungen oder überhaupt zu Anwendungen gemacht.

Ja, bis jetzt wurde daraus nicht direkt jetzt ein industrielles Produkt gemacht, wozu es natürlich sofort auch verwendet wurde, ist um Temperaturen zu vermessen.

Ich kann also das Sonnenspektrum, die Sonne ist ein schwarzer Strahler, weil sie relativ perfekt, sie hat eine bestimmte Temperatur, die Oberfläche hat eine Temperatur.

Das heißt, entsprechend dieser Temperatur gibt es also Farbverteilung des Lichts, was von der Sonne auf die Erde kommt.

Und das entspricht genau diesem Plancks-Strahlungsgesetz letztendlich.

Und das Maximum in dieser Verteilung, also das ist eine breite Farbpalette, das Maximum ist genau bei Grün, wo unser Auge am sensibelsten ist.

Hat sich eingestellt auf diese Sonnenstrahlung, die letztendlich ein schwarzer Strahler ist.

Aber warum heißen die schwarz?

Weil ich das meiste nicht sehe?

Ja, weil also keine Absorption von außen auftritt.

Also ein schwarzer Körper ist deswegen schwarz, weil er im Idealfall alles absorbiert, was an Licht an ihn kommt und nichts mehr zurückstrahlt.

Und das sieht für sie schwarz aus.

Schwarzes Loch, das ist nochmal eine andere Sache, der kann aus gravitativen Gründen, weil das Licht auch von Massen angezogen werden kann.

Wenn die Masse groß genug ist, kommt das Licht nicht mehr aus dem Loch raus.

Und damit ist es auch perfekt, in Anführungsstrichen.

Also es gibt alle möglichen Dinge noch zu berücksichtigen, aber im Prinzip perfekt schwarz.

Also ein Teil, ein Werkstoff, wo ich Licht drauf schreibe und es kommt nicht mehr zurück, ist schwarz.

Und das macht man gerade, man will ja eigentlich nur das sehen, was da emittiert wird.

Deswegen hat man so einen Körper, der nur ein kleines Loch hat.

Wenn da Strahlung reingehen würde, dann bleibt die da drin, die wird thermalisiert.

Also dass das Ding wieder irgendwie nach 100.000 Reflexionen gerade wieder zufällig rauskommt, die Wahrscheinlichkeit ist null.

Wir kommen jetzt zurück auf die Geschichte der PCB.

Also kann ich Ihnen vielleicht sagen, das hat man damals untersucht, damit kann man Temperaturen messen.

Also wenn ich so ein Spektrum ausmesse, dann kann ich direkt sagen, welche Temperatur der Körper hat.

Also es ist eine Möglichkeit, Temperaturen zu messen, was man auch weiträumig macht, Pyrometrie.

Pyrometrie heißt das, Temperatur messen?

Ja, wo man also schaut, aufgrund der Farbe sozusagen, die Temperatur zurückschließt.

Was haben die noch erfunden?

Ich bleib mal da, das klingt spannend.

Also ganz am Anfang waren sozusagen auch Beleuchtungskenngrößen sehr, sehr wichtig.

Man hat für die elektrische Beleuchtung Lichtstärken definiert und so weiter und so fort.

Da wurden dann auch sehr schnell internationale Gesellschaften gegründet, Anfang des 20.

Jahrhunderts.

Ja, und dann gab es, also Einstein war im Kuratorium zum Beispiel, der wurde ja, ich glaube 1914, letztendlich von der ETH in Zürich nach Berlin gebracht.

Er hatte ein Angebot von der Reichsanstalt damals.

Wie hieß sie damals?

Reichsanstalt, Physikalisch-Technische Reichsanstalt, PDR.

Also ganz leicht eigentlich.

Hatte also ein Angebot von der Reichsanstalt, das war nicht ganz konkurrenzfähig, aber dann haben sich die Berliner insgesamt zusammengeschlossen und haben Einstein nach Berlin gebracht.

Einstein war dann auch im Kuratorium der Reichsanstalt damals und hat experimentelle Ideen gehabt.

Zum Beispiel hat er dann umgesetzt, also ein extrem wichtiges, bahnbrechendes Experiment auch, das sogenannte Einstein-DH-Experiment, das wurde an der Reichsanstalt durchgeführt.

Ja, da ging es darum, Ampere, etwa 100 Jahre vorher, hat sich überlegt, der hat ja Strom, Stromstärke ist Ampere, da hat sich überlegt, ob es in Molekülen Ströme geben kann, wenn da zum Beispiel Elektronen irgendwie um den Kern gehen.

Und da gab es also eine Hypothese, die 100 Jahre nicht sozusagen nachgewiesen war und Einstein hat also zusammen mit den Kollegen aus der Reichsanstalt, die also das experimentelle Hintergrundwissen besser hatten, ein Experiment designed, würde man heute sagen, wo man diese Ströme tatsächlich hat nachweisen können.

So ein Kreisstrom erzeugt ein magnetisches Feld, ein magnetisches Moment und wenn ich das, oder umgekehrt, ich kann mit einem Magnetfeld sozusagen die Richtung des Stromes, mit dem äußeren Magnetfeld die Richtung des Stromes beeinflussen und wenn ich dann das Magnetfeld umpole, dann muss der Strom in die andere Richtung gehen.

Wenn ein Elektron diesen Strom trägt, muss er sich klassisch in die andere Richtung bewegen.

Das heißt, ich muss das rumdrehen, das hat eine Masse, es gibt einen Drehmoment und das kann man an so einem Stab, einem Eisenstab, der eine Magnetspule war, die umgepolte wird, kann man dann sehen, dass der tatsächlich so ein bisschen ausschlägt.

Und konnte damit die Ströme magnetischer Eigenschaften, die aber letztendlich auf den Spinnen, Elektronen-Spinnen zurückgehen, das konnte man damals noch nicht wissen, wurde erst später dann gefunden sozusagen, aber nichtsdestoweniger konnte man da zum ersten Mal diesen Effekt sehen, das war Einstein.

Dann ging man in die Tieftemperaturphysik, man hat ja die Supraleiter in den 20er Jahren, in Cumberland Owns.

So alt ist der Kram schon, Entschuldigung.

Das klingt alles so wahnsinnig modern und neu.

Also so alt ist der Kram, hat man Supraleitungen entdeckt und das hat man, das Feld hat man auch sehr früh aufgegriffen bei der Reichsanstalt damals, hat also Heliumverflüssige gebaut, kalte Temperaturen gebaut und ein ganz, ganz wesentlicher Effekt, wahrscheinlich der wesentliche Effekt in der Supraleitung ist der sogenannte Meissner-Ochsenfeld-Effekt.

Auch ein Wienerberg.

Meissner war ein PDB-Mitarbeiter, auch Reichs- und PDR-Mitarbeiter.

Da hat man dann, also der Effekt beruht darauf, dass ein Supraleiter ja alle Magnetfelder aus seinem Inneren verdrängt.

Und diesen Effekt hat man damals vorausgesagt, hat ihn nachgewiesen.

Geigerzähler, Geiger waren Mitarbeiter der Reichsanstalt, wurde in der Reichsanstalt entwickelt.

Waren das damals dann sowas wie Popstars auch die Leute?

Ja, ja, ja, die waren, das war die wissenschaftliche Elite, glaube ich, war da versammelt.

Also in dem Kuratorium über die 100 Jahre hinweg hatten wir 14 Nobelpreisträger.

Zurzeit haben wir noch drei.

Also wir halten uns ganz gut.

Naja.

Also das waren, Bode hat zum ersten Mal also Koinzidenznachweis geliefert.

Darauf beruht die ganze Teilchenphysik und auch viele andere Bereiche der Physik.

Was macht man da?

Man schießt irgendwo rein, also das machen die Kernphysiker oder die machen einen Collider.

Also man kollidiert Teile oder bei der GSI, Helmholtz-Gemeinschaft, da war ich ja übrigens mal auch früher, da schießt man irgendwas auf irgendwas.

Genau, und guckt was da rumkommt und hofft den richtigen Detektor gebaut zu haben.

Ganz genau.

Und das macht man in Koinzidenz.

Also wenn ein Teilchen reinfliegt, schaut man was in Bezug auf dieses einzelne Teilchen an anderen Teilchen rauskommt.

Das heißt man nutzt eine Zeitkorrelation zwischen denen, um zu sehen, was ist denn tatsächlich jetzt induziert worden durch dieses eine Teilchen.

Und da gab es ein wunderbares Experiment von Bode damals, da hat man den sogenannten Compton-Effekt, hat er untersucht.

Da geht es also darum, dass sich Licht, Lichtquant ist ja auch letztendlich nicht nur eine Welle, sondern man kann es auch als Teilchen beschreiben, dass Licht auf ein Atom trifft, ein Elektron an einem Elektron streut, wenn man sich Licht als Teilchen vorstellt, dann kann das sozusagen an dem Elektron gestreut, kollidiert werden und praktisch abgelenkt werden.

Es gibt einen Teil seiner Energie ab, das kriegt das Elektron und das kann man wirklich mit Energie- und Impulserhaltung gerade so ausrechnen, wurde damals

auch so ausgerechnet.

Abgabe der Energie heißt, dass die Farbe des Lichts so ein bisschen röter wird, also langwelliger wird und damals war vollkommen unklar, ob das ein Prozess ist, der irgendwie so im Mittel stattfindet, über viele Atome hinweg oder ob in jedem einzelnen Stoß sozusagen Energie- und Impulserhaltung tatsächlich gilt.

Und da hat Bode also ein wunderbares Experiment dazu gemacht damals, wo er die beiden Teilchen tatsächlich gleichzeitig nachgewiesen hat und nachgewiesen hat, dass es wirklich von einem einzeln induzierten Photon dann rauskommt. 1887 war die Gründung, dann ist viel spektakuläres Zeug erfunden worden, dann haben wir zwei Weltkriege angezettelt.

Was hat die Reichsanstalt in der Zeit gemacht?

Gibt es da auch so eine gemeine Nazi-Vergangenheit oder konnten sie sich daraus halten?

Die gibt es leider, natürlich war die Reichsanstalt technisch wichtig.

Krieg ist ja letztendlich Fortschritt.

Auch die Technik, muss man so sagen.

Leider verbunden.

Da wurde ein Herr Stark Präsident, der auch einen Nobelpreis übrigens gekriegt hat für die sogenannte Stark-Verschiebung, also war wissenschaftlich eigentlich anerkannt, der hat sozusagen deutsche Physik betrieben.

Deutsche Physik?

Ja.

Ist das, was die Verschwörungstheoretiker im Internet heute propagieren oder ist das was anderes?

Ich weiß nicht, was gerade momentan im Internet ist.

Also Einstein kann das mit der Relativitätstheorie, stimmt ja gar nicht, weil Einstein war ja Jude.

Das war genau der damalige Thema.

Also das wurde insbesondere auch in Heidelberg, wo ich vorher gearbeitet habe, auch von Lennart propagiert.

Man hat das deutsche Physik genannt und die Relativitätstheorie, die Quantenphysik, war als nicht-deutsch qualifiziert sozusagen.

Was ist daraus gefolgt?

Also das macht es ja nicht falsch.

Also ich bin jetzt kein Wissenschaftshistoriker an der Stelle und habe da jetzt nur Allgemeinwissen, sag ich mal.

Langfristig hat es natürlich überhaupt nichts daraus gefolgt, weil die Wahrheit ist die Wahrheit und darauf beruht ja die Wissenschaft, dass wir versuchen, objektive Wahrheiten zu generieren.

Das hatte langfristig überhaupt keinen Einfluss.

In Deutschland direkt hat es natürlich einen Einfluss gehabt, bis dahin, dass das Kuratorium wurde aufgelöst, zum Beispiel jetzt bei der Reichsanstalt.

Dieses hochrangige Kuratorium wurde aufgelöst.

Es wurde zentralisiert.

Stark hat mehr von oben direkt entschieden, was wie gemacht wird.

Und Einstein, wie wir alle wissen, ist ja dann ausgewandert, emigriert.

Und das wurde also massiv auch betrieben innerhalb der Reichsanstalt damals von Stark, von dessen Präsidenten.

Wir sind gerade dabei, das in einem Buch aufzuarbeiten.

Dann gab es ja irgendwann noch das Kaiser Wilhelm Institut, was ja auch eine staatliche Forschungseinrichtung war.

Ich weiß leider nicht, wann es gegründet wurde, aber das muss ja dann in direkte Konkurrenz zur Reichsanstalt getreten sein.

Nein, also wir hatten dann relativ schnell auch andere Aufgaben, mehr sozusagen zur Verfügungstellung von Standards und Präzisionsmessmethoden.

Die Kaiser Wilhelm Gesellschaft, die wurde kurz danach gegründet.

Genau weiß ich es nicht, um 1900, soll es einer nicht wissen.

Ich war in der Max-Planck-Gesellschaft und ich glaube, ich war bei der 100-Jahr-Feier.

Ja, aber es war so feucht-fröhlich, die hat man vergessen.

Aber irgendwo um die Jahrhundertwende eben.

Und ja, also man hat dann irgendwie möglicherweise auch, aber da kenne ich die historischen Hintergründe jetzt nicht genau, aber durchaus möglicherweise auch aufgrund des Erfolges der Reichsanstalt gesehen, dass man außeruniversitäre Forschung braucht.

Und das hat man dann in den Kaiser Wilhelm Instituten eben realisiert.

Das heißt, die Grundlagenforschung ist dann von der PTB weggegangen?

Teilweise.

Wir betreiben nach wie vor Grundlagenforschung dort, wo es für unsere Aufgabe wichtig ist.

Also wir haben ja jetzt nach dem Krieg wurde die Reichsanstalt sozusagen auch zerstört.

Die Mitarbeiter und viele über die ganze heutige Bundesrepublik mehr oder weniger zerstreut.

Das hat sie hier wieder aufgebaut und sind dann im Grundgesetz sozusagen verankert, also im Einheiten- und Zeitgesetz werden wir genannt.

Also die Darstellung der Einheiten ist eine hoheitliche Aufgabe in allen Staaten, weil darauf der gesamte Handel beruht, darauf die gesamte gesellschaftliche Akzeptanz von vielen Dingen beruht.

Also letztendlich, es geht bis hin zu ihrem kleinen Glutgilt, es geht hin bis zur Strahlensicherheit und so weiter und so fort in diagnostischen Bereichen, Röntgenbilder und so weiter.

Das ist eine staatliche Aufgabe, wird auch überall so definiert in allen Staaten der Welt.

Und da wurde die Physikalisch-Technische Bundesanstalt dann eben zu dem Zeitpunkt wieder gegründet.

Jetzt habe ich gerade den Faden verloren, wo wir angefangen haben.

Grundlagenforschung, ob Sie heute auch noch Grundlagenforschung machen?

Also wir haben einen sehr genauen Auftrag, aber in diesem Einheiten- und Zeitgesetz steht auch, dass wir zur Erfüllung unserer Aufgaben Forschung machen sollen, müssen, dürfen.

Und genau das machen wir.

Also überall da, also wir verstehen uns ja so, dass wir an der Spitze der Messtechnologie in Deutschland stehen.

Notwendigerweise, Sie sagen, wie es gemacht wird.

Das heißt, es kann nicht sein, dass ein Industriebetrieb sozusagen auf Nanometer genau Werkzeuge herstellt und die auch noch besser vermessen kann als wir.

Das geht nicht.

Also moralisch schon gebrochen.

Ja, es geht auch vom Prinzip her nicht, weil bei uns der Standard ist.

Stimmt, der macht das dann und sagt, hier, können wir mal überprüfen, ob ich es richtig gemacht habe.

Und wenn Sie sagen, wir messen zu grob.

Das heißt, wir müssen immer absolut an der Spitze dessen sein, was in der Industrie, auch in der Wissenschaft gemacht wird.

Und dazu machen wir Forschung.

Und dazu machen wir 60, 65 Prozent möglicherweise, unsere Ausgaben gehen tatsächlich in Forschung.

Und an manchen Bereichen machen wir auch tatsächlich Grundlagenforschung.

Zum Beispiel jetzt im Bereich der Zeit arbeiten wir an der nächsten Generation von Uhren.

Warum?

Also geht es noch genauer?

Ja, es geht immer genauer.

Das ist das, was die Leute hier anspricht und was die Leute begeistert.

Mich selber auch.

Es geht immer genauer.

Und fast immer ist es so, wenn ich die nächste Stufe an Genauigkeit erziele, ich auch die gute Chance habe, die nächste Stufe von Erkenntnis zu erzielen.

Weil ich in der Lage bin, genauer nachzugucken.

Genau, so ist es.

Also zum Beispiel eine sehr grundlegende Frage, die wir auch mit bearbeiten, ist, ob die sogenannten Naturkonstanten, ob die tatsächlich konstant sind.

Was sind Naturkonstanten?

Sie haben es mit Medienwissenschaftler zu tun, oder haben Sie schon gemerkt?

Zum Beispiel die Lichtgeschwindigkeit.

Hat man festgestellt, dass die Lichtgeschwindigkeit unab...

Ja, also Beispiel.

Sie fahren auf einem Zug und werfen vom Zug aus einen Stein aus dem Fenster nach vorne.

Dann hat dieser Stein die Geschwindigkeit...

Des Zuges und des Impulses. ...des Zuges plus den Impuls, den sie mitgeben.

Das ist bei Licht nicht so.

Licht ist die oberste Grenze.

Durch so einen Trick kann ich die Lichtgeschwindigkeit nicht erhöhen.

Das heißt, wenn ich nach vorne wegleuchte, ist sie genauso schnell oder langsam wie vorher und der Zug spielt keine Rolle.

Ja, und das führt zur speziellen Relativitätstheorie und dann im weiteren Verlauf auf zur allgemeinen Relativitätstheorie.

Könnte es sein, dass der Zug...

Licht ist eine Naturkonstante.

Könnte es sein, dass der Zug doch eine Rolle spielt und Sie es nur noch nicht gemerkt haben?

Es gibt sehr, sehr viele Experimente und auch jetzt noch Experimente.

Die Züge sind jetzt nicht mehr Züge, sondern was man macht, ist, man lässt ein Atom oder ein Ion in einem Kreisbeschleuniger umherlaufen.

Das ist relativ schnell.

Zum Beispiel auch bei der GSI macht man solche Experimente.

Relativ schnell.

Und das strahlt von vorne und hinten mit Licht und guckt, wie die Frequenz ist, bei der dieses Licht absorbiert wird.

Und damit kann man gewisse Aspekte testen, wie die Lichtgeschwindigkeit

konstant ist.

Zum Beispiel, also das wird nach wie vor gemacht.

Es gibt keine Hinweise dafür, dass die Lichtgeschwindigkeit in irgendeinem System anders ist, als in...

Also vom bewegten System sozusagen abhängt.

Das ist eine Naturkonstante.

Das Gleiche gilt für die Planck-Konstante, die Planck gebraucht hat.

Das ist die kleinste, kleinstmögliche Länge oder so ähnlich?

Wirkung.

Die kleinstmögliche Wirkung.

Wirkung war das.

Die hat er gebraucht, um diese Strahlung, diesen schwarzen Strahler zu erklären.

Die hat er damals postuliert.

Also die Leute, Geschichte, die Leute in der Reichsanstalt, die so genau gemessen haben, die waren verwundert, dann irgendwann, dass sie Abweichungen zu dem damaligen Wissen, also der damaligen Theorie, wie ein Schussgesetz, der auch bei der Reichsanstalt war, gefunden haben.

Da haben sie sich bei Max Planck gemeldet, Kurator, Theoretiker, irgendwas stimmt hier nicht.

Und Max Planck hat gesagt, dass er in einem Akt der Verzweiflung das Ding halt angepasst hat irgendwie.

Und das ist ihm nur gelungen, indem er die Energie, die mit dem Licht-Quant verbunden ist, quantisiert hat.

Und letztendlich ist es eine Quantisierung der Wirkung, was Energie mal Zeit ist.

Das habe ich jetzt gerade nicht mehr verstanden.

Das war zu schnell, ja.

Ich bin intellektuell nicht in der Lage, solche Dinge...

Ja doch, das kann man leicht verstehen.

Sie haben irgendwo eine gewisse Energie, Bewegungsenergie zum Beispiel.

Und dann machen Sie die immer kleiner, kleiner, kleiner, kleiner, teilen immer durch zwei, durch zwei, durch zwei, durch zwei und so weiter und so fort.

Wenn Sie ein kontinuierliches Medium hätten, können Sie es beliebig fortsetzen.

Das ist aber bei der Energie nicht so, dass am Ende des Tages ist die Energie gequantelt.

Also praktisch weggequantelt.

Es gibt kleinste Einheiten.

Wie groß die tatsächlich bei der Energie sind, hängt von der Wellenlänge ab, aber dann vom Planck-Wirkungs-Quantum.

Also jedes Lichtteilchen hat eine Energie und die kann ich für eine bestimmte Frequenz nicht kleiner machen.

Keine Chance.

Und das hat er sich überlegt?

Das hat er sich überlegt.

Ich glaube sogar am Anfang einfach nur hat er versucht, die Form, die da gemessen wurde, anzupassen und hat gemerkt, das funktioniert.

Function follows form.

Ich kann die Energie nicht kontinuierlich lassen, sondern wenn ich die so ein bisschen quantisiere.

Aber hat es dann natürlich in kurzer Zeit später auch aus Entropie-Überlegungen hergeleitet, woher das letztendlich kommen könnte.

Aber am Ende des Tages ist es eine physikalische Beobachtung.

Man kann sich wahrscheinlich auch eine Welt vorstellen, die nicht quantisiert wäre.

Weiß ich nicht.

Aber es ist eine physikalische Tatsache einfach, die dann so ist und die er dann aber nochmal sehr stark fundiert auf physikalischen Grundlagen aufgebaut hat.

Jetzt gucken Sie sich die Naturkonstanten an, um zu gucken, ob es wirklich Naturkonstanten sind.

Haben Sie schon eine gefunden, die keine ist?

Nein.

Das ist schon gut.

Also im Augenblick gibt es jetzt auf der Erde zumindest keine direkten Experimente, die zeigen, dass Naturkonstanten sich verändern mit der Zeit.

Was haben wir denn eigentlich noch für welche?

Die wesentlichsten Konstanten aus meiner Sicht jetzt sind die Lichtgeschwindigkeit, die Planck-Konstante und auch noch die Elektronenladung.

Irritiert mich genauso.

Wenn ich die drei zusammenfasse, dann wird daraus die sogenannte Feinstrukturkonstante, die eine dimensionslose Zahl ist.

Also die Dimension ist zum Beispiel die Sekunde.

Also jeder dieser Konstanten hat eine Dimension.

Meter pro Sekunde hat die Lichtgeschwindigkeit und die anderen haben eine Wirkung und so weiter.

Wenn ich die drei zusammenfasse, dann komme ich auf eine dimensionslose Zahl, einfach eine Zahl.

Eins durch 137 ist die Feinstrukturkonstante und die hat in der Theorie eine wichtige Bedeutung.

Und die vermisst man gerade sehr präzise, 17 Stellen hinterm Komma, ob die sich mit der Zeit auf der Erde ändert.

Das kann man extrem präzise vermessen, zum Beispiel mit Uhren.

Und da sind wir jetzt wieder bei unserem Thema.

Wir machen Uhren immer genauer, weil man das auch für die Industrie braucht, dass man sich viele Anwendungen überlegen kann, was man mit noch genaueren Uhren machen kann.

Also das sind wirklich nützlich am Ende des Tages.

Aber gleichzeitig sind unsere Uhren so genau, dass wir im Augenblick die kleinste Ungewissheit angeben können, mit der diese Feinstrukturkonstante tatsächlich zeitlich konstant ist.

Wir können zum Beispiel jetzt angeben, dass die mit weniger als wenigen 10 hoch -17, also 17 Stellen hinterm Komma pro Jahr variiert.

Also im Grunde gar nicht.

Für meine Alltagswelt bedeutet das gar nicht.

Im Grunde gar nicht, aber wenn ich jetzt einen Teilchenphysiker wiederfrage, wenn ich eine vereinheitlichte Theorie haben will, dann ist es so, dass die sich eigentlich bewegen müssen.

Also entweder zum frühen Universum hin bewegen müssen, also zeitlich oder auch im Universum jetzt räumlich nicht konstant sein werden.

Und da gibt es Hinweise, die hoch umstritten sind, dass man also Licht von fernen Galaxien sich anschaut hier auf der Erde.

Und da gibt es Hinweise, dass tatsächlich in Abhängigkeit vom Abstand diese Feinstrukturkonstante sich ändern könnte.

Diese Ergebnisse sind aber zurzeit hoch umstritten, sodass ich am Ende des Tages sagen würde, es gibt im Augenblick keinen wirklich starken Hinweis dafür, dass es so ist, obwohl man das aus theoretischen Gründen erwartet.

Wie lange sind diese Hinweise umstritten oder wie präzise muss Ihre Uhr werden, damit diese Hinweise nicht mehr umstritten sind?

Das ist modellabhängig.

Das ist eine Frage der Kosmologie, also was sozusagen kosmologisch dahinter steht.

Auch wie sich die vereinheitlichte Theorie tatsächlich aussehen sollte.

Es gibt Voraussagen, dass man ab der 19.

Stelle, 20.

Stelle hinter dem Komma hier auf der Erde was sehen kann.

Und wir gehen davon aus, dass wir in, das ist jetzt schwer zu sagen, in wenigen Jahren Uhren haben, die das tatsächlich auch können.

Wie oft, wie ist der Generationswechsel bei Ihren Uhren?

Also wie oft werden die besser?

Jährlich?

Die werden ständig besser, ja.

Also es ist ein kontinuierlicher Prozess, es ist jetzt nicht so, wir haben eine neue Uhr gebaut, die ist jetzt 30 Prozent besser.

Wir haben ja, ich muss sagen mal, offiziell ab 1960 die Atomuhr eingeführt.

Heißt die eigentlich wirklich so?

Ne, ne?

Ja, die heißt schon.

Also im Sprachgebrauch heißt die Atomuhr.

Und die ist seit Einführung bis zum heutigen Tag, hat man die nochmal um den Faktor 100 verbessert.

Das ist übrigens auch der Riesenvorteil Naturkonstanten heranzuziehen, um Einheiten zu definieren.

Also damals hat man einfach gesagt, so und so viele Schwingungen in diesem Cesiumatom, Übergänge, also das sind eigentlich kleine Pendel jetzt für die Zuhörer in so einem Atom, die extrem schnell schwingen.

Da kann man einfach sagen, genau so und so viele Schwingungen sind ein Atom, sind eine Sekunde.

Und wenn man das einmal festgelegt hat, wie ich dann, wie genau ich die Sekunde tatsächlich realisieren kann, hängt von meiner Technologie ab.

Ich brauche an die Definition nicht mehr ran.

Ja, stimmt.

Ja, ja, genau.

Ich komme langsam dahinter.

Genau, es sind 15, es sind, was weiß ich, 100 Schwingungen.

Genau, inzwischen kann man die eben nochmal 100 Mal besser vermessen, als man es damals konnte, als man die Definition gemacht hat.

Das heißt, Sie gucken eigentlich nur immer genauer sich dieses Atom an?

An der Stelle ja, und die Technologie wird besser.

Und so ist man also jetzt momentan, was die internationale Zeit ist, so definiert im Augenblick.

So kann man also die Sekunde im Augenblick in der Größenordnung von wenigen 16 Stellen hinter dem Komma, 10^{-16} realisieren, in verschiedenen Bundesinstituten, also entsprechenden Instituten weltweit.

Die PDB ist da mitführend, das NIST, die Franzosen, die Engländer, das sind die besten Uhren, die es momentan auf dieser Basis gibt weltweit, 16 Stellen hinter dem Komma.

Und das ging also stetig, so eine Art Moorisches Law sozusagen, geht also stetig, wurde das verbessert über die Jahre.

Und jetzt kommt eine Technologie dazu, sogenannte optische Uhren, sind auch Atomuhren, wenn man so will.

Man nimmt nur schnellere Pendel im Atom, also schnellere Schwingungen, und die kann man sehen, deswegen nennt man die optische Uhren.

Und ist klar, wenn ich eine Uhr habe, deren Pendel schneller schwingt, dann kann ich auch genauer messen.

Und diese Pendel schwingen 100.000 Mal schneller, und im Augenblick ist man so weit, dass man das umsetzen kann in eine 100 Mal größere Genauigkeit dieser Uhr.

Das heißt noch zwei Stellen hinter dem Komma.

Wir sind jetzt bei wenigen Stellen, noch -18, genau, von 16 auf 18 gekommen.

Und die Uhren haben das Potenzial, also noch mal zwei, drei Größenordnungen letztendlich besser zu werden.

Wäre das, also wenn Sie es schaffen nachzuweisen, dass die Feinstrukturkonstante keine Konstante ist, wäre das so etwas wie die Relativitätstheorie?

Also von der wissenschaftlichen Bedeutung her?

Nee, also das hätte eine große wissenschaftliche Bedeutung, das ist keine Frage.

Insbesondere auch, wenn man tatsächlich die Änderung, also wie stark ändert sich das jetzt?

Damit könnte man dann wieder vereinheitliche Theorien ausschließen.

Und man erwartet es, dass es an irgendeiner Grenze so ist, aber das hätte sicherlich eine große wissenschaftliche Bedeutung.

Wenn Sie jetzt so eine Atomuhr haben, und die Franzosen haben auch eine Atomuhr, die Briten haben auch eine Atomuhr, sind das Konkurrenzprodukte oder arbeiten Sie eng zusammen, um das gemeinsam weiterzuentwickeln?

Beides.

Also die Staatsinstitute, die kennen sich weltweit sehr gut, praktisch seit der Metakonvention.

Das ist auch ein Aspekt, der mir bei der Arbeit hier große Freude macht.

Da ist sowohl Kollaboration, sehr viel Kollaboration, als auch natürlich immer ein bisschen Konkurrenz.

Natürlich will jeder die beste Uhr haben.

Und da ist ein bisschen Konkurrenz zwischen dem NIST und uns und dem Französischen.

Aber wir arbeiten auch sehr eng zusammen.

Also manche Entwicklungen, die jetzt unbedingt notwendig sind, um so eine Uhr besser zu machen.

Also wir brauchen zum Beispiel hochpräzise Resonatoren.

Machen wir mit dem NIST zusammen.

Und das finde ich also eine sehr gelungene Mischung zwischen Zusammenarbeit und Konkurrenz an der Stelle und vielen anderen Stellen auch.

Was außer der Atomuhr habe ich denn eigentlich noch von Ihnen in meinem Alltag?

Was ich nicht so mitbekomme.

Ja, Zapfsäule haben Sie eben gesagt.

Ja, ständig.

Also Sie brauchen sich nur überlegen, was Sie tun, wenn Sie morgens aufstehen.

Da klingelt der Wecker.

Das haben wir schon.

Die ist weltweit synchronisiert.

Der Zug stimmt, der Flugplan stimmt.

Ihr Banktransfers, die Sie nachts gemacht haben, stimmen auf Millisekunden und so weiter.

Die Zinsen entsprechend auch und so weiter.

Das ist der erste Punkt.

Da machen Sie das Licht an.

Da geht der Stromzähler los.

Der funktioniert.

Sie kochen Kaffee.

Es funktioniert der Wasserzähler.

Oder Sie gehen duschen.

Dann versetzen Sie sich ins Auto.

Sie müssen tanken.

Das hatten wir auch schon.

Dann fahren Sie zum Arzt.

Dann lassen Sie sich ein kleines Blutbild machen.

Die PDB stellt sicher, dass das auch korrekt ist.

Wir führen 3000 klinische Labors in Deutschland zurück.

Dann hat es zu lange gedauert beim Arzt.

Sie fahren zu Arbeit zu schnell.

Sie werden geblitzt.

Stimmt auch.

Sie brauchen gar nicht argumentieren.

Ist Ihnen das schon mal passiert, dass Sie geblitzt wurden und sich gedacht haben, dann sage ich das jetzt beim Anwalt oder lasse ich es?

Ich wurde auch schon geblitzt.

Nein, ich habe es nie mit Anwalt versucht.

Es war auch nie so ganz schlimm, muss ich sagen.

Werde ich die Schlagzeile schicken?

Der BTB-Präsident zweifelt eigene Genauigkeit.

Nein, das werde ich nicht tun können.

Im Grunde kann man sagen, die moderne Welt wäre ohne solche Institutionen wie diese nicht möglich.

Es ist so, es wird immer wichtiger.

Es ist klar für Entwicklungsländer extrem wichtig, wenn man am Weltmarkt teilnehmen will.

Einfaches Beispiel, Sie wollen Ihre Agrarprodukte auf dem Weltmarkt verkaufen an die EU.

Da gibt es Grenzwerte.

Die müssen Sie einhalten.

Ich muss glauben, dass das Labor, was bei Ihnen misst, tatsächlich richtig misst.

Ich will ja nicht alles nachmessen.

Kann ich auch nicht.

Das wäre meine nächste Frage gewesen.

Wie machen Sie das überhaupt strukturell?

Das ist eine Infrastruktur, die ich vorher nicht kannte, bevor ich hier zur PDB kam und die wirklich erstaunlich ist.

Eigentlich haben wir so etwas in dieser Metrologie wie ein weltweites Währungssystem in Messtechnologie.

Was passiert?

Es ist 1999, haben sich die Staatsinstitute, die meisten und ein paar andere, zusammengeschlossen und haben gesagt, okay, wir messen jeweils national auf dem allerhöchsten Level.

Aber wir müssen natürlich auch sicher sein, dass es irgendwie stimmt.

Wie ist das international?

Das heißt, die vergleichen sich ständig.

Es finden also sogenannte Ringvergleiche statt.

Ich kriege ein Massenstück, ich messe das bei mir hier und ich sage, das ist 5,32 irgendwas Kilo.

Dieses gleiche Massenstück geht an alle anderen und so geht es mit Temperatur, mit allem.

Und die messen auch und kriegen auch eine gewisse Zahl raus und ein Unsicherheitsbudget dazu.

Ich wollte gerade sagen, weil auf dem Transport kann ja noch... Das muss man alles sicherstellen, das muss alles korrekt sein und so weiter, das kann man machen.

Und dann kriegen wir eine Möglichkeit, also sogenannte Messmöglichkeiten der einzelnen Institutionen.

Das heißt, insgesamt gibt es weltweit 24.000 von solchen Einträgen.

Die PDB selbst ist bei mehr als 1.000 beteiligt, wo wir sagen können, wo wir

sagen, und das ist international akzeptiert, wir messen die Größe mit der und der Ungenauigkeit.

Das können wir nachweisen.

Das heißt, ein Kilogramm ist sozusagen der Durchschnitt dieser 24.000 Messungen eines Körpers, der ein Kilogramm schwer sehen soll?

Nein, nein, nein, nein, nein, nein, nein, nein.

Die Frage ist, wie genau kann ich das Kilogramm messen, auf wie viele Stellen, Komma genau.

Das gebe ich ja an die Industrie weiter.

Also, es ist ein Wagenhersteller, der sagt, okay, ich kann ein Kilo mit der und der Genauigkeit messen.

Dann kommt er zu mir und sagt, stimmt das.

Und dann müssen wir diese Waage kalibrieren.

Und dann kann ich ihm zertifizieren, dass er das mit der und der Genauigkeit kann.

Und das Gleiche gilt für Längen, das gilt für Temperaturen, für Durchfluss, für Wärmehähler und für all das.

Dann kann ich ihm sagen, du kannst das.

Ich kann das nur dann, wenn ich tatsächlich so eine Vergleichsmessung international vorhalte, also für internationalen Gebrauch.

Ansonsten, wenn ich das nicht kann, kann derjenige Hersteller auch in irgendein anderes Staatsinstitut gehen und sich von dem zertifizieren lassen, dass er es tatsächlich kann.

Also wir können viele Dinge selbst messen, aber nicht alle.

Es gibt ein paar wenige, die das nicht zum Beispiel besser kann oder auch nur kann.

Zum Beispiel fällt mir jetzt wahrscheinlich ganz viel ein, weil wir tatsächlich fast alles können.

Da muss ich auch ein bisschen nachdenken.

Vielleicht kommt was.

Aber es gibt welche, definitiv gibt welche, auch in Europa, die wir sozusagen so genau nicht messen oder gar nicht messen.

Aber genau, also so.

Dann gibt es also diese 20.000 Einträge in dieser Datenbank, die weltweit in Paris sozusagen gelagert ist.

Und die Nationalen Meteorologieinstitute, wir jetzt in Deutschland, wissen die und die Größe, können wir international so und so genau messen.

Und wir geben diese Genauigkeit jetzt an die Kalibrierlaboratorien in der Industrie weiter.

Also es gibt 400 etwa, 400 Kalibrierlaboratorien, die im Grunde dann PTB zertifiziert sind.

Genau, alle Größen, die man so in der Industrie braucht, vermessen.

Und die führen sich auf uns zurück, so sagt man das.

Also die schauen, dass ihre Möglichkeiten mit unseren übereinstimmen.

Damit stimmt es automatisch auf dem Level international überein.

Die geben es weiter.

Wir machen ungefähr 5.000 pro Jahr von solchen Kalibrierern an diesen Kalibrierlabors.

Und die geben es weiter.

Es wird zigtausendmal, millionenfach bis zum Produkt, das sie dann möglicherweise kaufen, weitergegeben.

Und wir stellen damit die Einheitlichkeit des Messwesens in Deutschland sicher auf diesem industriellen Bereich.

Und gleichzeitig aber auch international.

Und gleichzeitig international.

Das heißt, und da gibt es ein Mutual Recognition Arrangement, also ein gegenseitiges Abkommen der Anerkennung.

Wenn die Deutschen sagen, das sind 5,5 Kilo, dann ist das auch...

Wenn die PTB das so sagt, an einen Hersteller über so einen Kalibrierlabor, dann glaubt das der Amerikaner, dann glaubt das der Koreaner, die glauben das.

Und das Gleiche gilt jetzt für Grenzwerte in den Lebensmitteln.

Also wenn es in Indien, in China, ein entsprechend kalibriertes Labor gibt und es zertifiziert hat, dann glauben wir das.

Weil es diese Kette gibt.

Das ist die eine Seite der Medaille jetzt in Deutschland, nämlich das gesamte kommerzielle, industrielle Messwesen.

Es gibt jetzt noch die Seite der Kontrolle.

Stimmt das tatsächlich?

Stimmt.

Also was macht die Supermarktwaaage?

Also man kann ja viel da drauf schreiben, aber tut es auch wirklich?

Aber das machen nicht Sie, sondern das machen dann auch wieder...

Das machen nicht wir, das ist bei uns Ländersachen, das sind nämlich die Eichbehörden.

Die haben die Marktaufsicht bei uns, in jedem eigenen Land.

Weil es Behörden sind, ist das, Eichung ist hoheitlich?

Ja.

Ah, ok, ok.

Langsam verstehe ich wie das funktioniert.

Die kontrollieren, dass das was da drauf steht tatsächlich stimmt und dass das nicht weggelaufen ist mit der Zeit.

Das Instrument ändert sich ja auch, deswegen gibt es dann Wiederholpflichten für die Eichung und so weiter.

Darum kümmern die sich in den Ländern.

Was wir machen ist wiederum sicherzustellen, dass die richtig messen.

Dass deren Kontrollgeräte sozusagen richtig funktionieren.

Aber das ist ja dann wieder kein Problem, weil sie brauchen pro Bundesland ja nur einmal.

Sozusagen für die jeweilige Größe, die die Eichämter eben dann halt kontrollieren müssen.

Ja und so stellen wir im gesetzlichen Messwesen, im ökonomischen, im industriellen Messwesen eben die Einheitlichkeit sicher.

Und weltweit sicher.

Es ist ein weltweites Währungssystem, was funktioniert.

Und das ist die absolute Basis von globalem Handeln.

Anders geht es überhaupt nicht.

Und deswegen macht auch jeder mit, der handeln will.

Er muss mitmachen, es gibt keine Alternative sozusagen.

Ja, mit Ellen wird das nicht funktionieren.

Nicht so richtig.

Sie sagten eben, die Franzosen können bestimmte Dinge besser messen.

Haben Sie den Anspruch, das auch zu können?

Oder sagen Sie auch, ne komm, lass das die Franzosen machen, die können das und alles ist gut.

Das ist sehr unterschiedlich.

Aber wir haben auch den Auftrag jetzt in Deutschland, sozusagen die deutsche Industrie, dann die europäische Industrie zu stützen.

Das heißt also, wenn es deutsche Hersteller gibt, die, was ja häufig der Fall ist, im Weltmarkt gut vertreten sind, Weltmarktführer.

Dann ist häufig auch noch der Wunsch da, dass man an ein deutsches Institut gehen kann und sich also rückführen lassen kann.

Die Sprachbarriere ist geringer und so weiter.

Darauf achten wir sehr.

Also wir sind im Wirtschaftsministerium angekoppelt.

Und sicherlich eines unserer Ziele ist, neben dieser internationalen Harmonisierung, das ist ein Ziel, was wir haben.

Dafür arbeiten wir auch, weil es Handelshemmnisse abbaut.

Ist es aber durchaus auch unsere lokale Industrie natürlich immer eine Nasenlänge vorne zu halten.

Gleich noch so eine nationale Mess, wie nennt man das denn, Autarkie?

Ja, nicht Autarkie.

Also wir sind verbunden mit allem.

Aber wir wollen eine Stufe besser sein.

Und da richten wir uns durchaus jetzt danach, wo unsere Industrie auch führend, also wir kriegen ja Anfragen aus der Industrie.

Wir haben enge Verknüpfungen.

Können Sie das konkretisieren?

Was passiert da?

Also da ist dann ein Automobilhersteller oder?

Ja, Automobilhersteller zum Beispiel, da gibt es Einspritzdüsen.

Und der geringe Kraftstoffverbrauch, der hängt ja auch damit zusammen, dass ich das brennbare Benzin möglichst gut verstäube.

Dazu wird das mit enormem Druck, 2000 Bar glaube ich, durch 100 Mikrometer kleine Kanäle gepresst und dann zerstäubt das und so weiter und so fort.

Da gibt es jetzt zum Beispiel ein Forschungsprojekt bei uns, wo wir schauen, wie das alles läuft, wie es da durchfließt, wie es hinten rauskommt.

Und so weiter hängt natürlich von der Innenbeschaffenheit von so 100 Mikrometer Durchmesser Kanälchen ab.

Und wir messen jetzt gerade die Innenrauigkeit dieser Kanälchen.

Also wir haben so einen Taster aufgebaut als Dienstleistung.

Da kann also jeder zu uns kommen als Dienstleistung, wo wir also die Innenrauigkeit solcher Kanäle vermessen.

Und auch zum Beispiel Ablagerungen dann vermessen können.

Wie setzt sich das zu, wie wird das abgelagert und so weiter.

Ein Beispiel.

Ein weiteres Beispiel, Abgasnormen.

Da werden ja die Partikel, die da aus dem Auspuff kommen dürfen, immer kleiner.

Und das muss überprüft werden am Markt, klarerweise.

Es muss Prüfmöglichkeiten geben.

Und die momentanen Prüfmittel, die es da gibt, kommerziell beim TÜV oder sowas, die messen das nicht mehr richtig.

Die sind zu klein.

Das heißt, hier haben wir jetzt zum Beispiel eine RUHS-Quelle aufgebaut, die standardisierten RUHS produziert.

Den wir sehr genau vermessen und wo ich dann so Messmittel aus der Industrie tatsächlich auch nachweisen kann, dass die funktionieren, zugelassen kann.

Aber inwiefern hat jetzt die deutsche Automobilindustrie davon mehr als die französische Automobilindustrie?

Die Franzosen können ja auf ihre Ergebnisse hinaus kommen.

Natürlich ist es immer so, oder häufig so, dass das Forschungsprojekte sind mit Verbänden.

Also wir müssen neutral sein innerhalb der deutschen Industrie auf jeden Fall.

Auch sonst.

Also wir sind ja eine staatlich geförderte Einrichtung.

Wir dürfen keine Wettbewerbsvorteile direkter generieren.

Also insofern ist da immer so ein gewisser Handlungsspielraum, den wir einhalten müssen.

Ja, im Prinzip kann die französische Industrie genauso zu uns kommen.

Und diese Forschungsprojekte sind dann, je nachdem wie sie ausgestaltet sind, die werden irgendwann veröffentlicht.

Manchmal gibt es auch andere Verträge und so weiter.

Also der Verband, der das mit uns hat, der hat schon das direkte Wissen.

Das ist im Grunde schneller.

Er ist schneller.

Und das ist das, was wir generieren wollen.

Zum Beispiel, anderes Beispiel, hochaktuell, sind Solarzellen.

Man weiß, die werden alle in China gefertigt.

Aber die Anlagenbauer und die Kalibrierlabors, die sind in Deutschland.

Also die Qualitätskontrolle, dass die Module das tun, was sie sollen, das machen häufig weltweit führend, weltmarktführend Kalibrierlabors aus Deutschland.

Das heißt, wir bauen auf die beste Kalibriereinrichtung für Solarzellen.

Weltweit die beste.

Das heißt, die kommen zu uns.

Die Industrie steht in China.

Die Fertigung.

Die Fertigung.

Nicht der Anlagenbau.

Und der Anlagenbauer, der muss ja letztendlich garantieren, was da an Strom rauskommt, dass die Module so und so lange funktionieren, dass sie funktionieren.

Das ist dann wieder mit Qualitätssicherung, mit Kalibrierung.

Und da sind wir noch sehr gut im Spiel.

Das sind so mittelständische Unternehmen, die Marktlücken führen.

Wärmezähler, das ist ein anderes Beispiel.

Also wir kalibrieren 80 Prozent aller Wärmezähler in der EU sogar.

40 Prozent in der EU und ich glaube 80 Prozent bei uns in Deutschland.

Das sind mittelständische Unternehmen, die Weltmarktführer sind in Wärmezählerverkauf.

Sie sagten eben auch selbst schon mal, Sie seien eins der führenden Institute.

Wie wird man das?

Wie wird man das?

Das ist Beharrlichkeit.

Oder weil wir die Ersten waren?

Ja gut, also ne.

Man kann auch, wenn man als Erster gegründet wurde, irgendwann mal so eine Kurve, also ein Zenit überschreiten und dann wird es wieder schlechter.

Also es ist ein dauernder Anspruch an uns selbst sozusagen, wissenschaftlich an

der Spitze zu bleiben, forschungsmäßig in den verschiedenen Gebieten an der Spitze zu bleiben.

Also ich würde mal sagen, das ist erst mal ein Anspruch an sich selbst.

Also wir wollen exzellent sein und wir wollen, und das ist letztendlich unsere Daseinsberechtigung, der deutschen Gesellschaft, Industrie, Wissenschaft, das Bestmögliche bieten, was im Bereich Messtechnik zu bieten ist.

Extrem wichtig für eine exportorientierte Industrienation, die natürlich sich auch gerade definiert dadurch, dass wir Spitzenprodukte, dass wir nicht die Massenprodukte herstellen, dass wir Spitzenprodukte herstellen, dass wir innovative Produkte herstellen.

Und dazu gehören wir dazu, zu diesem ganzen Wertschöpfungssystem.

Ich würde sagen, in vielen Stellen gehören wir essentiell in dieses Wertschöpfungssystem dazu.

Und daher kommt unser Anspruch und wir wollen diese Rolle erfüllen, exzellent erfüllen und das ist ein Anspruch an uns selbst.

Und die Leute sind begeistert, weil sie natürlich dann auch gute Sachen abliefern.

Die Kunden sind begeistert, die Leute sind begeistert.

Kann es passieren, dass Ihnen, weiß ich nicht, die Chinesen oder die Inder den Rang ablaufen?

Kann es passieren?

Wollen die einfach mehr Geld in die Hand nehmen und auf ihre Institute schmeißen?

Kann passieren.

Geld ist nicht alles.

Das wissen wir an vielen Stellen.

Aber Geld ist notwendig, das ist auch klar.

Das ist ein Punkt, wo ich jetzt persönlich auch im Augenblick keine Sorge habe.

Also wir sind gut ausgerüstet, aber insbesondere auch deswegen, weil wir, das ist ein nächster großer Vorteil, wir haben jetzt seit über zehn Jahren große europäische Programme aufgesetzt, inzwischen mit allen Meteorologie-Instituten in Europa, wo wir unsere Forschung sozusagen koordinieren in verschiedenen Bereichen.

Und da geben wir Geld mit rein, aber die EU zahlt 50 Prozent dazu.

Und das sind erhebliche Mittel, sind also über zehn Jahre etwa eine Milliarde, ist da in dem Topf und die PDB greift etwa ein Drittel, entsprechend ihrer Größe und Wirtschaftskraft, ein Drittel von dieser Milliarde über zehn Jahre ab.

Insofern sind wir momentan finanziell, das hilft enorm, an Drittmitteln, das sind Drittmittel sozusagen, wenn man das jetzt in der Helmholtz-Gemeinschaft sagen würde, das hilft enorm, uns sozusagen finanziell, aber auch von der Infrastruktur her, durch diese Vernetzung wissenschaftlich an der Spitze zu halten.

Insgesamt gibt es bedenkliche Entwicklungen, weil wir als Bundesoberbehörde diesem Jahr Stellenabbau im öffentlichen Bereich auch unterworfen waren.

Wir haben in den letzten 25 Jahren 400 permanente Stellen abgegeben an der PDB.

Also jetzt haben wir noch 1200 noch was und wir hatten mal 400 mehr.

Ich bewerte das jetzt nicht, aber doch, ich bewerte das jetzt, das ist doch vollkommen wahnsinnig zu sagen, wir haben eine Behörde, die integraler

Bestandteil der Zukunftsfähigkeit unseres Landes ist und der streichen wir jetzt 400 Stellen weg.

Wahrscheinlich muss ich das dann mit dem Wirtschaftsministerium oder der Bundesregierung irgendwie klären.

Das muss man dort klären, das muss man auch ein bisschen relativieren, denn mit der Einheit in Deutschland kam auch das DDR-Institut bei uns dazu.

Okay, das heißt wir hatten zu viel, wir haben zu viel Beamte.

Wir haben dort ungefähr 400 dazugewonnen.

Man kann sagen, dass es dann, sagen wir mal, diese 400, die wir abgebaut haben, im Wesentlichen dann wieder auf den gleichen Stand, allerdings jetzt für Gesamtdeutschland natürlich gekommen ist.

Ja gut, aber dass wir jetzt ein größeres Land sind, mit mehr Einwohnern, mehr Industrie, das ist ja wiederum ein Problem der Labors und nicht das Problem der PGB.

Ja, auch unseres, also wir kommen da an unsere Grenzen.

Und es ist ganz klar, ich sage das auch an allen Gelegenheiten ganz deutlich, um unsere Aufgabe in Zukunft auf dem Niveau erfüllen zu können, wie wir es jetzt machen, brauchen wir mehr Personal an der Stelle.

Also mehr Geld.

Mehr Geld, auch mehr Personal, beides müsste aufgestockt werden, weil, wie Sie sagen, auch andere Länder extrem dort investieren, also insbesondere die Chinesen zum Beispiel werfen viel Geld da rein.

Wir haben super Beziehungen zu den Chinesen, wir haben die Meteorologie dort mit aufgebaut.

Also wir haben auch eine große Zusammenarbeit, eine sehr gut funktionierende Zusammenarbeit mit dem Entwicklungsministerium, technische Zusammenarbeit und Entwicklung, wo wir die Infrastruktur in anderen Ländern aufbauen.

Wir haben Kollaborationen mit 80 Ländern, TZ, technische Zusammenarbeit, Kollaborationen mit 80 Ländern, China war eins davon, vor 30 Jahren sind wir da eingestiegen, haben die mit aufgebaut.

Es gibt also hervorragende Beziehungen dahin.

Das ist die Harmonisierung, Internationalisierung.

Aber in gewissen Bereichen fangen die an, auf Augenhöhe zu arbeiten und möglicherweise uns zu überholen.

Das ist auch übrigens ihr Anspruch, das sagen die auch.

In den nächsten so und so vielen Jahren wollen wir Weltspitze sein.

Ist ja auch unser Anspruch, das nicht passieren zu lassen.

Genau, und die werfen jetzt gerade 500 Millionen mal da rein für neue Gebäude, neue Personen und so weiter.

In Korea passiert sehr viel, die haben auch mit aufgebaut, in vielen Bereichen auf Augenhöhe, manche Bereiche besser.

Also da passiert sehr viel.

Am NIST in den USA passiert sehr viel.

Sie kennen diese Obama-Initiative, die Industrie wieder besser aufzubauen.

Wir waren ja mal in Deutschland sozusagen Old Germany, Old Economy, weil wir zu wenig Dienstleistungsbasiert waren und zu wenig Finanzbananen.

Zu wenig Digitales, blablabla, stellt sich raus, eine Maschine hält länger.

Genau, also Großbritannien und USA haben also ihren produktiven Anteil am Sozialprodukt erheblich runtergefahren, in Deutschland weniger, oder fast nicht, weil wir all diese mittelständischen, technischen Unternehmen haben.

Und das zeigt am Ende des Tages, dass es sehr robust ist.

Also mein Verständnis, ich bin kein Ökonom, mein Verständnis ist, am Ende des Tages muss ich auch was produzieren.

Von Handeln alleine schaffe ich keine Werte.

Ja, das haben wir immer gesagt, wir können uns ja nicht ständig gegenseitig die Haare schneiden und Webseiten bauen.

Genau, ich meine, einer kann reich werden, möglicherweise, vielleicht auch zwei, aber insgesamt schaffen wir keine Werte.

Oder nur in geringem Maße.

Denke ich auch.

Also ich müsste mal mit einem Ökonom reden, ob das wirklich so ist.

Also das haben übrigens dann die anderen auch erkannt irgendwie, dass wir gut durch die Wirtschaftskrise durchgekommen sind, dass wir eigentlich sehr gut dastehen.

Und das hat in den USA dazu geführt, dass man reindustrialisiert.

Und das hat unser Schwesterinstitut dort in eine sehr gute Position gebracht, weil die genau auch in der Schnittstelle zwischen Industrie, Forschung, Meteorologie, angewandte Forschung stehen.

Und die haben enorm zugelegt im Budget und auch in ihrem Aufgabenspektrum.

Wenn Sie sagen, Sie haben die Meteorologie in China aufgebaut.

Mit aufgebaut.

Ja klar, mit aufgebaut.

Aber wie stelle ich mir das praktisch vor?

Sie haben ein Messinstrument hingestellt und gesagt, damit, das ist das.

Ja, es gab technische Zusammenarbeitsprojekte.

Wir haben denen geholfen.

Es waren also insgesamt, glaube ich, 200 chinesische Mitarbeiter hier.

Manche haben ihre Doktorarbeit gemacht.

Also häufig wird man noch auf Deutsch angesprochen, wenn man da hinkommt.

Die haben also bei uns gelernt, wie macht man das.

Dann haben sie das mit nach Hause genommen, zum Teil auch Apparaturen finanziert, dort aufgebaut, auch mit deutscher Hilfe.

Apparaturen, die bei uns nicht mehr benötigt wurden, zweite Generation waren, aber für die noch super gut waren, wurden ausgelagert.

Und so haben wir denen da mitgeholfen, voranzukommen.

Was ich die ganze Zeit schon fragen will, Sie haben eben gesagt, was eine Sekunde ist, und so und so viel Schwingung dieses Atoms.

Was ist eigentlich ein Kilo?

Gibt es da eine ähnliche Definition?

Oder ist ein Kilo halt ein Kilo?

Jetzt kommen wir auf die SI-Einheiten im Prinzip.

Also man kann Einheiten unterschiedlichst definieren.

Also die einfachste Art ist, dass ich irgendeinen Prototypen irgendwo hinstelle.

Genau.

Dass ich sage, ich habe einen Metallstab, das ist ein Meter.

So hat es ja auch angefangen.

So hat es angefangen.

Also ich habe hier so einen Klotz, das ist das Kilogramm.

Hat es da auch so angefangen?

Hat es auch so angefangen, ja.

Kommt ursprünglich aus der französischen Revolution.

Da wollte man, also das Ziel war, die Einheiten nicht auf Körpermaße, Fuß, Elle, sonst was zurückzuführen, sondern auf Eigenschaften der Erde.

Also die Sekunde ist ja letztendlich auch durch die Erdrotation definiert gewesen.

Das Meter wurde definiert durch die Erdquadranten.

Ach.

Genau.

Das hat man ausgemessen zwischen Barcelona und Dünkirchen.

Also man weiß, es sind 40 Tausendstel des Erdumfangs.

Ich dachte, es wäre einfach nur jemand hingegangen und gesagt, das ist jetzt ein Meter.

Nein, nein, nein.

Das war der Anspruch.

Und das Kilogramm ist eben halt ein Kubikdezimeter Wasser bei einer bestimmten Temperatur.

Also aus dem Metermaß letztendlich.

Leite ich dann das Gewichtsmaß ab.

Das Gewichtsmaß ab, was man dann mit Wasser schlecht realisieren kann.

Und deswegen hat man dann letztendlich ein Platin-Iridium-Metalstück in etwa diesem Gewicht eben halt genommen, ein Kilogramm, und hat entsprechend eines Kubikdezimeter, also eines Liter Wassers bei bestimmter Temperatur als Kilogramm definiert.

Das liegt in Paris, steht in Paris im Safe, im Tresor.

Und ist auch gegen jegliche Strahlung abgeschirmt, die da Elektronen rausbauen könnte oder sowas?

Ja, ja.

Womit sich denn das Gewicht ändert?

Ja, also damals war das ja sozusagen, die Genauigkeit war nicht so hoch.

Und natürlich hat man auch kein Vakuum 1878 oder wann war das?

1879 waren es eingestellt.

Stimmt, da setzt sich ja dann auch Staub drauf ab und zu.

Genau.

Aber man hat es in, es sind drei Glasklocken drin.

Es wird also in einem Safe, im Tresor und so gehütet.

Es ist auch relativ kühl da.

Und wurde bisher in seinem Leben nur dreimal sozusagen da rausgeholt und verglichen.

Also damals wurden auch noch offizielle Kopien in Paris, in Sèvres, da gibt es das internationale Büro der Metakonvention, wurde dort eingelagert mit seinen offiziellen Kopien.

Und diese Kopien, die geben das Kilogramm sozusagen weiter an die verschiedenen Länder.

Und genau, jetzt stellt man fest, hat man festgestellt über die Jahrhunderte, dass dieses Urkilogrammstück, was wie gesagt jetzt erst zum dritten Mal, glaube ich, verglichen wurde mit seinen eigenen Kopien, mit unseren Kopien, die es in den nationalen Instituten gibt, wird relativ zu denen etwas leichter.

Das hängt eben, also keiner weiß genau warum, aber es hängt eben damit zusammen, dass sich die Oberflächen irgendwie in einer unkontrollierten Art und Weise weiterentwickeln.

Und das ist bei dem Herstellungsprozess, den es damals gab, Platin-Iridium praktisch nicht mehr zu kontrollieren.

Das heißt, das war aber erstaunlich gut, sagen wir mal über diese 100 Jahre hat sich das nur in der Größenordnung im Mittel 30 Mikrogramm wegbewegt, also das sind 3 mal 10 noch mindestens 8.

Da kann die Marktfrau gut mit leben, ja.

Da kann die Industrie auch immer noch gut mit leben, wobei wir jetzt in Bereiche kommen, also erst jetzt kommen wir in Bereiche, dass wir Fundamentalkonstanten so genau messen können, manche, die wir dazu nötig brauchen, um das Kilogramm anders zu definieren.

Auf der Basis von Festlegung von Fundamentalkonstanten, wie zum Beispiel, was ich vorhin gesagt habe, diese Frequenz, dieses Pendel im Atom, sage ich so und so viel, Milliarden Schwingungen, 9 Milliarden irgendwas Schwingungen sind eine Sekunde.

Wenn ich zusätzlich die Lichtgeschwindigkeit noch zahlenmäßig festlege, dann kann ich eine Länge festlegen über die Geschwindigkeit, dann ist ein Meter einfach diejenige Länge, die ich mit Lichtgeschwindigkeit in so und so viel Zeit zurückgelegt habe.

Und genau so kann ich auch das Kilogramm definieren, nicht so einfach jetzt, jetzt wird es schwierig.

Wenn ich zusätzlich die Planckkonstante festlege, dann kann ich das Kilogramm auch auf genau die Art und Weise definieren.

Daran arbeiten wir international, ja, viele Institute zusammen in der Meteorologie, denn wir müssen jetzt dafür die Planckkonstante mindestens so genau messen, mit verschiedenen Methoden, wie das Kilogramm früher über Jahrhunderte genau geblieben ist, nämlich mit wenigen 10 hoch -8 Genauigkeiten.

Und das können Sie noch nicht?

Also, 8 Stellen hinterm Komma, das können wir jetzt gerade, etwa ein, zwei

Jahren, durch verschiedene Methoden international, die auch jetzt die ähnliche Werte zeigen, wie das so ist, bei Präzisionsmessungen.

Ich mache eine Methode, andere Methode, die unsicher, die unsicher, aber die Werte passen nicht zusammen.

Da muss man wieder messen, muss Fehler suchen und so weiter.

Und das hat man jetzt über viele, viele, viele Jahre gemacht.

Und wir sind jetzt soweit, im Augenblick ist es so, dass die besten Messungen mit verschiedenen Methoden für die Blankkonstante, aber wenn es einmal festgelegt ist, dann für die Realisierung des Kilogramms, auf einem Niveau von wenigen Bruchteilen in 10^{-8} übereinstimmen, sodass wir jetzt davon ausgehen, dann brauchen wir noch die Boltzmann-Konstante für die Temperatur und so weiter und so fort, weil die Temperatur ist momentan...

Ach so, natürlich, es muss ja eine bestimmte Schwingung, eine bestimmte Strecke bei bestimmter Temperatur, ja.

Brauchen Sie noch Druck und so?

Nein, so ist es an der Stelle nicht.

Wir müssen all das messen, um das richtig zu machen, das ist korrekt.

Aber es gibt ja noch neben der Zeit, der Länge, der Masse, gibt es ja noch vier andere Basiseinheiten.

Das Ampere, die Temperatur, also Ampere für die Stromstärke, die Temperatur.

Das ist das Kelvin oder umgerechnet die Celsius-Skala.

Dann haben wir noch das Mol für die Kennie, das ist eine Stoffmengeneinheit.

Und die Candela, das ist für die Lichtstärke.

Die beiden sind eigentlich aus physikalischen Gründen überflüssig.

Mol und Candela?

Ja, genau.

Die braucht man nicht wirklich, weil ich die herleiten kann aus anderen Größen letztendlich.

Aber das Einheitensystem ist auch etwas historisch gewachsenes.

Was wir jetzt machen, ist, dass wir sieben Naturkonstanten definieren, festlegen und daraus dann die Einheiten generieren.

Das ist die Idee.

So wie es Ihnen jetzt für die Zeit... Da müssen aber die Konstanten konstant sein.

Ja, genau.

Das wissen wir auf dem Level von 10^{-17} .

Wir reden gerade von 10^{-8} .

Achso, ok, verstehe.

Das ist der Trick.

Das heißt, wenn Sie dann aber irgendwann mal in der Lage wären, das Kilogramm 10^{-20} zu definieren... Ja, ja, dann kann es schiefgehen.

Aber absehbar braucht das niemand.

Welche Konstanten nehmen Sie da jetzt?

Da ist einmal diese atomare Schwingung im Cäsiumatom.

Das ist eine der Konstanten, die wir schon seit 1960 haben.

Dann seit 1983 haben wir die Lichtgeschwindigkeit festgelegt und dann das Meter so definiert.

Die Lichtgeschwindigkeit ist so jung?

Die ist so festgelegt, zahlenmäßig festgelegt.

Die kann sich nicht mehr ändern.

Achso, ok.

Aber die Idee, dass es eine Lichtgeschwindigkeit gibt, die gab es schon vorher.

Wenn ich das Meter und die Sekunde irgendwie definiert habe, dann kann ich messen, wie schnell ist Licht.

Ja, stimmt, ja, sicher.

Das ist im Grunde der Umkehrschluss, wenn man so will.

Jetzt habe ich gesagt, ok, ich kenne das, das ist ganz genau.

Und jetzt kann ich sagen, ok, wie gut kann ich jetzt einen Meter realisieren?

Das ist übrigens ein Gedanke, den Max Planck 1900 hatte.

Das sind die sogenannten Planck-Einheiten, mit denen die Hochenergiephysiker gerne arbeiten.

Der hat damals, habe ich das schon gesagt?

Weiß ich jetzt gar nicht.

Ich weiß es auch nicht.

Redundanz schadet nicht.

Der hat 1900, als er seine Planck-Konstante da gefunden hat, den Vorschlag gemacht, genau den Vorschlag gemacht, Einheiten so zu definieren, dass man Naturkonstanten festlegt.

Und dann hat er gesagt, diese Einheiten sind dann für alle Kulturen, irdische und außerirdische, für alle Zeiten werden die konstant sein.

Das klingt jetzt sehr romantisch.

Ja, und sehr visionär.

Also in dem uns bekannten Universum, wo die Naturkonstanten konstant sind, werden alle Kulturen, alle, die wissenschaftlich irgendwie tätig sein, werden die gleichen Naturkonstanten messen.

Wir könnten uns mit denen...

Früher oder... bestimmt, ja, früher oder später müssen die merken, dass Licht eine feste Geschwindigkeit hat.

Ja, ja, ja, und mit denen könnten wir uns sofort einigen, könnten Handel treiben.

Also ist jetzt nicht gerade morgen der Fall wahrscheinlich, aber vom Prinzip her.

Also man sieht die Abstraktion in der Sache.

Es ist ja nicht nur Handeltreiben, das wäre ja Initialkommunikation.

Man könnte, man würde denen einfach unsere sieben Naturkonstanten schicken, sagen, hier, das haben wir.

Ja, daraus kann man alle Einheiten, alles, was man im tagtäglichen Leben braucht, kann man daraus generieren.

Genau, also insofern arbeiten wir uns da zu einer, aus meiner Sicht, höchsten Abstraktionsstufe vor, wie man Einheiten, die es seit den Babylonien und wahrscheinlich sogar noch früher irgendwo gab, werden wir jetzt auf allerhöchstem Niveau, Abstraktionsniveau, hoffentlich 2018, wenn die Messwerte dann stimmen, wenn sich da nichts Schlimmes mehr ergibt.

Das entscheidende Datum ist, irgendwann muss man sagen, jetzt zählt es, ist 1.

Juli 2017.

Alle Messwerte, die bis dahin da sind, wenn die gut übereinstimmen miteinander, dann hat das internationale Komitee der Metakonvention beschlossen, dass es der Generalkonferenz der Metakonvention in 2018 vorschlägt, die Einheiten dann so zu definieren.

Und das werden die dann auch tun, weil es vernünftige Menschen sind oder gibt es da auch dann so, ich sag mal, politische Kleinkrämereien, die sagen, nein, wir wollen, dass das unser Würfelchen bleibt?

Also aus unserer Sicht nicht, aus meiner persönlichen Sicht nicht.

Das sind ja dann Regierungsvertreter, die in der Generalkonferenz sitzen, eben fast 100 Staaten insgesamt.

Und die werden natürlich beraten.

Also ich sitze da auch dabei, sitze aber noch zusätzlichen Vertreter vom Wirtschaftsministerium drin und die fragen natürlich mich, ist das sinnvoll, ist es nicht sinnvoll?

Das Gleiche sagen die Kollegen in den USA, das Gleiche sagen die Kollegen hoffentlich in allen anderen Ländern.

Also eigentlich jetzt mal so unter uns Beet-Schwestern ein ziemlich cooler Job, der Typ zu sein, der sagt, was ein Meter ist, oder?

Ja, wir am Ende des Tages beeinflussen wir damit verdammt viel.

Es ändert sich allerdings nichts.

Sie werden nichts merken, die Marktfrau wird nichts merken, niemand wird was merken bei dieser Meter-Funktion.

Außer wenn so jemand wie ich fragt, was ist eigentlich ein Kilo?

Dann werden sie nicht mehr sagen, das ist ein Platinklotz in einem Safe, sondern das ist...

So ist es.

Wie würde die Definition dann heißen?

Es gibt jetzt, das sind dann Messmethoden, das sind Experimente, die ich aus diesen Naturkonstanten einen Kilogramm oder eine Masse definieren kann.

Aber was steht im Schulbuch?

Im Schulbuch muss ja stehen, ein Kilogramm ist...

Ja, schwierige Sache.

Also rein formal kann ich sagen, dass ich das Kilogramm dadurch festlege, dass ich diese Frequenz in dem Cesium-Atom festgelegt habe, die Lichtgeschwindigkeit und die Blankkonstante.

Damit ist das Kilogramm festgelegt.

Schluss.

Also das ist ein sehr formaler Begriff.

Das geht nicht für die Schule.

Genau.

Für die Schule kann ich zwei Erklärungen anbieten, die jetzt nicht so ganz einfach sind wie beim Meter, wie bei der Sekunde.

Aber man kann sich das vielleicht...

Ich versuche mal mitzukommen.

Versuchen wir mal.

Also was wir hier bei der PDB betreiben, ist das Folgende.

Wir haben eine Kristallkugel aus Siliziumatomen.

Und wir vermessen die extrem genau, sodass wir mit einer Genauigkeit von wenigen 10^{-8} sagen können, wie viele Atome in dieser Kugel sind.

Ein Kilogramm ist die Menge...

Also ein Kilogramm sind x Atome.

Genau.

Also das ist die Möglichkeit.

Also $n-1$ Siliziumatome sind ein Kilogramm dann sozusagen oder x Siliziumatome sind ein Kilogramm.

Genau. x Siliziumatome sind ein Kilogramm.

Wie viele sind das?

Das ist eine Forschung.

Millionen?

Milliarden?

Na ja, eine Avogadro-Zahl, also ein Mohl.

Jetzt sind wir bei den Chemikern.

Das ist bei den atomaren...

Also 28 Gramm Silizium mit der atomaren Masse 28.

28 Gramm sind 6 mal 10^{23} Atome.

Also 28 Gramm sind fast 10^{24} Atome.

Das sind, wie nennt man die Zahl, die da hinten bei rauskommt?

24 Null?

Gigantisch.

Also in den Vorlesungen macht man das manchmal, wenn ich einen Mohl von irgendeiner Materie in den Ozeanen des Meeres, sagen wir mal, gleichmäßig verteile.

Jetzt habe ich es vergessen, aber ich glaube, es waren jeden Liter, finde ich, noch ein Atom.

Das ist einfach eine gigantische Zahl.

Und die können Sie zählen, diese Atome?

Ja, ja, da macht man einen Trick.

Da macht man einen Trick, natürlich.

Und zwar, das kann man sich jetzt zum Beispiel an...

Wie Sie das auch machen, wenn Sie die Flaschen in einer Kiste zählen, dann zählen Sie die eine Richtung, die andere Richtung multiplizieren.

Wenn ich alles schön regelmäßig eingerichtet habe, dann brauche ich eigentlich nur den Abstand zwischen zwei zu wissen.

Und wenn ich das Volumen weiß, wie groß die Kiste ist, dann weiß ich, wie viele drin sind.

Das ist der Trick.

Und der Abstand ist immer gleich?

Mit der Genauigkeit, wie wir es brauchen, ja.

Das ist der Kristallabstand.

Also im Kristall haben die Atome einen festen Abstand zueinander, denn vermessen wir sie genau mit wenigen 10^{-9} Genauigkeit.

Acht brauchen wir noch?

Übrigens, das macht unser Schwesterinstitut in Italien.

Das ist dafür zuständig.

Wir bauen gerade noch mal eine Parallelapparatur auf, damit das zweimal unabhängig gemessen wurde.

Aber das macht das Schwesterinstitut in Italien.

Messen mit 10^{-9} Genauigkeit, wissen wir dann den Abstand zwischen zwei Atomen.

Wenn wir das Volumen jetzt dieser Kugel noch genau vermessen, dann können wir daraus und wissen, wie die Atome da drin angeordnet sind.

Das weiß man, die Gitterstruktur kennt man.

Dann können wir die Zahl der Atome ausrechnen im jetzigen Maßsystem und können daraus dann auch die Planck-Konstante letztendlich extrahieren.

Und das dann wiederum über die Lichtgeschwindigkeit und die Zeit verifizieren?

Ne, also jetzt im neuen System zähle ich ja jetzt erst die Atome.

Dann weiß ich, wie viele Atome da drin sind.

Ich habe noch keine Massenskala.

Ich weiß noch nicht, wie schwer das Ding ist, also das Atom ist.

Ach so.

Ja, aber da müssen Sie doch einfach nur diese Kristallkugel aus, ne, Sie müssen ein Atom wiegen.

Ich müsste ein Atom wiegen, ja.

Kann man das?

Kann man.

Sehr präzise sogar. 10^{-9} .

Okay, 8 brauchen wir.

Oder Ionen wiegt man eigentlich, also in Fallen.

Ein früherer Kollege von mir macht das, Weltspitze in Heidelberg am Max-Planck-Institut, ein bisschen Werbung.

Also das kann man sehr präzise machen.

Allerdings nicht angekoppelt an das Kilogramm, weil diesen Sprung kriege ich nicht hin.

Ach ja, es definiert hier erst mal ein Kilogramm.

Ne, ne, ne, ne, ne, ne, ne, ne, ne.

Im Augenblick ist das Kilogramm definiert durch dieses Massestück, was da in Paris rumliegt.

Und jetzt von diesem Kilogramm, wo es ja in der Größenordnung 10^{25} hoch 25 Atome drin gibt, auf ein Atom zu kommen, das funktioniert nicht im Augenblick.

Ich müsste das immer weiter teilen und so weiter und so fort.

Diese Kette funktioniert nicht.

Nicht für das jetzige Kilogramm.

Für das jetzige Kilogramm funktioniert das nicht.

Aber für unser neues Kilogramm?

Genau, deswegen hat man im jetzigen System ein atomares Massensystem definiert, wo man dem Kohlenstoff 12 Isotope die Masse 12 gibt.

Und relativ zu diesen 12 kann man die anderen Massen mit einer Präzision von 10^{-9} messen.

Also man hat da so ein bisschen zwei getrennte Systeme.

Wenn, wir kommen jetzt wieder zur Kugel zurück.

Ich habe jetzt also die Atome gezählt, aber ich kenne deren Masse nicht.

Das heißt, ich brauche eine Massenskala.

Und das funktioniert letztendlich über die Theorie.

In der Theorie des Wasserstoffatoms, also ein Kern und ein Elektron drumherum, was irgendwelche Bahnen beschreibt.

Wenn ich das selbst im Borschen-Atom-Modell so ausrechne, was man vielleicht aus der Schule manche noch kennen, dann hängt die Bahngeschwindigkeit unter anderem auch nur mit der Masse zusammen.

Und wenn ich das in der Quantenmechanik, das ist eine relativ einfache Rechnung, mache, dann ergibt sich die Elektronenmasse genau aus der Kombination dieser Größen, also dieser Fundamentalkonstanten.

Also diese Fundamentalkonstanten, nämlich für die Zeit, das Pendel, Pendelschwingung, die Lichtgeschwindigkeit und die Planck-Konstante, die definieren mir in diesem Modell die Elektronenmasse.

Und jetzt muss ich nur noch den Schritt schaffen, Elektronenmasse zu Siliziumatomen.

Und das kann man machen, das kann man relativ vermessen.

Sind das die gleichen Elektronen?

Also haben die Elektronen die gleiche Masse im Silizium wie im Wasserstoff?

Prinzipiell ja.

Also das ist das eine Elektron.

Also prinzipiell ja, wobei, genau, also es ist eine Ruhemasse vom Elektron.

Die Ruhemasse vom Elektron ist die gleiche.

Das heißt, ich muss ja nur noch Elektronen zählen, beziehungsweise... Nee, also die Elektronenmasse ist ja viel, viel kleiner als die Kernmasse.

Also die Elektronenmasse, man kann sich das so vorstellen wie ein Planetensystem, in der Mitte hockt die Sonne, relativ ruhig, sehr schwer, und darum fliegen die Planeten, die Elektronen.

Und die Elektronenmasse ist jetzt ein Wasserstoffatom, das einfachste Atom, was wir haben, ist ja, der Kern sitzt nur im Proton, und das ist 2000 Mal schwerer als das Elektron.

Das heißt, die Elektronenmasse spielt in der Masse vom Atom eigentlich fast keine Rolle.

Wenig Rolle, also wir brauchen das nicht, auf der Genauigkeit brauchen wir das nicht.

Was wir sehr gut messen können aber, ist relative Masse zwischen Elektron und einem Atom.

Das kann man sehr gut messen.

Das heißt, wenn ich die Massenskala festgelegt habe, durch diese Naturkonstanten für das Elektron, kann ich mich überall hingelangen.

Zum Beispiel zu unserem Siliziumatom, und damit habe ich eine Massenskala festgelegt.

Also die Naturkonstanten etablieren eine Massenskala.

Wie lange hat es gebraucht, um da hinzukommen?

Zu sagen, wir nehmen jetzt nicht mehr den Klotz aus dem Safe, sondern wir abstrahieren das so weit, dass das Kilogramm sich im Grunde selbst definiert.

Das ist schwer zu sagen.

Also ich glaube, alleine bei der PDB arbeiten wir an diesem Programm 30 Jahre.

Und es war von Anfang an die Idee, eine Siliziumkristallkugel zu vermessen?

Es war die Idee, die Sache so neu zu gestalten, sage ich mal.

Aber es gab extrem viele Schwierigkeiten dabei zu überwinden.

Zum Beispiel tatsächlich die wirkliche, also jetzt in dem jetzigen System, die wirkliche Masse eines Atoms da drin zu vermessen.

Wir haben ja verschiedene Isotope.

Also das sind chemisch gleiche Elemente, also alles Silizium, aber die haben unterschiedliche Massen.

Und damit wir das alles richtig machen können, müssen wir eine Atomsorte anreichern, nennt man das, wie man das bei Atombomben auch tut.

Und viele andere Schwierigkeiten zu überwinden.

Die Oberflächen muss man extrem genau bearbeiten.

Man muss das Volumen extrem genau vermessen können.

Alles an der Grenze des Messbares.

Und das hat insgesamt, man kann glaube ich sagen, 30 Jahre gedauert.

Wobei so in den letzten fünf Jahren tatsächlich der Durchbruch so war, als ich hierher kam, vor viereinhalb, fast fünf Jahren jetzt, kurz vorher gab es Messungen, die mir gezeigt haben, uns gezeigt haben, hier, das ist ein Weg, der tatsächlich diese Genauigkeit von wenigen 10 nach -8 erzielen lässt.

Und dann sind wir den Weg dann auch vehement gegangen.

Es gibt eine ganz andere Möglichkeit, die möchte ich auch nochmal kurz erwähnen.

Ja.

Das den Weg beschreitet zum Beispiel unser Schwesterinstitut in den USA, das NIST.

Die messen Massen dadurch, dass sie sie elektrisch, mit elektrischen Kräften kompensieren.

Also Sie können sich vorstellen, man baut eine Spule und einen Eisenkern und der wird in die Spule hineingezogen.

Also ein elektrischer Strom kann Kraft erzeugen, ein Magnetfeld erzeugen und das wiederum erzeugt eine Kraft auf einen anderen Magneten zum Beispiel.

Das heißt, ich kann eine Waage bauen, wo ich auf der einen Seite einen Kilogramm drauflege und auf der anderen Seite diese Balance halte, indem ich elektrische Kräfte, Strom, irgendwo rein schicke.

Und dann muss ich nur messen, wie viel Strom ich da reingeschickt habe.

Das heißt, ein Kilogramm ist so und so viel Ampere in so und so viel Zeit.

Ja, also prinzipiell genauso.

Also ist eine Energie, weil hier auf der einen Seite, oder eine Kraft, um korrekt zu

sein, weil hier habe ich ja die Gewichtskraft und die muss ich mit einer elektrischen Kraft am Ende des Tages kompensieren.

Ist aber nichts anderes als Strom und Spannung am Ende des Tages.

Und Strom, jetzt kommt der Witz, Strom und Spannung werden heute in hochpräzisen Kalibrierlabors über Quanteneffekte gemessen.

Das ist jetzt sehr schwer zu verstehen.

Erzählen Sie es einfach, wir haben auch genug Physiker und so unter uns zu hören.

Ja, also die genaueste Möglichkeit Spannung zu vermessen, ist über sogenannte Josephson-Kontakte.

Das sind Supraleiter, zum Beispiel im Kreis, die durch ein nicht Supraleiter, aber der sehr dünn ist, voneinander getrennt sind.

Und da sieht man, dass die Spannung in einem solchen Arrangement quantisiert ist.

Und die ist quantisiert durch elementare Größen, nämlich die Planck-Konstante und die Elektronenladung.

Gerade wieder die gleichen, Planck-Konstante, Elektronenladung.

Und das Gleiche gilt für einen, es gibt einen Quantenohm, also einen Widerstand, der quantisiert ist.

Das ist der Quanten-Hall-Effekt.

Der wurde von Herrn Klitzing gefunden, hat dafür den MottBell-Preis gekriegt.

Herr von Klitzing war als Student hier bei der PDB, ist leider gerade weggegangen.

Und kurz nachdem er weg war, hat er diesen Quanten-Hall-Effekt gefunden.

Es tut inzwischen leid, aber Herr von Klitzing ist sehr, sehr eng verbunden.

Ist auch in unserem Kuratorium.

Und was ist der Hall-Effekt?

Das weiß ich jetzt nicht, ob ich das erklären soll.

Also wenn Sie einen Leiter haben, den Sie so ein bisschen flach machen, so ein Band, und da stiegen Sie Strom durch.

Wenn ich jetzt ein magnetisches Feld anlege, dann führt das dazu, dass die Elektronen so ein bisschen auf eine Seite abgelenkt werden.

Das heißt, es baut sich rechts und links an diesem Leiter eine Spannung auf.

Das ist die Hall-Spannung.

Mit der kann man zum Beispiel Magnetfelder vermessen.

Je größer das Magnetfeld ist, umso mehr von den Elektronen landen da drüben.

Das ist der Hall-Effekt, den man kennt, der klassische Hall-Effekt.

Wenn man diesen Leiter jetzt immer dünner, dünner, dünner und kälter macht, dann wird dieser Stromfluss dadurch quantisiert.

Und auch dieser Widerstand zwischen rechts und links wird quantisiert.

Und wieder sind die entscheidenden Größen die Planck-Konstante und die Elektronen-Ladung.

Ich habe das Quantisieren noch nicht.

Was ist Quantisieren?

Quantisieren heißt, dass dieser Widerstand nicht mehr in jeder Zahl vorkommen kann, sondern der kommt nur noch in Vielfachen von einer kleinsten Zahl vor.

Ah, okay.

Ich kann nicht mehr jeden wieder ... Normal würde man denken, okay, ich variiere das Magnetfeld jetzt so ein bisschen mehr, dann kriege ich ein bisschen mehr Spannung.

Noch ein bisschen, noch ein bisschen mehr.

Was jetzt passiert ist, ich mache ein bisschen mehr, ich kriege immer noch das Gleiche.

Ich mache noch ein bisschen mehr, immer noch das Gleiche.

Ich mache wieder ein bisschen mehr, dann kriege ich einen Sprung zum nächsten Quant.

Und dann bleibt es wieder eine Zeit lang und dann gibt es wieder einen Sprung.

Okay, den Quantensprung.

Jetzt klingt das, was die Amerikaner machen, aber so als wäre das nur eine Ableitung aus dem jetzigen System.

Die messen ja ein Kilo, das schon vorhanden ist.

Aber wenn ich die Elektronen-Ladung und die Planck-Konstante festgelegt habe, dann ist auf der elektrischen Seite alles klar, was auf der anderen Seite steht.

Und dann kann ich sagen, das Ding ist so und so viel schwer.

So schwer, was auf der anderen Seite steht.

Weil ich die elektrischen Größen direkt zurückgeführt habe, jetzt auf die Naturkonstanten.

Werden beide Systeme hinterher überleben?

Also wird auf beide Arten und Weisen gemessen?

Das heißt, irgendwann werden Sie sich darauf einigen, ein Kilo ist entweder so und so viel Atom im Kristall oder so und so viel Spannung in der Waage?

Ich habe diese Naturkonstanten festgelegt.

Und das passiert jetzt auch im Vorfeld schon, wird sozusagen ein Ringvergleich gemacht.

Da wird also ein Gewichtsstück, vorzugsweise eine Siliziumkugel, auf dieses Ding gelegt.

Ich sage, wie schwer das in meinem System ist.

Und die Amerikaner sagen dann, wie schwer das auf ihrer Waage ist.

Und das Ding, das muss dann im Rahmen von hoffentlich wenigen 10 hoch -8 übereinstimmen.

Und dann haben diese zwei Methoden das Kilogramm sozusagen im Rahmen dieses Messfehlers gleich definiert.

Und es gibt noch einige andere Staatsinstitute, die so eine Wattwaage bauen.

Wir arbeiten mit vielen anderen auch zusammen, diese Siliziumkugel noch stärker zu verbreiten, dass wir nicht nur eine hier, wie das Urkilogrammstück in Paris liegen haben, das ist Quatsch.

Also wir haben eine Kollaboration mit Russland angefangen.

Dort arbeiten Zentrifugen, die früher für die Anreicherung von Uran mal tätig waren.

Die reichern jetzt Silizium für uns an.

Das ist ein wesentlich friedlicher und besserer Zweck aus meiner Sicht.

Und wir werden insgesamt dann Material haben für 10 solcher Kugeln.

Und unser Plan ist es, und da gibt es auch einiges Interesse, dass wir zumindest einige dieser Kugeln weitergeben an andere Staatsinstitute, sodass wir dieses Kilogramm dann in verschiedenen Institutionen auch realisieren können.

Wie verhindern Sie, dass da ein Atom rausfällt aus dieser Kugel?

Das Ding muss ja nur mal irgendwo anstoßen.

Ja, das sollte man versuchen zu verhindern.

Was dann passiert, ist aber auch schon passiert.

Mit einer unserer Kugeln, die wurde mal beim Polieren verkratzt, bzw. da wurde Aluminium mit eingerieben oder so was.

Wie wird das poliert?

Aber jetzt nicht mit einem Brillenputztuch oder so.

Ja, aber so ähnlich.

Mit immer feineren Granulaten, jetzt inzwischen automatisiert, früher mit der Hand.

Auch die hochpräzisen Spiegel von Zeiss am Ende des Tages werden auch noch

mit der Hand poliert, weil das sehr gut ist.

Aber das machen wir jetzt alles automatisiert.

Was ich sagen wollte, da wurde anderes Material mit eingeschliffen.

Nicht weiter schlimm.

Man hat die Kugel ein bisschen kleiner gemacht.

Die wiegt dann jetzt nicht ein Kilo, sondern ein bisschen weniger.

Aber trotzdem kann ich die Blankkonstante rausholen.

Oder später kann ich dann wieder sagen, wie schwer die ist.

Die ist dann kein Kilogramm.

Also wenn die einen Kratzer kriegt, dann muss ich den Kratzer wegmachen, weil ich ja das Volumen genau vermessen will.

Und dann ist sie leichter geworden, aber nicht desto weniger.

Und da kann ich immer noch sagen, wie schwer sie ist, absolut.

Und da kann ich die Kugel wieder bei denen auf die Waage legen, auf die Wattwaage, wie man das nennt, legen.

Und dann werden die eine leichtere Kugel messen.

Machen Sie das eigentlich noch mit anderen Sachen als dem Kilo?

Ja, mit dem Ampere.

Das hatte ich schon gesagt.

Die elektrischen Größen insgesamt, die kann man durch diese beiden Quanteneffekte, den Quantenhall-Effekt, also von Kitzing, und den Josephson-Effekt für die Spannung, sehr genau realisieren.

Das passiert auch jetzt schon in den Labors.

Die machen das so, also auch die Kalibrier-Labors auf dem höchsten Niveau machen das so.

Und das ist zugelassen von der Meta-Konvention, obwohl die offizielle SI-Einheit noch über Kräfte definiert ist.

Was heißt eigentlich SI?

Internationales System International, also das internationale System der Einheiten, SI-System.

Das heißt, es wird gemacht, weil, manchmal ist man dann...

Ja, die Technik hat sozusagen an der Stelle die Definition der Meta-Konvention überholt.

Also die Definition, die es da gab, da musste man Kräfte messen zwischen zwei unendlich langen Leitern, die unendlich dünn waren.

Also über die Kraft hat man Strom gemessen.

Und dann gab es diese beiden Quanteneffekte, die haben schlagartig zwei, drei Größenordnungen besser gemessen und viel einfacher.

Das heißt, man hat das irgendwie versucht, mit in der Meta-Konvention abzubilden.

Das wird aber in Zukunft dann ganz automatisch funktionieren, weil wir sowieso die Elektronenladung auch noch festlegen.

Die Planck-Konstante ist schon festgelegt.

Für die elektrischen Einheiten brauchen wir noch zusätzliche Elektronenladung.

Dann können wir direkt Spannung und Widerstand vermessen.

Es gibt noch eine andere Möglichkeit.

Das machen wir jetzt hier auch.

Und das finde ich auch intellektuell sehr spannend und ist auch technologisch viele Möglichkeiten.

Wir zählen einfach einzelne Elektronen.

Die kleinste Ladung, die Ladung ist quantisiert, die kleinste Ladung, die wir frei so erhalten können, ist das Elektron.

Und um an Strom zu messen, brauche ich es einfach nur noch zu messen, wie viele Elektronen fliegen, gehen pro Zeiteinheit durch meinen Leiter.

Einfach nur messen.

Genau.

Das ist das, was wir hier jetzt machen, weltweit an der Spitze.

Sie können Elektronen zählen.

Ja, ja, ja.

Wir haben einen Leiter gebaut.

Der hat so einen kleinen Quantendot, wie man das nennt, also ein winziges Areal, wo also Potenziale anliegen.

Und da kann man es erreichen, dass wir ein Elektron da reinschieben, sozusagen, und dann auf der anderen Seite wieder rausschieben.

Dort kommt es auf den Kondensator und kann gemessen werden, dass es tatsächlich auch da ist.

Und dann gibt es verschiedene, na ja, mehr und mehr komplizierte Apparaturen, wie wir verifizieren können, dass immer ein Elektron richtig da durchgegangen ist, dass wir das sehr schnell schieben können.

Und so können wir jetzt also sehr kleine Ströme, bis jetzt noch sehr kleine Ströme, durch direktes Zählen von Elektronen, sehr genau darstellen im neuen System.

Das Schöne ist halt auch, dass man im Grunde, wissen Sie ja jetzt schon, dass das irgendwann dann auch mit großen Strömen geht.

Also weil, wenn es einmal funktioniert, funktioniert es, oder?

Also diese Methode wird wahrscheinlich schwer zu skalieren sein auf große Ströme.

Brauchen wir aber auch nicht, weil wir dafür jetzt diese Josephson und Ohm, und Quantenhol, also das Ohm und die Spannung, was ja zusammen auch dann wieder den Strom gibt, U gleich einmal I über den Widerstand, können wir das im Augenblick zumindest für große Ströme leichter realisieren.

Okay, das Kilo, das Ampere, was werfen Sie noch über den Haufen?

Das Kelvin, die Temperatur.

Wie?

Das Grad Celsius sozusagen.

Ja, ja, ich, da, wie machen Sie denn das jetzt?

Das Kelvin ist definiert dadurch, dass man den sogenannten Tripelpunkt des Wassers festlegt.

Ja.

Und dann eine Skala dran hängt, also von Null Kelvin, also absoluter Nullpunkt, bis zum Tripelpunkt des Wassers, sind eben 273, irgendwas Kelvin.

War ursprünglich mal von der Temperaturskala, man ist konservativ, man versucht bei den Skalen zu bleiben, bei den Kilogrammen zu bleiben, bei den Grad Kelvin, Grad Celsius zu bleiben.

Nee, aber was würde man anderes sagen?

Ja, ja, nee, ist ja eine Katastrophe, ich kann ja nicht die ganze Menschheit hier umerziehen und so.

Das hat ja schon bei den Briten und ihren Inches nicht funktioniert.

Genau.

Ja, und die nächste, also die neue Definition, die wird die Temperatur dadurch definieren, dass man die Boltzmann-Konstante festlegt.

Das ist jetzt wieder ein bisschen kompliziert.

Ein bisschen Zeit haben wir noch, oder?

Ich glaube, ich habe den nächsten Termin, mal schauen.

Das ist ein bisschen kompliziert.

Für Physiker ist sofort einsichtig, da ist die Frage, was ist Temperatur?

Zunächst mal, und dann stellt man fest, man kann Temperatur so definieren als

Bewegungsenergie.

Bewegungsenergie der Atome.

Der Atome, wenn ich also jetzt hier in diesem Raum bin und wir jetzt 20 Grad haben, dann bewegen die sich mit bestimmter Geschwindigkeit.

Wenn ich es erhitze, dann bewegen die sich schneller.

Und daraus kann ich eine kinetische Theorie der Temperatur bauen.

Und da kann man sehen, dass die Energie in so einem Behälter oder auch von einem einzelnen Freiheitsgrad von der Bewegung ein halb k mal T ist.

Also die Energie ist die Hälfte der Boltzmann-Konstante mal der Temperatur.

Ist also, man bringt zusammen ein statistisches Verhalten eines Ensembles, nämlich die Temperatur mit der Energie.

Und da ist die Boltzmann-Konstante der Proportionalitätsfaktor dazwischen.

Wenn Sie es umbenennen dürften, wie würden Sie es nennen?

Habe ich mir noch keine Gedanken gemacht, ehrlich gesagt.

Man wird bei der Temperatur bleiben und man wird irgendeine Gradeinteilung haben.

Man will ja reale Temperaturfühler und so weiter.

Also ich sehe keinen Grund, das zu ändern.

Aber es gibt viele Möglichkeiten jetzt plötzlich, wie man die Temperatur realisieren kann.

Zum Beispiel durch dieses Planck'sche Strahlungsgesetz.

Ich habe gesagt, dass die Farbe direkt korreliert ist mit der Temperatur.

Das heißt, die Farbe ist auch direkt korreliert mit meiner kleinen Formel mit der Boltzmann-Konstante.

So ist es.

Das ist das Planck'sche Strahlungsgesetz.

Ich habe das Planck'sche Strahlungsgesetz herausgefunden.

Jetzt werden die SI-Einheiten neu definiert.

So sagt man.

Die SI-Einheiten werden neu definiert.

Was machen Sie danach?

Setzen Sie sich dann zur Ruhe, weil mehr kann da nicht mehr kommen?

Der Meinung könnte man jetzt sein von Seiten der Metakonvention, was die Definition angeht.

In der Tat passiert an der Stelle nicht mehr viel.

Es wird noch eine Änderung geben, weil es ist fast alles so, wie Planck sich das damals vorgestellt hat, dass wir Naturkonstanten nehmen, bis auf den Punkt dieser kleinen Schwingung im Pendel, also die Pendelschwingung in der Uhr.

Das ist eigentlich keine Naturkonstante.

Das kann man so sagen, aber die hat nicht die Dimension, die verändert sich.

Die Lichtgeschwindigkeit verändert sich nirgends, die Boltzmann-Konstante auch

nirgends, die Planck-Konstante auch nirgends.

Aber dieses Pendelschen, das ist sensibel.

Also wenn ich dann ein elektrisches Feld außen hin lege, dann fängt es anders an zu schwingen.

Wenn ich es im Gravitationsfeld anders hin und her schiebe, dann fängt es anders zu schwingen.

Also eigentlich würde man gerne was anderes nehmen.

Und Planck hat die Gravitationskonstante vorgeschlagen damals.

In den Planck-Einheiten.

Die kennen wir aber nicht gut genug.

Die kennen wir nur auf 10 auf -4 genau und die kann man schlecht besser messen.

Nicht gut.

Was wir am besten messen können auf der Welt, sind Frequenzen.

Und deswegen, abweichend von dem strikten theoretischen Vorschlag von Max Planck, lassen wir hier diese Frequenzen zu.

Und jetzt ist es offensichtlich, dass ich eine Zeit besser messen kann, das hat man vorhin schon mal, wenn ich ein schnelleres Pendel nehme.

Das heißt, es gibt inzwischen dann jetzt Technologien, diese optischen Uhren, wo die Pendel schneller sind.

Und wir gehen davon aus, dass vielleicht 2024, 2026, 2028 in der Gegend wir nochmal zu einer neuen Definition der Sekunde kommen werden.

Indem wir dieses schnellere Pendel nehmen und dann so einen Übergang, einen schnelleren Übergang festlegen.

Und dann sehen wir uns wieder.

Joachim Ulrich war das.

Vielen Dank fürs Gespräch.

Ja, ich bedanke mich.

Vielen Dank.

[Musik] [Musik] [Musik] [Musik] [Musik] [Musik] [Musik]