

16/06/2025

Science Talk > Wie verändert Quantenforschung unsere Wirklichkeit? In Kooperation mit: Semesterfrage der Universität Wien

00:00:04 **Speaker 8**

Sehr geehrte Damen und Herren, einen wunderschönen guten Abend. Während wir die begehrtesten Plätze in der ersten Reihe noch handselektiert vergeben, darf ich Sie heute Abend sehr herzlich hier begrüßen. Wir freuen uns außerordentlich, dass eine so große Menge an Interessierten zu uns, hier in die Aula der Wissenschaften gefunden hat. Das ist die Semesterfrage und zwar nicht nur der Universität Wien, sondern heute in Kooperation mit dem Bundesministerium für Frauen, Wissenschaft und Forschung. Die Science Talks und die Semesterfrage heute in Kooperation und ich freue mich sehr, Sie eben namens der Universität Wien und auch des Bundesministeriums hier in der Aula der Wissenschaften begrüßen zu dürfen. Ich muss beginnen mit einem großen Offenbarungseid. Zunächst der, ja, ich bin vom Beruf aus wegen Journalist, ich bin kein Quantenphysiker. Man kann das auch in Kombination sein, das beweist die Leiterin der Standard Wissenschaftsredaktion, Tanja Traxler ist Quantenphysikerin. Ich bin also

00:01:08 **Speaker 8**

der absolut falsche Mensch, um hier auf der Bühne zu stehen heute. Auch zudem sind Mitglieder unserer Wissenschaftsredaktion im Publikum anwesend. Es ist für mich ein heißer Ritt, ich kann mich heute also nur bis auf die Knochen blamieren, werde mich anstrengend, bin entsprechend präpariert, aber kann natürlich der Quantenphysikerin in unserer Wissenschaftsredaktion nicht das Wasser reichen, zumal sie auch bei Anton Zeilinger promoviert hat. Ich bitte also um Nachsicht, freue mich jetzt umso mehr, dass die Veranstalter hier uns begrüßen. Das alles ist nur möglich, weil die Universität Wien einlädt, weil das Bundesministerium hier seinen Beitrag leistet und ich darf die Vizerektorin Manuele Paccarini auf die Bühne bitten und gleich auch Marta Brinek vom Bundesministerium. Das ist Euer Applaus, vielen Dank.

00:02:04 **Speaker 5**

Vielen Dank, wir haben noch nichts gearbeitet und schon kriegen wir einen Applaus. Einen schönen guten Abend Ihnen allen als Vizerektorin der Universität Wien mit dem Aufgabenbereich Forschung nach Hochförderung und internationalen Beziehungen. Es ist mir eine besondere Freude heute Abend mit Ihnen den Abschluss der Semesterfrage zu begehen. Die Universität Wien ist stolz auf ihre Semesterfragen, die in langjähriger Kooperation mit der Tageszeitung der Standard umgesetzt

werden. Jedes Semester stellen wir eine Frage zu einem Thema, das die Gesellschaft aktuell bewegt. Anlässlich des 100-jährigen Jubiläums der Quantenmechanik, das in diesem Jahr weltweit gefeiert wird, haben wir im Sommersemester den Fokus auf die Quantenforschung als Game Changer gerichtet und die Frage, wie verändert Quantenforschung unsere Wirklichkeit gestellt. Die Universität Wien ist auch stolz auf ihre Quantenforschung, in der unsere engagierten Forscherinnen und Forscher weltweit eine führende Rolle einnehmen. In

00:03:13 **Speaker 5**

über 18 Hightech -Labors forschen sie an fundamentalen Quantenphänomenen und entwickeln innovative Technologien, die für sichere digitale Zahlungen und maschinelles Lernen zum Beispiel relevant sind. Nicht nur, aber als konkrete Beispiele. Diese innovative Forschung hat auch bereits zahlreiche Startups vorgebracht. Im Jahr 2022 wurde Anton Zeilinger gemeinsam mit Annan Aspect und John Clauser für seine bahnbrechenden Arbeiten im Bereich der Quanteninformation und seine wegweisenden Experimente mit verschränkten Photonen mit dem Physik -Nobelpreis ausgezeichnet. Das Nobelpreiskomitee würdigte diese Experimente als Meilensteine, die die Brücken von der fundamentalen Frage der Natur zu konkreten Anwendungen schlagen. Und dieser enge Austausch zwischen Theorie und Anwendung ist das besondere Markenzeichen der Quantenforschung an der Universität Wien. Und das ist entscheidend, denn als Universität betrachten wir es als unsere Mission, nicht nur spannende Fragen zu stellen, sondern auch die Antworten

00:04:28 **Speaker 5**

dazu zu teilen, zu kommunizieren und Lösungswege aufzuzeigen. Besonders jetzt ist das wichtig, dass Universitäten in die Gesellschaft wirken, wo die Wissenschaft weltweit eher so ein bisschen unter Attack steht. Dass wir heute hier zu Gast sind, ist besonders passend, denn an diesem Ort wird Österreichs größtes Science Communication Center entstehen. Eine Kooperation der ÖAW, der TU Wien und der Uni Wien. 2026 beginnen die Umbauarbeiten und 2027 soll das neue Kompetenzzentrum für Wissenschaftsvermittlung seine Tore öffnen. Die Universität Wien freut sich darauf, diesen neuen Ort der Wissenschaftsvermittlung mit spannenden Inhalten und neuen Erkenntnissen aus der Wissenschaft zu bespielen. Es freut uns natürlich auch, dass diese Diskussionsveranstaltung in Kooperation mit der Veranstaltungsreihe Science Talks des BMFF stattfindet, die heute Abend durch Martha Brinek vertreten ist. Ich wünsche Ihnen allen, uns allen eine anregende, spannende Podiumsdiskussion und Herr Riedmann, ich danke

00:05:45 **Speaker 5**

Ihnen jetzt schon für

00:05:46 **Speaker 8**

die Moderation.

00:05:57 **Speaker 8**

Ja, schönen guten Abend auch von meiner Seite, stellvertretend für das Bundesministerium. Dieser Saal wird von den Umbauarbeiten nicht betroffen sein, das kann ich Ihnen jetzt schon sagen und das, was Sie hinter mir sehen, ist der Bogen des ehemaligen Jesuitentheaters und soweit ich ein paar Physiker aus der Historie kenne, würde das einigen gut gefallen. Albert Einstein fällt mir da sofort ein, dass wir das Setting eines Theatrums gewählt haben für so eine Diskussion. Ich hoffe, das wird nicht die letzte sein, das sage ich auch in Richtung Uni Wien. Kooperationen sind immer willkommen, auch um solche Veranstaltungen in die Zukunft zu führen, in Zeiten des Spahns. Also hoffentlich nicht die letzte dieser Veranstaltungen. Ich beziehe mich noch einmal auf Albert Einstein. Er hat gesagt, vieles angeblich, vieles wird ihm nachgesagt, das ist auch belegt. Er hat gesagt, es ist einfacher, Atome zu zertrümmern als vorgefasste

00:07:02 **Speaker 2**

Meinungen. Nichts passt besser in diese Tage als der Spruch der vorgefassten Meinungen. Um diese

00:07:10 **Speaker 8**

Wirklichkeit wird es heute gehen. Ich sage merci zu Ihnen. Ja, und die Diskutanten haben jetzt das Wort.

00:07:28 **Speaker 8**

Schön, Vizerektorin Baccarini und Martha Brinek, herzlichen Dank. So, bevor die Diskutanten und Diskutantinnen tatsächlich hier das Podium erobern, wollen wir uns noch grundsätzlich mit der Materie befassen. Wir haben einen Weltklasse -Vortrag. Ich will nicht weiter den Druck erhöhen, aber man muss schon ins Auge der Tatsachen sehen, was wir hier heute geboten kriegen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von mehreren Kontinenten, also zwei ganz genau, alle irgendwie mit Wurzeln und starken Verbindungen nach Wien. Aber bevor ich jetzt hier lange Vorträge halte, wollen wir gemeinsam herausfinden, warum winzige Teilchen, die sich nicht entscheiden können, wo sie sind oder was sie gerade tun, für unsere Zukunft eine so große Rolle spielen. Die Universität Wien stellt eben in Kooperation mit dem Standard diese Semesterfrage und ja, am Ende der Veranstaltung werden wir eine neue Semesterfrage, weil es auch immer wieder ein neues Semester gibt haben, aber für dieses Semester war die Frage

00:08:29 **Speaker 8**

ganz konkret jene, wie verändert Quantenforschung unsere Wirklichkeit. Und unsere Vortragende heute, die wie immer ein Impulsreferat, ungefähr von 20, 25 Minuten geben wird, erforscht Raum und Zeit, man kann das so sagen, tatsächlich bis ins kleinste Detail. Sie forscht zu einem der wohl schwierigsten Bereiche ihres Fachs, nämlich der Quantengravitation. Die grundsätzliche Aufgabe, die allgemeine Relativitätstheorie der Quantenphysik, Sie erinnern sich, Albert Einstein, mit der Quantenphysik zu einer einzigen Theorie zu verschmelzen. Und während ich schon allein angesichts des Themas stolpere, wird es Zeit, die Bühne freizumachen für unsere Vortragende. Sie ist Professorin für Theoretische Physik an der Radboud -Universität in Nijmegen, sie hat am Perimeter -Institut in Kanada eine Gastprofessur und sie ist vielfach ausgezeichnet, gerade eben auch mit dem diesjährigen Europäischen Preis für Gravitationsphysik. Wir freuen uns außerordentlich, dass Frau Professor Renate Loll heute bei uns

00:09:29 **Speaker 8**

ist und der Titel ihres Vortrags, was macht Quantengravitation so spannend und relevant.

00:09:35 **Speaker 4**

Das ist Ihr Applaus.

00:09:49 **Speaker 4**

Vielen Dank für diese freundliche Einleitung. Ja, über Quantenphysik in Wien zu sprechen ist so ein bisschen wie Eulen nach Athen tragen, aber ich werde es trotzdem probieren. Gut, also wir befassen uns mit 100 Jahren Quantenphysik. Was gibt es denn nach 100 Jahren eigentlich noch darüber zu erzählen? Das wird die nächsten 20 Minuten in Anspruch nehmen. Gut, Quantenphysik, einerseits allgegenwärtig. Jeder hat sein Handy in der Jacken - oder Hosentasche und das würde nicht funktionieren ohne Quantenphysik, ohne Quantenelektrodynamik. Aber andererseits, wie Sie schon gesehen haben, wenn Sie mal die Sprüche vielleicht studierten, die hier auf die Leinwand geworfen wurden, wirft Quantenphysik doch immer eigentlich die gleichen Fragen auf, wie vor 100 Jahren. Nämlich, dass sie uns einen Begriff von Realität gibt, der nicht wirklich übereinstimmt mit unserer naiven Anschauung.

00:10:52 **Speaker 4**

Was bedeutet das? Naja, es ist wirklich eine Zumutung der Natur und die ist noch immer, die besteht noch immer. Denn unsere Anschauung hat sich nicht wesentlich verändert in den letzten 100 Jahren, wohingegen die Quantenphysik natürlich viele Fortschritte gemacht hat. Wir können mittlerweile Quantenprozesse im kleinen atomaren, subatomaren Niveau, Elektronen, Photon kontrollieren, mit

immer neuen technologischen Anwendungen. Darüber werden natürlich meine Mitdiskutanten noch viel mehr zu erzählen haben. Das Wesentliche ist, dass das alles auf sehr kleinen Skalen passiert. Hier ist also mein Atom, das hat eine Größe von 10^{-10} Metern. Das ist also sehr, sehr, sehr klein. Sie dividieren 1 durch 10^{10} und dann sind Sie da. Was das eigentlich Interessante an der Quantenphysik ist, ist, dass sie so grundlegend ist, so fundamental. Und ich würde sagen, eine zentrale Erkenntnis des 20. Jahrhunderts ist wirklich, dass alle Physik letztendlich Quantenphysik ist. Was meine ich damit?

00:12:05 Speaker 4

Wenn ich ein beliebiges System mir angucke und wirklich auf fundamental, auf mikroskopischem Niveau schaue, welche Arten von Gleichungen beschreiben mir das, wie kann ich die Materie beschreiben, dann sind es letztendlich alles Quantengesetze, die das beschreiben. Die grundlegendere Beschreibung ist immer die der Quantenphysik. Aber es gibt da doch noch, mit allem, was wir darüber wissen, eine entsetzliche Lücke. Und über die werde ich natürlich im weiteren Verlauf meines kurzen Vortrags reden. Denn eine der vier fundamentalen Wechselwirkungen, die der Gravitation, haben wir noch nicht wirklich in Einklang gebracht mit den Gesetzen der Quantenphysik. Darum geht es also. Aber erst eine kleine Erinnerung, was denn nun so speziell ist an der Quantenphysik. Ich habe es schon gesagt, es ist das Mikroskopische, wo wir nicht wirklich mit bloßem Auge hingucken können, aber der Punkt ist eben, dass die mikroskopische Physik nicht einfach eine verkleinerte Version der makroskopischen Physik ist.

00:13:13 Speaker 4

Während wir hier auf makroskopischem Niveau uns Bälle zuwerfen können oder mit Billardkugeln spielen, wenn wir jetzt auf dieses viel kleinere Niveau, also 10 Größenordnungen kleiner gucken und uns da vielleicht Atome angucken, dann bewegen sie sich nicht und verhalten sie sich nicht wie Billardkugeln, die zusammenstoßen, sondern sie verhalten sich nach wirklich qualitativ anderen Gesetzen und das sind eben die Quantengesetze, Quantenprinzipien, die wirklich die Grundlegenden sind und die bestimmen, was mikroskopisch alles passiert. Also hier hatten wir die Billardkugeln, hier ist einfach die Tabelle der bekannten Elementarteilchen, also wirklich, man kann aus diesem Verhalten nicht auf dieses hier schließen. Natürlich umgekehrt prinzipiell schon. Was sind denn nun die wesentlichen Prinzipien der Quantenphysik? Ich betrachte hier mal, das ist so typisch, was wir in der Physik machen, man nehme ein Teilchen, das ist dann irgendwie ein makroskopischer Massepunkt, das sich von dem Ort A zum

00:14:17 Speaker 4

Ort B bewegt, in einer gewissen Zeit T. Gut, das ist, wie ich das klassisch beschreibe. Ich gebe mir Anfangswerte für Geschwindigkeit und Ort vor und dann habe ich eine eindeutige Trajektorie, die mir sagt, wann ist das Teilchen wo und welche Geschwindigkeit hat es. Dahingegen sind die Quantenteilchen ganz anderer Natur. Hier habe ich nicht eine eindeutige Trajektorie, sondern, na hier habe ich ein paar Pfade rausgenommen, um zu verstehen, wie das Teilchen sich von A nach B bewegt, um das zu berechnen, muss ich alle Pfade von A nach B überlagern, würde ich sagen. Das ist also dieses berühmte Überlagerungsprinzip. Und was ich auch beachten muss, ist, dass ich nie von einem Teilchen sagen kann, dass es gleichzeitig einen beliebig wohlbestimmten Impuls, also Geschwindigkeit, und einen Ort hat. Und das folgt im Prinzip aus diesem Bild hier. Die geben zusammen so eine Wellenfunktion und ich kann da wirklich nur sagen, wie wahrscheinlich ist es, das Teilchen an einem bestimmten Ort zu finden. Und

00:15:27 **Speaker 4**

dadurch, dass ich eine Superposition nehme von solchen Pfaden, wird es auch plausibel, dass das Teilchen Welleneigenschaften haben kann. Wo sich halt bestimmte Dinge überlagern. Und ich kann das auch sehen als Quantenfluktuation. Also es gibt nicht die eine Trajektorie, sondern es ist alles so ein bisschen,

00:15:53 **Speaker 4**

alles bewegt sich natürlich um den klassischen Pfad, aber im Prinzip können diese Quantenfluktuationen beliebig groß sein. Und der Punkt ist, dass wir das nicht wirklich wahrnehmen können. Irgendeine dieser Prinzipien oder dieser Verhaltensweisen sind nicht wirklich unserer direkten Wahrnehmung zugänglich, aber wohl natürlich unseren Experimenten. Und hier wieder muss ich auf meine Kolleginnen aus Wien verweisen. Die machen solche Überlagerungsexperimente mit immer größeren Objekten. Es ist die Frage, wie groß dürfen die Objekte sein, sodass man noch immer diese Überlagerungen sieht. Und nicht nur eine rein klassische Trajektorie. Und ich nehme jetzt mal nicht Schrödingers Katze, weil wir die schon zu oft gesehen haben, aber hier ist ein Überlagerungszustand, der ist sehr makroskopisch. Das ist schon herausfordernd, das ist ja Stephen Hawking mit sich selbst überlagert. Also so etwas beobachten wir eigentlich nicht. Also was sagt uns das Ganze? Das Ganze sagt uns, dass der Realitätsbegriff,

00:16:58 **Speaker 4**

den die Quantenphysik uns gibt, wirklich nicht übereinkommt mit dem, was unsere Sinnesorgane uns vorspielen oder was wir wahrnehmen. Aber ist es verwunderlich? Es ist nicht verwunderlich, denn wir fangen als kleine Kinder an und spielen mit Bauklötzen, und die überlagern sich ja nicht,

das ist ja alles makroskopische Physik. Also es ist nicht verwunderlich, dass wir nicht verstehen, was auf ganz kleinen Längenskalen vor sich geht. So wenig, wie wir wirklich ein gutes Bild davon haben, was ja auf den allergrößten Skalen des Universums so vor sich geht. Aber wie gesagt, das ist trotzdem halt nicht alle, aber man sucht dann doch immer nach der klassischen Intuition hinter diesen Quantengesetzen. Und naja, das führt dann natürlich zu Paradoxa. Aber ich würde sagen, das eigentlich Bemerkenswerte ist natürlich, dass wir verstehen können, dass die tatsächliche Realität die Quantenrealität ist. Und das können wir natürlich mit den Hilfsmitteln, die wir haben, mit den wissenschaftlichen Hilfsmitteln.

00:18:04 **Speaker 4**

Und das ist eigentlich das Wichtige. So haben wir natürlich Theorie und Experiment, die ineinandergreifen und die wir schon sehr weit getrieben haben. Drei der vier fundamentalen Wechselwirkungen, die Elektrodynamik und die starke und schwache Kernkraft, haben bereits quasi fertige Theorien, mit denen wir ihre Phänomene beschreiben. Und was auch natürlich dazu kommt, sind Computer, Riesenmengen von Daten fallen da manchmal an, und die Tatsache, dass wir Mikroskope haben, die uns halt erlauben, wo wir nicht mit der Lupe hingucken können, vielleicht das Elektronenmikroskop anschalten, mit denen kann man schon quasi einzelne Atome sehen, also es ist fantastisch eigentlich, aber wir müssen natürlich noch zu viel kleineren Abständen eigentlich gehen. Und das machen wir dann zum Beispiel mit Teilchenbeschleunigern. Dieses Bild ist vom CMS - Experiment am Large Hadron Collider am CERN, und naja, diese Art von Mikroskopen erlauben uns, Distanzen von 10^{-19} Metern aufzulösen. Das sind also

00:19:15 **Speaker 4**

subatomare Teilchen. Und so sind diese Instrumente quasi eine Verlängerung unserer Sinneswerkzeuge, und da ausgehend von Experimenten bauen wir natürlich weiter unsere Theorien. Die Frage ist, wie weit geht diese Art von Methodik, wie weit lässt es sich treiben, und spezifischer können wir auch die Gravitation damit einbeziehen, können wir auch verstehen, dass die Gravitation eigentlich auf Quantenphänomene zurückzuführen ist, die mikroskopisch irgendwie vorhanden sind und die Raumzeit beschreiben. Warum das so ist, darauf komme ich jetzt im Weiteren. Oder sind das, ja, diese extremen Skalen, die dabei auftauchen, sind wirklich so extrem, dass wir nicht hoffen können, da jemals irgendetwas drüber sagen zu können. Das glaube ich natürlich nicht, sonst stände ich nicht hier, und sonst hätte ich nicht viele Jahrzehnte meiner wissenschaftlichen Karriere mit diesem Thema benutzt. Was macht jedoch die Gravitation und deshalb auch die Quantengravitation so anders, als die anderen fundamentalen

00:20:30 Speaker 4

Wirkungen? Zum Ersten, ich komme auf die extremen Skalen zurück, erwarten wir, dass Quantenfluktuation, also sowas wie dieses Bildchen, was wir sahen von diesen Teilchen, Pfaden, die sich so aufspalten, dass wir diese Art von Effekt in der Gravitation auf viel, viel kleineren Längenskalen erwarten. Warum? Naja, es gibt die sogenannte Planklänge, die Planklänge entsteht, indem man drei Naturkonstanten, nämlich die Gravitationskonstante von Newton, h quer aus der Quantentheorie und die Lichtgeschwindigkeit c , so zusammensetzt, dass eine Größe der Dimension einer Länge entsteht. Das kann man nur auf eine Art und Weise machen, und da kommt man zu dieser Planklänge. Und diese Planklänge ist $1,6 \times 10^{-35}$ Meter. Das ist also wahnwitzig klein. Die Beschleuniger, die bringen uns nach 10^{19} , und jetzt satteln wir nochmal 16 Größenordnungen drauf, und dann sind wir bei der Skala, die typische Skala der Quantengravitation angesehen wird. Warum ist diese Skala so klein? Man muss

00:21:47 Speaker 4

sich einfach mal diesen Ausdruck angucken, die ist so klein, weil die Gravitation so irrsinnig schwach ist. Und die Gravitationskonstante, die steht hier im Zähler, das ist etwas sehr Kleines, das h quer ist etwas sehr Kleines, die Lichtgeschwindigkeit ist etwas sehr Großes, die nehme ich sogar zur dritten Potenz, und so kann man verstehen, dass das etwas wirklich absurd Kleines ist. Und jetzt steht da DEMO, und ich wollte eigentlich meine, naja gut, ah doch, hier ist sie, hier ist die DEMO. Ich bin ja Theoretikerin, aber hier kommt jetzt quasi die Schwerkraft, das ist ein widersinniger Begriff, denn die Schwerkraft ist unglaublich schwach. Und ich soll das jetzt mal vorführen, hier habe ich einen kleinen Magneten, hier habe ich so eine Klammer, so eine Heftklammer, und jetzt machen wir einen kleinen Wettbewerb, nämlich, natürlich hat diese Heftklammer eine Masse und wird darum von der Erde angezogen, die kann ich ja jetzt einfach fallen lassen, wenn die fällt, wenn ich sie loslasse. Und

00:22:52 Speaker 4

hier ist aber auch der kleine Magnet, das heißt, es gibt die elektromagnetischen statischen Kräfte, die auch auf die Heftklammer wirken. Die Frage ist, wer gewinnt, der winzige Magnet oder die riesige Erde unter uns, die uns alle, und natürlich auch diese Klammer anzieht, und naja, hier haben wir den Beweis. Also, das ist eine Veranschaulichung, um wie viel schwächer die sogenannte Schwerkraft ist, als elektromagnetische Kräfte, so im normalen Gebrauch. Und deshalb ist diese Skala so klein und deshalb erwarten wir, dass Quantengravitationseffekte auf nur sehr, sehr winzigen Abständen typischerweise vorkommen. Und natürlich können diese Abstände selbst unsere allerbesten Beschleuniger nicht erreichen. Und wahrscheinlich auch nicht in naher und ferner Zukunft. Heißt das denn, naja, dass wir überhaupt nichts aussagen können über Quantengravitation?

Also so schlimm ist es nicht, aber es macht die Konstruktion einer Theorie natürlich nicht einfacher. Normalerweise will man natürlich ein Wechselspiel

00:24:02 **Speaker 4**

von Theorie und Experiment haben. Aber sollte man dann sagen, ist das nicht wirklich so ein Pi mal Daumen -Argument? Doch, ist es wohl. Also wir als Physikerinnen, wir hoffen wirklich, dass es nicht so ist, dass es nur auf diesen aller kleinsten Abständen wirkliche Quanteneffekte der Gravitation zu sehen gibt. Oder zu entdecken gibt, denn da könnten wir nie gucken. Im Gegenteil, wir hoffen auf makroskopische, phänomenologische Auswirkungen der Quantengravitation auf diesen sehr kleinen Skalen. Und um einmal als Beispiel zu nehmen, hier ist so ein Bildchen unseres Universums, nicht wahr, sehr vereinfacht, hier vor 13,7 Milliarden Jahren gab es dann irgendwann mal den Big Bang. Und kurz dahinter, das ist so was mich interessiert, dann ist so diese Quantenära, wo alles so dicht aufeinander gepackt war, dass da die klassischen Bewegungsgesetze auf jeden Fall nicht galten. Und hier könnte man sich vorstellen, dass diese Quantenfluktuationen z.B. miteinander korrelieren, auch eine bestimmte

00:25:06 **Speaker 4**

Weise. Ja, was kommt dann? Dann kommt die Inflation. Die Inflation bläst alles auf und vielleicht, wenn wir Glück haben, wenn wir heutzutage sowas wie die kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung betrachten, können wir vielleicht irgendein Signal aus dieser frühen Quantenära sehen. Das ist eine Hoffnung, aber man sieht hier, naja, wenn alles nur aus sich aus der Planck -Skala abspielte, dann könnten wir schon gleich einpacken. Das ist also eine Schwierigkeit, ja, diese extremen Skalen, die sich mit der Quantengravitation verbinden, aber das wirkliche Problem ist doch noch ein anderes. Und was ist es? Es ist ein Problem grundsätzlicher Art. Nämlich,

00:25:53 **Speaker 4**

ich zitiere mal so einen Satz, der gefühlt in 95 % aller populärwissenschaftlichen Artikel über die Quantengravitation irgendwo im ersten Absatz vorkommt. Der sagt zum Beispiel, die Prinzipien der Quantentheorie sind mit der allgemeinen Relativitätstheorie unvereinbar. Ha, ART ist nicht die Abkürzung hierfür und das ist natürlich Einstein's Gravitationstheorie, quasi die beste Gravitationstheorie, die wir haben, die schon mehr als 100 Jahre alt ist. Was sagt die uns? Ja, die Wesentliche, was sie sehr wesentlich von der Newton'schen Gravitationstheorie der Alten unterscheidet, ist, dass sie Gravitationskräfte gleichsetzt mit Raumzeitkrümmung. Warum geht das? Die Gravitation ist universell, alle Formen von Energie und Materie fühlen Gravitationskräfte und

ihrerseits üben Gravitationskräfte aus. Und weil das so ist, kann man Gravitation der leeren Raumzeit zuschreiben als eine bestimmte Struktur und das ist gerade die Krümmungsstruktur. Und diese Bildchen, die man dann hat, ist zum Beispiel

00:27:06 **Speaker 4**

hier, hier haben wir eine schwere Masse, das könnte unsere Sonne sein, die krümmt die sie umgebende Raumzeit und dann ein Planet oder ein Satellit, der um die Sonne kreist, fühlt dann diese Anziehungskraft, man könnte aber auch sagen, naja, der möchte in diese Mulde fallen, diese gekrümmte Mulde, so macht man sich das etwas an. Und was natürlich auch wesentlich neu ist und was wir seit einigen Jahren in unseren Detektoren sehen können, sind Gravitationswellen. Was sind Gravitationswellen? Gravitationswellen zum Beispiel, wenn man zwei umeinander rotierende Neutronensterne hat, irgendwo ganz weit draußen, dann erzeugen die ein Signal, das sich durch den leeren Raum fortbewegt und wie wir das verstehen, ist wirklich eine Wellenbewegung des leeren Raums, der leeren Raumzeit an sich. Also der leere Raum kann sich bewegen und hier sind wir noch nicht mal bei den Quanten, aber da muss man auch erstmal stark drüber nachdenken, was das alles bedeutet.

00:28:19 **Speaker 4**

Also Raumzeit ist jetzt die neue Art seit Einstein, wie wir über Gravitationskräfte nachdenken, ist wirklich Raumzeitkrümmung und dann kann man natürlich weiterdenken, wenn wir jetzt zu diesen ganz kleinen Abständen gehen, wo dann die Quanteneffekte eine Rolle spielen, ja, dann sind diese Quanteneffekte, die werden natürlich die Struktur der Raumzeit betreffen und die wird dann quantenfluktuieren und was heißt denn das? Und was macht das so anders von den anderen Theorien? Also theoretisch gesprochen, wenn ich mir die anderen Wechselwirkungen angucke, die beschreiben zum Beispiel, was in den Beschleunigern vor sich geht, da wird die Raumzeit angenommen als eine unveränderliche, feste Hintergrundstruktur, nichts passiert. Und was wir jetzt aber haben, ist, dass die Raumzeit selbst einsteinfoigend dynamisch ist. Das ist der Clash der Prinzipien, die man da zitiert. Wären die wirklich miteinander unvereinbar, dann, wie gesagt, könnten wir gleich aufhören, an Quantengravitation überhaupt zu

00:29:28 **Speaker 4**

arbeiten, denn dann ging das ja alles nicht. Aber das Problem ist natürlich wirklich auch ein technisches und, ja, wie beschreiben wir denn jetzt, was da auf diesen kleinen, aller kleinsten Abständen vor sich geht in der Raumzeit? Und hier habe ich ein hübsches Bildchen dazu. Hier, man fängt also quasi an ein Stück leerer Raumzeit. Das ist hier dieses kleine Karree und dann zoomen wir

immer weiter ein. Wir gucken dann auf größere Skala, noch größere Skala, noch größere Skala und hier sehen wir dann so allmählich, dass kleine Quantenfluktuationen auftauchen, mit unserem Quantenmikroskop, sowas gibt es natürlich nicht, aber wenn wir dann wirklich beim letzten Schritt sind, wo wir hier dann bei der Planklänge landen, dann stellen wir uns vor, dass die Raumzeit selbst nicht mehr schön glatt ist, sondern wirklich wild aussieht, halt wie so ein wilder Quantenschaum. Das sind aber natürlich alles Bildchen. Als theoretische Physikerin möchte ich natürlich eine Theorie bauen, die mir sagt, was da

00:30:35 **Speaker 4**

nun wirklich passiert. Also, wo wir nicht mit hinkommen, ist die sogenannte Störungstheorie. Störungstheorie ist was, was sagt, eine klassische Raumzeit schön glatt, mit so kleinen Wickelchen, nicht? Das funktioniert nicht hierbei. Rein mathematisch kann man das auch schon an diesen Bildchen ablesen. Hier, solange wir hier sind, da können wir noch das schöne Koordinatensystem sehen, mit dem wir die Raumzeit beschreiben und mit dem wir Ereignisse in der Raumzeit beschreiben. Das ist einfach, denn dieses Gitter, kommen wir hierher, ist es unmöglich. Was das letztendlich bedeutet, ist, dass die Mathematik, das ist die Riemannsche Geometrie, die der allgemeinen Relativitätstheorie zugrunde liegt, einfach nicht mehr funktioniert. Was machen wir dann? Naja, ich fasse jetzt mal, sage ich mal, 50 Jahre Quantengravitationsforschung sehr kurz und beweise noch auf ein weiteres Problem hin, nämlich die Ansätze quasi zur Quantengravitation, die die letzten sicher 40 Jahre das Feld dominiert haben, benutzen

00:31:47 **Speaker 4**

exotische Zutaten, denen ist Quantenfeldtheorie nicht mehr gut genug, die brauchen ausgedehnte Objekte, Schleifen, Loops oder Strings, deren Dynamik dann hoffentlich auf makroskopischen Skalen das erzeugt, was wir sehen und die alles umfassen, inklusive der Quantengravitation. Was ist hier ein großes Problem? Das große Problem ist, dass durch diese exotischen Zutaten, dass das sehr reiche Theorien sind, die sehr, sehr viele sogenannte freie Parameter haben und diese freien Parameter, die zerstören mir die Vorhersagekraft der Theorie. Die muss ich ja irgendwie festlegen, durch Experimente wiederum und so viele Experimente kann ich gar nicht machen. Was machen wir also stattdessen? Es geht wieder zurück zu den Wurzeln der Quantentheorie und mit diesem zu dem Überlagerungsprinzip, das ich am Anfang meines Vortrags besprochen hatte, jetzt in der Form des sogenannten Pfadintegrals. Es ist aber, wie gesagt, nichts anderes als das Überlagerungsprinzip, aber nur jetzt angewandt auf die Gravitation.

00:33:04 **Speaker 4**

Was sind die Gegenstücke der Pfade des Teilchens? Das sind jeweils ganze gekrümmte Raumzeiten, die wir da überlagern. Übersteigt das unsere Vorstellungskraft? Ja. Ich habe ja keine Formeln weiter in meinem Vortrag, aber dieses magische Objekt ist halt dieses von Feynman sehr propagierte und universell quasi einsetzbare Überlagerungsprinzip, das Pfadintegral. Und was bedeutet das jetzt für den Fall der Gravitation? Na ja, so ein Integral, sowas wie eine Summe, über alle möglichen gekrümmten Raumzeiten. Die muss ich also alle überlagern und dann weiß ich hoffentlich, was die Quantengravitationstheorie ist. Können wir das? Schwierig.

00:33:52 **Speaker 4**

Bislang, bis vor kurzem, war immer das Problem in der Quantengravitation, wir wissen nicht wirklich, was wir da ausrechnen sollen und wir haben auch sowieso nicht die Mittel, um zu rechnen. Es gibt aber, da wir über diese störungstheoretischen Ansätze hinausgehen müssen, es gibt in der Quantenchromodynamik, der sogenannten QCD, ein ähnlich gelagertes Problem, wo wir auch nicht störungstheoretisch rechnen müssen und da gibt es eine fantastische Methode, die der sogenannten Gitterfeldtheorie, mit der man seit Mitte der 70er Jahre, auch mit Hilfe von Computersimulationen, einfach fantastisch viel über die Struktur dieser Theorie gelernt hat, inklusive Berechnung von, sage ich mal, Massen von Teilchen, die wir dann nachmessen in so Beschleunigungen, wie sie am Zern stehen. Wenn wir also so weit wären mit der Quantengravitation, wäre das unglaublich. Ich erwähne hier Lee Smolin, die manche von Ihnen vielleicht kennen, aus dem Grund, weil ich vor einer Woche auf seiner 70. Geburtstagskonferenz

00:35:02 **Speaker 4**

gesprochen habe und noch einmal zurückgegangen bin auf den allerersten Artikel, den er als Doktorand in Harvard geschrieben hat. Und wo er wirklich eine weitreichende, naja, weitreichende Ideen aufgeschrieben haben und seine Idee war, wir setzen einfach die Quantengravitation aufs Gitter, genauso wie das die Leute in der QCD machen. Und das steht gleich im ersten Absatz. Aber es gibt da natürlich ein ganz grundsätzliches Problem, denn diese Gitter, mit denen man die Raumzeit annähert, die sind fest. Und das widerspricht sich ja gleich so quasi im ersten Schritt, das widerspricht natürlich wiederum der Dynamik der Raumzeit, wie es in der Einsteintheorie passiert. Aber leider wissen wir ja nicht, eigentlich sollten wir die Gitter dynamisch machen, aber wir wissen nicht, wie wir das tun können. Das haben wir 20 Jahre später wohlgetan. So lange hat es gebraucht, zu verstehen, wie man die Gitter dynamisch macht, wie man die starren Raumzeitgitter der QCD ersetzt durch dynamische. Und das geht

00:36:10 **Speaker 4**

wirklich auf eine Arbeit von mir und meinem Kollegen Ambjörn zurück. Und Sie sehen, da sind 20 Jahre dazwischen und da haben wir diese Methode der kausalen dynamischen Triangulation eingeführt. Da kann ich wenig drüber sagen, abgesehen davon, dass die Gitter aus dreiecksförmigen Bausteinen bestehen. Jeder sieht so aus und die muss ich dann zusammenbauen und bekomme dann quasi eine gekrümmte Raumzeit. Wenn ich das dann auf alle möglichen Arten mache und immer da diese Gewichte richtig reinsetze, dann bekomme ich dieses Fahrtintegral. Und das kann man wirklich mit Computern dann berechnen. Und jetzt sind wir 20, 25 Jahre weiter. Jetzt haben wir tatsächlich Ergebnisse aus diesem Ansatz. Und was wir sehen, ist wirklich diese widersinnigen oder sehr hochgradig nicht intuitiven Eigenschaften von Quantenraumzeit auf sehr kurzen Abständen. So sieht das aus. Auf einmal, wie gesagt, ich bin Theoretikerin auf der Planck -Skala und auf einmal mutiere ich und meine Gruppe zu Experimentatoren. Und wir

00:37:20 **Speaker 4**

produzieren, die Quantenraumzeit ist im Computer und wir müssen Experimente konzipieren, um zu verstehen, was für Eigenschaften diese Quantenraumzeit hat. Und dann messen wir sie nach und dann bekommen wir halt, na ja, das ist wie echte Experimente, dann bekommen wir Daten, die haben statistische und systematische Fehler und dann vergleichen wir die mit Vorhersagen und, na ja, koppeln das Ganze natürlich wieder zurück an die Theorie. So sieht das aus, ich gehe da nicht näher drauf ein. Ich will nur zwei Sachen tonen. Was wir finden, ist, dass ganz mikroskopisch, quasi in diesem Quantenschaum, dass wir da wirklich völlig widersinnige Strukturen finden, die so fraktalartig sind und nicht mit klassischer Geometrie wirklich fassbar. Zum Beispiel hat die Quantenraumzeit eine effektive Dimension von 2 statt 4. Sehr, sehr, sehr interessant, aber wirklich nicht klassisch zu verstehen. Auf großen Skalen kriegen wir auch was Tolles raus, denn da kann man sehen, das kollektive Verhalten dieser mikroskopischen

00:38:37 **Speaker 4**

Bausteine, ich muss wirklich sagen, auf magische Weise, gibt uns eine Quantenraumzeit, die auf genügend großen Skalen Eigenschaften einer Lösung der klassischen Einstein -Gleichungen hat. Und zwar des sogenannten Desitter -Universums. Es ist ein ganz seltenes Beispiel von sogenannter Emergenz, wo dieses kollektive Verhalten dieser mikroskopischen Dinger uns da tatsächlich interessante Objekte, Strukturen gibt, die wir kennen aus der klassischen Theorie. Wie gesagt, ich fasse es hier sehr kurz, diese Messungen sind extrem, sind sehr, sehr subtil, wirklich wie Experimente und bewegen sich in extremen Größenordnungen, aber ein Anfang ist gemacht. Also, wir freuen uns auf die nächsten 100 Jahre, was lernen wir daraus, was wollen wir damit machen? Wir finden hier so ein desitterartiges Quantenuniversum. Was ist daran spannend? In der

Standardkosmologie, das ist so, bevor quasi Inflation stattfindet, benutzt man ein Modell, das man sich so quasi einfach ausdenkt, weil es gut passt, dass ein Desitter

00:39:52 **Speaker 4**

-Universum ist, mit so kleinen Quantenfluktuationen darum. Das ist aber wirklich völlig ad hoc. Was wir machen können jetzt potenziell, ist diese Art von Struktur aus fundamentaler Quantenphysik abzuleiten. Eine weitere interessante Frage ist, was ist denn eigentlich nötig? Wir haben ja oft die Frage, wo kommen wir her, wo kommt das Universum her? Was waren denn die Anfangsbedingungen? Da kommt man ja nie zu einer Antwort, und wer hat denn die Anfangsbedingungen gewählt? Vielleicht hier, wenn wir so etwas wie einen universalen dynamischen Mechanismus finden würden, wo aus relativ willkürlichen Zutaten, wenn man quasi nur ein paar Dinge richtig wählt, so etwas wie ein Desitter-Raum entsteht. Da wären wir auch schon wieder weiter. Und vielleicht ist so gar nicht nur die Raumzeit, die emergent sein kann, aus solchen mikroskopischen Quantenfluktuationen, vielleicht ja auch die Materie selbst. Also das ist, ja, das ist wirklich, das ist sehr spekulativ, aber das wäre gigantisch, wenn es so

00:40:55 **Speaker 4**

wäre. Wir hoffen natürlich auch, letztendlich Kontakt zur realen Welt zu machen, und wie ich schon erwähnte anfangs, das ist so der heilige Gral dieses Gebietes, nämlich Effekte der Quantengravitation vorherzusagen und dann tatsächlich zu verifizieren, zum Beispiel durch astrophysikalische Messungen. Wem das noch immer nicht genug ist als Begründung, warum das so ein tolles Gebiet ist, das zumindest ein paar von uns studieren sollten, und die nach Anwendungen fragen, na, da muss ich Sie auf die nächsten 100 Jahre vertrösten. Dies ist erst mal nur noch pure Wissenschaft, aber diese unerforschte Quantenwelt ist natürlich faszinierend und da werden sicher noch viele Dinge draus hervorgehen. Und hiermit danke ich Ihnen ganz herzlich.

00:42:09 **Speaker 8**

Frau Prof. Loll, vielen herzlichen Dank für diesen Gusto am heutigen Abend. Die Semesterfrage beschäftigt die Studierenden und auch die Universität schon seit mehreren Monaten natürlich, und welche Antworten bisher gefunden wurden auf die Semesterfrage, was sich getan hat, das sehen wir jetzt in einer kurzen Zusammenfassung.

00:42:38 **Speaker 2**

Die Quantentheorie stört unser Verständnis der Realität an ihrem Kern. Sie sagt uns, dass manchmal physische Anteile keine definierten Werte haben, bis sie gemessen werden, und dass Anteile über

extrem große Abläufe korrelierbar sein können, in Wegen, die keine klassischen Erklärungen unterstehen. Über die letzten 100 Jahre haben diese Inhalte unser Verständnis geändert, was wirklich ist, was es bedeutet, etwas zu wissen, und was es bedeutet, etwas zu beobachten.

00:43:06 **Speaker 8**

Die Forschung an der Quantenphysik rüttelt an dem Weltbild, wie wir Realität wahrnehmen. Zum einen von der fundamentalen Seite her, lehrt uns die Quantenphysik, dass erst durch die Messung, durch den Einfluss eines Beobachters, Quantensysteme ihre Eigenschaften bekommen und damit real werden. Aber mehr noch als das, die Quantentechnologie, die sich ableiten lässt, als Anwendung von der Quantenphysik und von der Quantenforschung, lässt in naher Zukunft andere Produkte real werden, wie zum Beispiel sichere Kommunikationsboxen, die abwehrsicher kommunizieren können, bis hin zum Quantencomputer oder zu extrem höchstgenauen Präzisionsmaschinen.

00:43:44 **Speaker 5**

Die Quantenwelt sagt sehr merkwürdige Dinge voraus. Wir können es in dem Sinne nicht verstehen, weil wir ja auch in einer klassischen Welt leben. Aber wir können sozusagen in die nächste Phase eintreten. Wir können uns überlegen, was können wir mit diesen merkwürdigen Phänomenen Neues machen. Und genau das passiert jetzt faszinierenderweise.

00:44:05 **Speaker 6**

Die Quantenforschung lehrt uns, dass die Welt nicht schwarz -weiß ist, sondern sämtliche Zwischentöne immer mitgedacht werden müssen, wenn wir zu einer korrekten Beschreibung der Wirklichkeit kommen wollen.

00:44:15 **Speaker 2**

Die Quantenforschung kann unsere Realität in vielen Fällen verändern. Zum Beispiel kann sie helfen, neue Technologien zu entwickeln, die unsere Leben in Zukunft besser machen können. Zum Beispiel können wir stärkere Computer entwickeln oder Protokolle für eine sichere Kommunikation schaffen.

00:44:37 **Speaker 7**

Die Ergebnisse der Quantenforschung zeigen uns, dass wir über die Wirklichkeit, über die Realität viel zu naiv noch denken. Wir können Realität nicht unabhängig vom Beobachter denken. Was wir von der Quantenforschung lernen, ist, dass sie uns nichts darüber sagt, wie die Natur ist, was real ist, sondern sie sagt uns, was wir über die Natur aussagen können. Und das ist eine fundamental andere Art und Weise, über die Natur, über die Wirklichkeit nachzudenken.

00:45:09 Speaker 8

So,

00:45:17 Speaker 8

die Akteurinnen und Akteure aus dem Video, die sehen Sie heute im Verlauf des Abends an allen möglichen und manchmal auch unmöglichen Stellen, weil, wie gesagt, man darf nicht so naiv an die Realität herangehen, wie Herr Professor Aspelmayr uns eben schon im Vorhinein beigebracht hat. Bevor wir allerdings, bevor ich kippe hier und die Gravitationstheorie zumindest hier auf der Erde beweise, einen kurzen Hinweis an Sie. Wenn alles technisch klappt, und das ist im Jahr 2025 wirklich was Kompliziertes, wird hinter mir jetzt ein QR -Code erscheinen. Erfunden irgendwann in den 70er Jahren in einem japanischen Automobilwerk, beziehungsweise dort eingesetzt, haben wir 40, 50 Jahre später die Anwendung gelernt und Sie können mit diesem QR -Code, den wir noch suchen hier in den verschiedenen Räumlichkeiten, an dem Student Response System teilnehmen. Das ist nichts Gefährliches, sondern ein Umfragetool heute Abend. Und an diesem Umfragetool haben wir einige Fragen angegeben, weil, damit wir uns nicht

00:46:15 Speaker 8

alle, so wie ich, auf die Knochen blamieren, ist die erste Frage, wie gut kennen Sie sich mit Quanten aus? Und die erste Antwortmöglichkeit ist natürlich für die allermeisten hier sehr gut. Ich könnte spontan ein Referat halten und wir könnten darauf zurückkommen heute Abend. Zweitens, ich habe schon ein paar populärwissenschaftliche Artikel gelesen, das wäre auch heute Nachmittag im Standard gegangen, und ich finde das Thema spannend, kenne aber kaum Details, und was sind noch mal Quanten, ist auch eine Auswahlmöglichkeit. Die zweite Frage, die wir gleich auch für Sie freischalten, ist, was fällt Ihnen ein, wenn Sie an Quantenforschung denken? Und das Dritte, welche dieser nachfolgenden Technologien basiert auf quantenphysikalischen Prinzipien? GPS, Laser, Quantencomputer, Kernspintomographie. Das sind so Tipps, die Sie abgeben können. Sie können den QR -Code einfach abfotografieren und dann entweder in der Foto -App oder direkt in der Kamera darauf klicken und mit dem Quanten -Enabled

00:47:06 Speaker 8

-Device, wie wir neuerdings zu unseren Mobiltelefonen sagen, gleich auch Ihren Tipp abgeben. Aber ich will Sie gar nicht allzu lange ablenken, sondern möchte unsere Podiumsteilnehmer auf die Bühne bitten, und das wären für heute Abend Thomas Jennewein, Physikprofessor an der Simon Fraser University in Vancouver und Alumnus der Universität Wien, Markus Aspelmayr, Professor für Quantenoptik, Quantennanophysik und Quanteninformation an der Universität Wien, und er ist

wirklich ein Symbol der österreichischen Quantenforschung, gibt der sogenannten Aspelmayr - Forschungsgruppe seinen Namen. Dazu kommen wir gleich. Und Christina Hirsch ist Geschäftsführerin von Silicon Labs Austria, kurz SAL, Alumna der Universität Wien, und sie ermöglicht mit ihrer Organisation eine angewandte Perspektive für das, was wir in der Theorie jetzt gehört haben. Und natürlich ist Frau Professor Loll auch mit von der Partie, und ich freue mich sehr, und das ist Ihr Auftrittsapplaus. Bitte schön. Herr

00:48:20 **Speaker 8**

Professor Jennewein, Sie hatten den weitesten Anflug, deshalb beginnen wir unhöflicherweise, ich komme gleich zu Ihnen, bei Ihnen, Sie haben in Wien promoviert, das Thema Ihrer Doktorarbeit war die Quantenkryptografie. Experimente mit verschränkten Photonen zur Quantenkryptografie und Teleportation. Und wer heute sagt, dass Quantenkryptografie eines der heißen Themen ist, das haben Sie Jahrzehnte vorher gesehen. Das habe ich vorher gehofft, auf jeden Fall. Genau, ich habe als Mitglied der Gruppe von Anton Zeilinger, als junger Student, haben wir uns da beschäftigt mit allen möglichen Protokollen und Systemen. Und diese Quantenkryptografie war das eine, wo ich geglaubt habe, das ist eine Richtung, die wird was. Damit wir dort kurz folgen können. Die Quantenkryptografie soll einen neuen Level der Sicherheit bieten. Die Verschlüsselung, die wir gegebenenfalls auch von unseren Handys oder hoffen, dass unsere Handys das können, die soll durch Quantenkryptografie noch einmal erheblich gesteigert

00:49:27 **Speaker 8**

werden. Was sind die Prinzipien der Quantenkryptografie? Also Quantenkryptografie ist eigentlich eine Quantenschlüsselverteilung, was da abläuft. Und zwar, da werden auf Photonen oder andere Quantensysteme Informationen aufgeprägt. Eben die Superposition, wie wir schon gehört haben, diese Überlagerungszustände. Und wie wir schon wissen von der Schrödinger Katze, wenn diese Box mit der Schrödinger Katze drinnen ist, wenn das aufgemacht wird, um nachzusehen, was für einen Zustand das Teilchen hat, dann fällt ja das zusammen, das kollabiert, dieser Zustand. Und das wird ausgenutzt in der Quantenkryptografie. Das heißt, da ist ein Kommunikationspartner, erzeugt diese Photonen mit bestimmten Quantenzuständen. Die werden einem nach dem anderen zum Bob gesendet, zu dem Empfänger. Und wenn jetzt unterwegs jemand versuchen würde, diese Photonen zu messen, dann wird der Zustand gestört, wie bei der Schrödinger Katze. Und das kann man eben ausfinden. Und in der Kommunikation kann man dann ausfinden,

00:50:42 **Speaker 8**

ob der Schlüssel wirklich gut ist, ob der, wie sagt man,

00:50:51 **Speaker 8**

unverändert ist. Und dann kann man den Schlüssel verwenden für eine kryptografische Übertragung, die aber dann herkömmlich läuft. Also der Schlüssel wird quantisch erzeugt und dann aber einem herkömmlichen Verschlüsselungsalgorithmus zugeführt. Gibt es heute schon die Möglichkeit, das auch im Alltag auszuprobieren? In den Marketingunterlagen jedenfalls von Signal oder auch von Apples iMessage steht auch drin, dass es quantensicher sei. Da muss man unterscheiden, es gibt quantensichere Kommunikation, die auf Algorithmen basiert.

00:51:32 **Speaker 8**

Die nicht nachweislich, obwohl es große Indizien gibt, dass die mathematischen Algorithmen resistent sind, gegen Quantencomputer. Also Quantencomputer könnten die heutige Verschlüsselung, wie wir sie auch alle verwenden, wenn wir mit dem Handy unsere Bankgeschäfte erledigen zum Beispiel oder auf eine sichere Webseite gehen, da wird ein Algorithmus verwendet und der könnte durch einen Quantencomputer ausgehebelt werden. Wenn es jemand zum Beispiel den Datenverkehr abspeichert, können die das später analysieren und entschlüsseln oder hacken. Und quantensicher, quantum safe, das würde jetzt bedeuten, dass man neue Algorithmen hat, vor allem in den USA gibt es eine Workgruppe, eine Arbeitsgruppe bei der NIST, die beschäftigen sich mit der nächsten Generation von diesen Algorithmen, diese Post -Quantum -Algorithmen. Ja, diese Definition ist wichtig, gerade auch hier in Wien für die Politik, aber wie man gesehen hat, auch in manchen Chatgruppen wichtig, ob sie dann sicher sind oder halbsicher.

00:52:43 **Speaker 8**

Herr Professor Aspelmayr, jetzt ist Anton Zeilinger schon zum dritten Mal erwähnt worden und auch Schrödinger, den viele ja vom 1000 Schillingschein noch in guter Erinnerung haben. Was ist es mit Österreich und der Quantenphysik? Wie hat sich diese Spezialisierung und auch dieses Know-how -Center, das ja weltweit anerkannt ist, ohne dass ich jetzt gleich anfangen, einem vom Austria zu singen, aber wie hat sich dieser Schwerpunkt, diese Gravitas in Wien entwickelt?

00:53:18 **Speaker 7**

In Österreich, würde ich sagen. Das ist eine tolle Frage, und ich denke, es ist eine Mischung aus dem richtigen Zeitpunkt, die richtigen Visionäre an einem Ort zu haben und gleichzeitig auch den Mut, die zu finanzieren. Also wenn ich mir jetzt die moderne Quantenphysik in Österreich anschau, die moderne Quantenlandschaft, die wirklich die weltweite Quantenforschung maßgeblich geprägt hat, also was Ideen und sowohl in der Theorie als auch exponentelle Realisierungen aus Österreich

kamen, um diesen jetzigen Stand der Quantenforschung weltweit auch anzuschieben, ist einzigartig, muss man sagen, also auch gemessen an der Größe des Landes. Und ich lasse jetzt mal die erste Generation, Schrödinger, Pauli und so weiter, außen vor, da muss man wirklich sagen, Helmut Rauch und Anton Zeilinger waren mit Sicherheit die eine der allerersten, die hier vorgedacht haben, die ersten grundlegenden Experimente gemacht haben, und das hat sich dann weiter fortgeführt mit Innsbruck, damals dann ganz am Anfang

00:54:33 **Speaker 7**

Zoller, Zeilinger, Blatt, und da ist es gewachsen. Und das waren ganz wenige Leute ursprünglich vor 25, vor 30 Jahren, die aber auch, ich muss das nochmal betonen, damals sehr viel Geld vom FEF bekommen haben, um etwas völlig Neues aufzusetzen. Das gab es ja nicht, dieses Forschungsgebiet. Und ich denke, der Erfolg hat jetzt tatsächlich dem Ganzen recht gegeben. Es hat sich gelohnt, hier mutig in Leute zu investieren, die, und jetzt kommt zum vierten Mal Zeilinger, ich darf das jetzt zitieren, so ein bisschen ihren eigenen Spinnereien nachgehen.

00:55:17 **Speaker 8**

Frau Prof. Loll, jetzt kommt die Frage, auf die Sie mutmaßlich den ganzen Tag schon gewartet haben. Aus Ihrer Perspektive, die Sie in den Niederlanden forschen, in Aachen geboren sind, an vielen, auch deutschen, auch internationalen, renommierten Instituten tätig waren, geforscht haben, wie ist Ihr Blick auf Österreich? Spielt Österreich hier tatsächlich eine Sonderrolle, oder ist es so wie beim Skifahren, wo wir uns freuen, wenn fünf der ersten vier Österreicher sind?

00:55:47 **Speaker 4**

Zum Ersten muss man natürlich sagen, wie ich auch in meinem Vortrag gesagt habe, Quantenphysik ist ein unglaublich großes Feld, weil die Quantenphysik halt so grundlegend ist. Aber, sage ich mal, was hier gemacht wird an den Instituten, das ist natürlich ein spezieller Teil dieser Quantenphysik, und da sticht wirklich Österreich unglaublich hervor, muss ich wirklich sagen. Das ist bemerkenswert und ist natürlich auch, wir Forschenden, wir sind natürlich sehr international vernetzt, aber das ist schon bemerkenswert und die Frage ist immer, wie hat man das geschafft, dahin zu kommen? Und Geld allein ist nie ausreichend. Das heißt, es müssen die richtigen Leute mit der richtigen Vision, da müssen viele Dinge zusammenkommen. Und jetzt profitieren sie davon, aber man muss natürlich immer weiter dabei bleiben. Man kann sich nie ausruhen und die Welt bewegt sich weiter. Und deshalb, denke ich, meine Kolleginnen und Kollegen hier, die müssen sich dann auch immer wieder neu erfinden. Aber auf jeden

00:56:52 **Speaker 4**

Fall sticht das heraus.

00:56:53 **Speaker 8**

In welchen Bereichen der Grundlagenforschung begegnen Sie auch internationalen Konzernen? Man spricht ja auch im Bereich der Quanten, des Quantenbereichs, auch immer von Google, von IBM, von großen internationalen US -amerikanischen Corporations. Begegnen Sie denen bei Ihren Fragestellungen oder sind die viel nachgelagerter unterwegs?

00:57:16 **Speaker 4**

Ja, ich bin ja wirklich, sage ich mal, am äußersten, auf der äußersten Front tätig. Und weil es ja keine direkten Anwendungen dafür gibt, ist das Interesse beschränkt. Aber es ist natürlich fließend. Auch in meinem Bereich, ich bilde Leute aus und die haben dann natürlich die Fertigkeiten, zum Beispiel arbeiten zu gehen bei den Googles dieser Welt und dann natürlich auch wieder Quantenfragen irgendeiner Art zu bearbeiten. Und die haben auch ein natürliches Interesse an diesen, viele jedenfalls, diese mehr fundamentalen Fragen anzugehen, die ja noch immer unbeantwortet sind. Oder, naja, wir arbeiten uns vor.

00:58:00 **Speaker 4**

Aber kommerziell können wir halt die Quantengravitation noch nicht wirklich nutzen, es ist noch nicht so in Reichweite, dass die Leute Schlange stehen wie die, die fragen, ja, ich war auf dem Kongress, da waren wir sogar zusammen, Markus, die Leute fragten alle nach Fusionen, ja, Fusionsexperimenten. Und sie dachten, wir als Quantenphysiker kennen uns da aus. Die haben aber nicht gefragt, was ist denn Ihr nächstes Quantengravitationsexperiment, das Sie planen. Ja, das ist noch zu weit weg von Anwendung.

00:58:33 **Speaker 8**

Solche Fragen habe ich heute noch nicht gestellt. Wenn Sie Fragen haben, die Sie stellen möchten, das geht übrigens auch über das Student Response System und über den QR -Code, also wenn Sie diesen QR -Code noch einmal fotografieren wollen, mir auch einen Spickzettel sozusagen hier raufschicken wollen und nicht später sich am Mikrofon melden wollen, das ginge auch dezent hier per QR -Code. Frau Dr. Hirschl, Sie waren ja selbst auch in der Weltraumforschung tätig, wenn ich die wieder richtig studiert habe. Und vielleicht, bevor wir auch zu den Silicon Austria Labs kommen, welche Rolle spielt denn Ihrer Ansicht nach der Weltraum für die Quantenphysik? Wieso ist diese Liebe so omnipräsent? Ja, das ist eine sehr interessante Frage. Wir haben gerade früher darüber gesprochen, dass die Studenten demnächst ihren Satelliten launchen werden, den Mikros, ganz

kleinen Satelliten mit Quantenexperimenten drauf. Die Weltraumforschung hat einen großen Vorteil gegenüber dem, was wir kommerziell im Handy

00:59:35 **Speaker 8**

und in verschiedenen Fabriken erwarten. Es ist nicht so relevant, wie viel ein einzelnes Teil kostet und dadurch ist es sehr oft möglich, Quantentechnologien dort als erstes zu testen. Das heißt, grundsätzlich bietet es einfach der ganze Weltraumthemen einfach Möglichkeiten, diese Sensoren, die Technologien dort im Einsatz zu bringen. Und zusätzlich ist es natürlich so, man kann es sehr leicht sagen, wenn ich statt zwei Satelliten, die hintereinander das Erdgravitationsfeld vermessen, es wäre doch viel charmanter, nur einen zu haben. Hätte ich dort einen Quantensensor auf einem dieser Satelliten drauf, dann bräuchte ich nur einen. Das heißt, man kann sehr schnell den Nutzen darstellen. Und zusätzlich haben wir bei den Experimente gehört, im Weltraum auf großen Skalen können wir sehr viele Dinge vermessen, die wir gerne wissen würden, um diese Grundlagen zu bespielen. Und dadurch ist diese Liebe, glaube ich, sehr, sehr präsent. Es gibt zwei Orte, wo man quantenphysische Experimente gut durchführen

01:00:40 **Speaker 8**

kann, im Weltraum und in Kärnten, habe ich erfahren.

01:00:46 **Speaker 8**

Die haben eine Pilotlinie zur Herstellung von Ionenfallen installiert, habe ich gelesen. Was machen die Kärntner mit den Ionenfallen? Lustigerweise geht das sehr stark von der Industrie aus. Das heißt, man muss das eigentlich von der anderen Seite sehen. Silicon Australabs hat drei Standorte, Graz, Linz und Villach. Und Villach ist sehr im engen Austausch natürlich mit der Infineon. Und die Infineon ist eine der Firmen, die natürlich sehr stark darauf setzt, wo bewegen wir uns hin. Wie können wir sicherstellen, dass wir in der nächsten Generation zukunftsfit sind mit dem, was wir verkaufen wollen? Wie gelingt es uns in Europa, vorneweg zu sein? Wie gelingt es uns in Europa, gegen eine sehr weltweit absolut starke Konkurrenz aus Asien, aus der USA, irgendwo auch unseren Weg zu gehen? Wie können wir kompetitiv bleiben? Und eines der Möglichkeiten ist natürlich, technologisch vorneweg zu sein. Infineon hat in den letzten Jahren sehr viel investiert in den Bereich Ionenfallen, die eine der

01:01:55 **Speaker 8**

möglichen Grundlagen für einen späteren Quantencomputer sind. Und durch das kommt es, dass im Rahmen des Chipsets, das uns gelungen ist, gemeinsam mit der Infineon, aber auch gemeinsam mit

der Uni Innsbruck und EQT, die wir aus der Quantencomputerei kennen in Österreich, ein Konsortium auszustellen, das sehr stark mit Deutschland, mit Spanien, mit Finnland verwoben ist, um eben dort eine erste Quantenpilotlinie für Ionenfallen aufzustellen. Das Projekt ist zwar jetzt der erste Schritt genehmigt, bis aber wirklich die ganze Linie steht, wird es schon noch ein paar Jahre dauern. Wir sind furchtbar stolz, dass die ersten Fallen im Moment gefertigt werden, auch bei uns im Forschungsreinraum. Aber bis dann wirklich der Computer final daraus hervorgeht, wird es schon noch ein bisschen dauern. Herr Aspelmayr, apropos ein bisschen dauern oder tapfer sein, Sie müssen jetzt ein bisschen tapfer sein, es gibt in Ihrem Bereich zwei Forschungsgruppen, die Aspelmayr -Gruppe und die Walter -Gruppe. Und

01:02:53 **Speaker 8**

von der Walter -Gruppe ist momentan fast niemand da, weil es eine spezielle, ich weiß schon, wir haben welche da, die sind schon eingeecheckt sozusagen, weil am Freitag an der Vandenberg Air Force Base in Kalifornien, wo es in die Luft, also wenn der Trump und der Musk nicht noch mehr streiten diese Woche, wonach es nicht aussieht, dann soll weiterhin eine SpaceX -Rakete starten am Freitag und dort ist ein bisschen was aus Österreich dabei. Wir haben es auch im Video vorher schon gesehen, ein Schuhkarton voller Technik. Was wird ins All geschossen und warum ist das wichtig?

01:03:23 **Speaker 7**

Boah, da bin ich jetzt der absolut falsche Ansprache. Da hinten stehen vier Leute von der Walter -Gruppe, die das tausendmal besser erklären können als Sie. Also ich werde jetzt auf diesen Zug aufspringen. Was getestet werden soll, ist wirklich die Robustheit von Quantentechnologie. Von dem, was ich gelesen habe, mehr kann ich jetzt tatsächlich nicht sagen. Ist es der erste Quantencomputer, der ins Weltraum kommt? Ist es ein rudimentärer...

01:03:50 **Speaker 8**

Steht die Presseaussendung, ich weiß nicht, ob das...

01:03:53 **Speaker 7**

Das ist auf jeden Fall ein wichtiger Punkt.

01:03:56 **Speaker 8**

Sie haben auch schon was ins All geschossen, können nicht alle von uns behaupten.

01:04:02 **Speaker 7**

Also es ist ein wichtiger Baustein und da will man eben zeigen, dass das robust ist, dass es aushält und dann werden erste Tests durchgeführt. Aber vielleicht weißt du mehr, Thomas.

01:04:12 **Speaker 8**

Und wir haben ein Duplikat heute hier, das heißt, wir können erst mal ausprobieren, ob es ein Andatschen auch verträgt und ob es nur im Weltraum funktioniert. Aber wie ist die Wichtigkeit von solchen Experimenten zu beurteilen? Ja, das ist sehr wesentlich, weil im Labor, da hat man diese Systeme schon groß ausgereizt und demonstriert, auch im Feld quasi ausgetestet. Aber in dem Satelliten, in dem Space Environment, da gibt es große Challenges, die Temperatur, die Space Radiation, die Strahlung. Und ich war gerade in einem Meeting letzte Woche, wo ich die neuesten Resultate gesehen habe von einem Experiment, wo meine Gruppe auch dabei war, wo auf der International Space Station eine verschränkte Quelle draußen montiert ist. Das war ein Projekt, das geführt wurde von Paul Quirt in University of Illinois. Und da läuft jetzt eine verschränkte Quelle und da haben wir Detektoren drauf, die wir gebaut haben. Und das verhält sich total, sag ich jetzt mal, wirr. Also schon im Großen und Ganzen,

01:05:17 **Speaker 8**

es funktioniert gut, aber es gibt noch einige Überraschungen. Großteils vermutet man durch die Bestrahlung. Und deswegen sind diese Experimente so wichtig. Das sind kleine Schritte, um die Technologie auszuloten, zu verbessern, damit man dann die großmundigen Proposals, die man da so im Raum hängen haben, dass wir die wirklich umsetzen können. Sie haben eine Photonenquelle an der Internationalen Raumstation montiert, die jetzt die Erde beschießt. Habe ich das richtig verstanden? Nein, die Photonen, das ist eine geschlossene Box. Die Photonen werden intern gemessen. Da wird kein schwarzes Loch erzeugt. Ich habe Fragen, da geht es mir gleich wie Ihnen. Es funktioniert nämlich unser Fragesystem ganz hervorragend. Und Frau Professor Loll, die richten sich auch in der Reihenfolge jetzt an Sie. Ich würde Sie jeweils, dass wir ein Staccato üben und mit vier Fragen bombardieren, die zunächst wären. Es wurde erwähnt, wie Quantengravitation weiter erforscht wird. Kann es auch sein, dass nur Materie

01:06:23 **Speaker 8**

quantenphysikalische Eigenschaften besitzt, aber Raum nicht?

01:06:30 **Speaker 4**

Alles ist möglich. Meinen Studierenden lege ich nahe, es gibt keine No-Go-Theoreme in der Quantengravitation. Wenn jemand kommt mit so einem Theorem, misstraue ihm oder ihr.

01:06:45 **Speaker 8**

Aber.

01:06:46 **Speaker 4**

Okay, aber. Sagen wir mal, wie ich schon gesagt habe, die große Erkenntnis des 20. Jahrhunderts ist wirklich, dass alle Art von Physik Quantenphysik ist. Und die Gravitation, naja, da verstehen wir es aus guten Gründen nicht, weil die sich halt auf solchen extremen Skalen abspielt. Aber quasi alles, was wir über Natur wissen, spricht dafür, dass die Gravitation, weil sie ja natürlich auch Wechsel wirkt mit allem, weil sie auch selbst universell ist, letztendlich eine Quantentheorie sein muss. Es gibt immer wieder, das kommt, ich bin ja schon lange im Geschäft, es kommt zyklisch, alle sieben Jahre oder so, kommt jemand und sagt, alles Quatsch, die Gravitation können wir klassisch lassen, nur die Materie ist quantisiert.

01:07:43 **Speaker 4**

Das bekommt viel mehr, das erregt viel mehr Aufsehen in der populären Presse, als wir, die wir dann in unseren Hamsterrädern weiter die Quantengravitation machen. Was ich dazu sagen will, es bekommt viel mehr Aufmerksamkeit, als das Gros der Community wirklich denkt, dass es verdient. Aber es gibt natürlich einen Fehlschluss, den man nicht machen sollte, anzunehmen, es wäre einfach, eine Theorie zu konstruieren, in der alles quantisiert ist, bis auf die Gravitation. Meine Hypothese ist, dass das zumindest, vielleicht sogar schwieriger, aber zumindest so schwierig ist, wie eine konsistente Quantengravitationstheorie aufzustellen.

01:08:29 **Speaker 8**

Dazu gibt es auch, die Frage wurde im kleinen Maßstab, wenigstens im kleinen Maßstab, eben war Gravitation gemessen, und auf welchem Maßstab könnten wir Gravitation messen? Ich habe keine weiteren Informationen dazu.

01:08:40 **Speaker 4**

Es ist eine Gegenfrage, ob diese Gravitation gemessen werden konnte.

01:08:48 **Speaker 4**

Wenn wir diese Phänomene auf sehr kleinen Skalen, die können wir natürlich nicht direkt messen, das ist völlig ausgeschlossen, aber wir könnten sie möglicherweise indirekt wahrnehmen. Wenn wir zum Beispiel so einen Vergrößerungsmechanismus irgendwo haben, wie zum Beispiel die Inflation, die vielleicht sehr mikroskopische Quantengravitationsphänomene, die sich vielleicht ganz am

Anfang des Universums aufblasen könnten, auf eine Art und Weise, die wir eventuell noch nachweisen können.

01:09:18 **Speaker 8**

Nichts, was wir uns in Österreich herbeiwünschen, hat jetzt mit Inflation zu tun, deshalb hier gleich die nächste Frage. Was wäre eine denkbare Anwendung der Quantengravitationsforschung? Weil die 100 Jahre warten, sind für mich keine Option.

01:09:35 **Speaker 4**

Einige sagen 50.

01:09:37 **Speaker 8**

Da sagt der Wiener, es könnte sich ausgehen.

01:09:40 **Speaker 4**

Naja, aber wirklich, wir müssen die Zeit spannen, während deren Fortschritte erzielt werden, in der Quantenphysik, die sind nicht klein. Also wir reden jetzt über 100 Jahre, kennen wir all diese Prinzipien, also die kennen wir, aber noch immer tun sich völlig neue Technologien auf, von denen 1920 oder noch früher, die waren auf niemandem das Radar. Also wirklich, damit würde ich mich jetzt auch quasi aus der Schlinge ziehen, zu sagen, da sind bestimmt noch Dinge, die können wir noch gar nicht vorhersagen. Auch darum, weil wirklich Gravitation eine der grundlegenden vier fundamentalen Kräfte ist. Also wenn wir mehr verstehen, mehr über den Ursprung von Raum und Zeit verstehen könnten, dann denke ich sicher, da gibt es Anwendungen, welche das sind, da muss ich passen. Und wirklich aus gutem Grunde.

01:10:45 **Speaker 8**

Wenn die bisherige Ansicht oder die Makrobetrachtung einer Vergrößerung nicht standhält, das ist ja auch das, worum sich auch Ihre Forschungsarbeit gedreht hat, ist dann der Rückschluss falsch, dass die Makrobetrachtung falsch war? Muss die neu geschrieben werden? Das ist ja die Zuspitzung, die von uns Journalisten immer versucht wird. Hat jetzt Einstein recht gehabt oder Sie?

01:11:11 **Speaker 4**

Ja, Einstein hat sich ja so ein bisschen voran in seinen späteren Lebensjahren, aber ich würde sagen, diese Sachen schließen sich ja nicht aus. Also wir haben es ja über bestimmte Bereiche, in denen bestimmte Theorien sehr gut funktionieren. Und die ART, die Allgemeine Relativitätstheorie, wurde nie mit der Ambition entwickelt, dass sie Vorhersagen auf der Planck -Skala macht. Und dafür ist sie

einfach nicht da. Und das wäre einfach vermessen zu glauben, dass sie das tut. Und also ist ihr Definitionsbereich, ihr Wirkungsbereich endlich, es ist ein bestimmter Skalenbereich, wo wir sehr gut überprüfen, bis zu kosmischen Längenskalen, dass anscheinend diese Theorie fantastisch funktioniert, aber irgendwann hört es natürlich auf, wenn man ins Kleine geht.

01:12:01 **Speaker 8**

Herr Professor Jennewein, Sie forschen in Kanada, auf der anderen Seite dieser Weltkugel, wenn man so will, im 51. Bundesstaat der USA. Und damit spiele ich an auf eine Frage, die hier natürlich seriöser formuliert auch aus dem Publikum gestellt wurde. In diesen bewegten Zeiten gibt es starke Änderungen der Rahmenbedingungen. Für Forscherinnen und Forscher hat der Brain drain aus den USA schon begonnen und wie beobachten Sie das quasi aus nördlicher Perspektive, was da etwas südlich der Grenze passiert? Und kann auch Wien davon profitieren? Ja, also gleich einmal mit der letzten Frage. Ja, ich glaube schon, dass Wien oder Slash, Europa und auch Kanada da eine Möglichkeit haben, sich da voranzustellen. Mein Deutsch ist ein bisschen schwach. No worries. Entschuldige, es gibt ein Silver Lining. Ich bin sehr erschrocken mit allem, was man da so hört und sieht, was da im Süden passiert. Und das ist natürlich deren Sache, muss man sagen. Da habe ich jetzt keine Meinung dazu. Aber es gibt eine

01:13:26 **Speaker 8**

gewisse Tendenz, vor allem in Kanada hat man das gesehen, dass es da schon eine Möglichkeit gibt, jetzt kanadische Forschung voranzustellen, neue Projekte, neue Programme ins Leben zu rufen, gerade um sich, ja, weil man muss sich ja jetzt profilieren, man ist ja jetzt auf sich gestellt in einem gewissen Sinn. Ein großer Partner verhält sich jetzt anders. Aber das heißt, es betrifft die Naturwissenschaften genauso, wie wir aus dem Journalismus heraus beispielsweise die Geisteswissenschaften oft im Blick haben, wo es natürlich auch Streit um Interpretationen etc. gibt. Das betrifft die Naturwissenschaften auch? Ja, ja, gerade eigentlich, weil in Kanada ist es oft auch, da gibt es viel Kollaboration mit den USA, historisch und auch von der Nähe her, und das öffnet sich jetzt auf. Da wird jetzt geschaut, mehr so Kanada first, gibt es manchmal so Statements, aber auch neue Kollaborationen zu finden, eben auch mit Europa. Und das finde ich eigentlich sehr interessant und eigentlich schon überfällig

01:14:37 **Speaker 8**

in einem gewissen Sinn. Also ich sehe da ein gewisses silver lining, das ist meine private Meinung. Und ganz konkret zu der Frage, gibt es schon Anfragen? Ja, es gibt sogar schon Professoren, die schon übersiedelt sind, jetzt nicht in der Naturwissenschaft, aber in anderen Gebieten. Und es ist auf

jeden Fall so, dass jetzt viele Programme und Budgets gekürzt werden und Leute plötzlich dastehen und Personal muss entlassen werden. Und natürlich, diese Leute sind alles hochqualifizierte Forscher, die müssen irgendwo unterkommen. Und da gibt es schon Möglichkeiten.

01:15:18 **Speaker 8**

Ihnen hat es in Wien aber nicht so gut gefallen, das jetzt gleich. Ja, das ist jetzt eine Trickfrage, auch meine Gattin ist im Saal. Also Wien ist super, Wien ist sehr schön, hat mir sehr gut gefallen. Und es taucht ja immer bei den lebenswertesten Städten ganz oben auf. Und Waterloo kann man da suchen. Also man bräuchte die Pulse vom Ministerium.

01:15:46 **Speaker 8**

Aber ich muss aber sagen, was mich hingezogen hat nach Waterloo damals, nach Kanada, war dieses Institute for Quantum Computing. Das war Mitte der 2000er Jahre so, wo das angefangen hat. Und das war weltweit sicherlich eines der Zentren oder Hotspots in dem Gebiet. Das war auch stark unterstützt von einem der Gründer, der Mike Lazaridis von Blackberry, diese Handyfirma, die eigentlich in Waterloo heimisch ist, immer noch ist. Und die haben das gesponsert und auch das Perimeter Institute zum Beispiel. Und das war einfach diese große Möglichkeit, dort ein Forschungsprogramm aufzuziehen und dort zu agieren. Aspelmayr, wo würden Sie diese Frage nach den, wo braucht man es jetzt konkret, die spürt ihr im Raum irgendwie, die möchte jeder irgendwie in der Nähe beantwortet haben. Woran forscht die Gruppe Aspelmayr derzeit und in welche Richtung, glauben Sie, könnte das Angewandte -Denken dann auch mal in näherer Zukunft in unser Leben kommen?

01:17:00 **Speaker 7**

Ich darf ganz kurz noch ausholen, weil das ist eine total wichtige Frage, die Sie gestellt haben. Wo können wir als Europa, als Wien von der jetzigen Situation, so schlimm sie ist, doch an Mehrwert für die Zukunft schöpfen. Und es gibt einen zusätzlichen Aspekt, nämlich die USA hatten in der Vergangenheit es hervorragend geschafft, die besten Studenten weltweit anzuziehen und zwar aus aller Herren Länder. Und das ist auch eine weitere Möglichkeit für Europa und auch konkret für Österreich, hier ganz klar zu sagen, kommt zu uns und studiert bei uns, mit uns, weil wir sind ein Ort, an dem das gelingt. Aber was natürlich bedeutet auch, dass man offen ist gegenüber Studenten aus allen Ländern, die die weltweit schlauesten Köpfe zur Verfügung stellen.

01:18:02 **Speaker 8**

Aber lassen Sie uns noch ganz kurz bei dem Thema bleiben. Wie sieht das denn im Bereich, und da kommen wir vielleicht auch zu Ihnen dann, wie sieht das in dem Bereich angewandt und die Industrie spielt da eine Rolle, wie sieht es mit Spin -Offs oder mit Start -Ups aus, die sich aus dem universitären Bereich heraus bilden?

01:18:19 **Speaker 7**

Gut.

01:18:25 **Speaker 7**

Hat jetzt nichts mit den Studenten zu tun, aber die natürlich. Also es gibt tatsächlich, muss man sagen, in Österreich sind die Möglichkeiten zu gründen hervorragend. Also für die erste Gründungsphase. Das Problem, das man immer hat. Das ist die zweite Phase. Genau, da ist es noch besser als die zweite Phase.

01:18:47 **Speaker 8**

Also ich glaube, es gibt wirklich sehr, sehr viele Möglichkeiten, wo man mehr Energie hineinstecken muss in Richtung Venture -Fonds. Und ich weiß gar nicht, ob das das Hauptproblem ist. Für mich ist es sehr stark dieser Entrepreneurspirit, den wir brauchen. Wie schafft man es zu motivieren, dass es erstens kein Problem ist zu scheitern, dass es überhaupt kein Problem ist, eine Idee auch wieder einmal fallen zu lassen im universitären Bereich. Der Forscher kennt das, dass manchmal etwas auch nicht funktioniert. Aber das müssen wir eigentlich auch auf diese Unternehmungen ausdehnen. Wir versuchen auch im Moment in Richtung Deep -Tech einiges zu machen, weil wenn du eine offene Infrastruktur hast mit einem Reihenraum, der in Wirklichkeit sehr wenige Wünsche offen lässt, wie fertige Mikroelektronikkomponenten, wie fertige auch diese kleinen Bausteine, die wir in der Quantentechnologie brauchen werden. Und irgendwie glaube ich schon an diese Vision, dass man, wenn man diese Infrastruktur zur

01:19:50 **Speaker 8**

Verfügung stellt, gewisse Venture -Fonds schafft aufzutreiben. Und ich glaube, das wissen Sie vielleicht sogar besser als wir Forscher, das Geld ist da. Das liegt irgendwo in Österreich. Und in Wirklichkeit müsste man diesen Mut forcieren, dass wirklich die, die dieses Geld haben, das Geld diesen Startups zur Verfügung stellen. Das heißt auch für Gründerinnen und Gründer, dass die initiale Gründungsphase sich machen ließe. Ja. In einem Bereich, der im Investment ja gerne der FFF -Bereich genannt wird. Friends, Family and Fools, die investieren. Und dass die Zwischenfinanzierung oder der Sprung dann zu einer Serie A oder Serie B die Unmöglichkeit ist. Nein, ich weiß gar nicht. Es

scheitert teilweise, glaube ich, schon in dieser ersten Phase an der Infrastruktur. Da versucht man gerade eben auch mit dieser Pilotlinie massiv was zu tun in diese Richtung. Und zusätzlich im Chipset gab es dann auch die Möglichkeit der Kompetenzzentren. Diese Kompetenzzentren sollen genau diese Vernetzung der

01:20:55 **Speaker 8**

Venture -Funds mit den Unternehmen, mit den gründungswilligen, mit den Forschungsinstitutionen ermöglichen. Und Spin -In, Spin -Out sind Begriffe, die den Gründern bekannt sind und wo sowohl die Universität, wie auch wir als außeruniversitäres Forschungszentrum natürlich sehr offen sind. Das heißt, vielleicht brauchen wir einfach ein bisschen mehr Mut. Apropos Mut. Unsere Frage, die ich eingangs gestellt habe oder unsere Fragen, die man ja hier auch zu Semesterfragen umformulieren könnte, die sind noch offen, denke ich. Aber man könnte sie ja auch abschließen. Dann könnte ich Ihnen nämlich schon zum Quantenquiz einen Zwischenstand präsentieren. Ich werde mal sehen, ob das in den nächsten Minuten hier möglich ist oder ob ich die falschen Knöpfe drücke. Aber es sieht eigentlich so aus, als würde das bald passieren. Das habe ich jetzt sozusagen geäußert. Eine Frage, die sich mir in der Zwischenzeit noch aufdrängt, ist, Herr Jennewein, Sie haben auch kurzfristig in der Industrie gearbeitet.

01:22:00 **Speaker 8**

Ein Jahr bei Audi. Was ist in diesem einen Jahr passiert, dass Sie dann wieder in die Forschung gewechselt sind? Ja, danke. Das war ein interessanter Wechsel und Rückwechsel. Und eigentlich war das der beste Job, den ich je gehabt habe in Bezug auf Rahmenbedingungen und alles. Aber was mir gefehlt hat, war dieser Forschungsanreiz, dass man irgendwas arbeitet, was noch keiner oder nur ganz wenige Menschen vorher gesehen haben. Und das hat mir einfach gefehlt, dieser Anreiz, dieser Spark für die Forschung. Und aus dem hat sich wieder zurückgezogen in diese Grundlagenforschung. Obwohl ich dann auch immer versucht habe, mich um Anwendungen zu kümmern oder mit Anwendungen zu beschäftigen. Wenn man jetzt, Frau Loll, Ihnen die Semesterfrage zum Frühstück stellen würde, wie verändert Quantenforschung unsere Wirklichkeit? Und ich möchte, Sie merken das, zum Anwendungsfall kommen. Wie verändert Quantenforschung unsere Wirklichkeit? Was wäre Ihr Best Guess?

01:23:13 **Speaker 4**

Mein Best Guess, sie erweitert unsere Horizonte auf Arten und Weisen, die wir vor 100 Jahren nicht vorher sagen konnten und wo wir jetzt auch noch Schwierigkeiten haben, sie vorherzusagen, aber wo wir fest daran glauben, dass sie ein Teil des Wortschritts ist.

01:23:31 **Speaker 8**

Sie haben auch die Unterschiede zu unserer Wahrnehmung herausgestrichen in Ihrem Referat. Quantenfysik bietet so interessante, ungewohnte Einblicke, weil sie unserer Lebenserfahrung auch irgendwie widerspricht. Was wären da die Hauptkriterien? Ist der Weg, diese Unvorhersehbarkeit, eine, die die Hauptunterscheidung darstellt?

01:23:53 **Speaker 4**

Das kann man sagen, aber es lehrt uns sehr wenig über, was wir im täglichen Leben gebrauchen könnten. Es sei denn auf eine sehr spirituelle Art und Weise, sage ich mal. Aber wir verstehen, dass die Realität, was wir für Realität halten, ja, da muss man leider Korrekturen anbringen. Denn das passt nicht zusammen mit dem Bild, was wir wirklich aus unserem Verständnis der Quantenfysik entwickeln.

01:24:22 **Speaker 8**

Also wäre der nächste Schritt, wie Sie das auch beschrieben, die Nachstellung von bestimmten Parametern, die, das habe ich verstanden, nicht zu kompliziert sein dürfen, dass wieder alles da drin Platz hat, aber eine möglichst einfache Beschreibung dessen, wie es zu solchen, ja auch Aggregatzuständen, aber zu solchen Situationen kommen kann, die Sie im kleinen Bereich vorfinden.

01:24:44 **Speaker 4**

Ja, die Frage, die ich verstehe, habe ich jetzt nicht ganz verstanden.

01:24:46 **Speaker 8**

Das nächste Ziel der Forschung wäre, im Prinzip unter Laborbedingungen, überhaupt mal eine Vorhersage treffen zu können.

01:24:53 **Speaker 4**

Sie meinen jetzt wieder die Quantenfysik im ganz Allgemeinen oder mein Gebiet im Speziellen?

01:24:58 **Speaker 8**

Nein, das Forschungsgebiet.

01:24:59 **Speaker 4**

Mein Forschungsgebiet?

01:25:01 **Speaker 8**

Sie sehen, jetzt wird es furchtbar gefährlich für mich.

01:25:04 **Speaker 4**

Genau, wir können aber zusammenfinden, wie gesagt, ich habe ja schon gesagt, diese Computereperimente sind wirklich ein neues, wirklich ein Substitut für die Experimente, die wir nicht wirklich bauen können. Aber sie sind dadurch sehr wertvoll. Und wiederum eine gewisse Verlängerung unserer, der Art und Weise, wie wir die Welt verstehen, wo wir dann hoffentlich, also die quasi Computersimulationen ermöglichen mir, aus meinen Theorien, die ich quasi, naja, altmodisch, irgendwie bleistift auf Papier ausdenke, daraus deren Konsequenzen abzuleiten. Und dann kann ich natürlich in der Natur nach den Signalen suchen. Aber die sind so subtil und die sind so schwach, wenn meine Theorie nicht gut genug ist, und das ist sie im Moment noch nicht, man wird keine Erkenntnisse zur ganzen Gravitation bekommen, wenn man einfach, sage ich mal, die Teleskope wahrlos an den Himmel richtet. Man wird ganz spezifisch suchen müssen, nach ganz bestimmten Effekten. Die wir hoffentlich in weniger als 50 Jahren vorhersagen.

01:26:27 **Speaker 8**

Wir könnten heute Abend von 23 Teilnehmerinnen und Teilnehmern spontan ein Referat zur Quantenphysik entgegennehmen. Hätte mich jetzt noch interessiert, ob das männlich -weiblich getrennt, weil das könnte schon auch für Overconfidence sprechen. Aber B, ich habe schon ein paar populärwissenschaftliche Artikel gelesen, das Interesse ist groß, und 11, was sind nochmal Quanten? Ich hoffe, wir konnten da etwas Licht ins Dunkel bringen, sozusagen. Die nächste Frage drehte sich um eine Word -Cloud, die ja so groß ist. Na gut, Heisenberg ist hier noch. Oh, das geht auch kleiner. Gut, also Quantencomputer, Schrödinger, Verschränkung, Heisenberg, verschränkte Teilchen, Verschlüsselung. Katze spielt auch eine gewisse Rolle. Das ist also das, was uns durch den Kopf ging. Und wir wollen zur letzten Frage kommen, nämlich, und vielleicht können wir die auch am Podium kollektiv geben, mit drei Professorinnen und Professoren und einer promovierten Physikerin anwesend und mir. Welche dieser Technologien

01:27:32 **Speaker 8**

basiert auf quantenphysikalischen Prinzipien? Am wenigsten haben auf GPS getippt, am zweitmeisten haben auf den Laser getippt. Quantencomputer, das leitet sich auch vom Wort her ab. Das muss was mit Quanten zu tun haben. Und Kernspintomographie war am zweitmeisten gewählt. Wie sieht es denn aus, Frage an die Professori hier am Podium.

01:27:58 **Speaker 7**

Alle, wenn man beim GPS die Atomuhr zulässt. Ich behaupte immer, ich könnte ein GPS bauen ohne Quanten.

01:28:07 **Speaker 8**

Und auch bei allen Anwendungsfällen ist Quantenphysik inkludiert.

01:28:14 **Speaker 4**

Da ist es am offensichtlichsten. Aber wie gesagt, GPS, da sind wir die Grundlagen der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie. Aber um diese genauen Zeitmessungen zu machen, brauchen wir eine Atomuhr.

01:28:25 **Speaker 8**

Aber da würde mich von der Anwendung des GPS am allermeisten interessieren im Moment. Weil das geht am leichtesten, besonders wenn man Richtung Quantensensorik geht, ist das etwas, wo ich fest dran glaube, dass das eines der ersten Quantensensoren ist, die wirklich in der Consumer - Applikation angekommen werden. Weil du da einfach sehr stark miniaturisieren kannst, wenn man Nitrogen -Vacancy -Sensoren baut. Du bist einfach auf einer sehr kleinen Skala. Du hast ein bisschen Komplikationen noch in Richtung Kommunikationseinheit. Der Leser ist auch so ungeschickt im Integrieren noch. Aber da tut sich wahnsinnig viel. Und wenn ich denke, wie wir die ersten Experimente eh gemeinsam mit der Uni Wien angefangen haben. Der Sensor war ja der ganze Raum. Und mittlerweile sind wir auf so einer 10 x 10 cm Box. Ich meine, zugegeben noch nichts, was ins Handy geht. Aber der Weg ist aufbereitet. Und der Quantensensor, das Quantensystem für diesen Bereich hätte wirklich den Charme. Auf der einen Seite,

01:29:28 **Speaker 8**

wir gehen ins Shoppingcenter rein und wissen genau, wo der Laden ist. Auf der anderen Seite vielleicht die wichtigere Anwendung. Du fährst irgendwo auf einer chinesischen Autobahn in den Tunnel rein. Du hast dann sehr viele Kilometer unterirdisch, sehr viele Ausfahrten. Und das Auto wird hoffentlich wissen, wo es wieder rauskommt. Im Moment weiß es das nicht mit einem herkömmlichen GPS -System. Und das sind, glaube ich, die Möglichkeiten, wo man relativ rasch eigentlich diese Anwendung in der Industrie ankommen sehen wird. Und das ist, glaube ich, eine der Gründe, warum die Europäische Kommission im Chipsekt mit den Quanten -Pilotlinien eigentlich ein entscheidendes Zeichen gesetzt hat. Und ich bin knapp vor meinem Ziel, weil der Abend wunderbar funktioniert. Ich wollte nämlich, Sie haben nämlich bei Silicon Austria Labs vorher den Bereich

Sensorik geleitet, bevor Sie die Geschäftsführung übernommen haben. Also ein angestammtes Thema, würde ich meinen. Und diese Nachbildung von menschlichen

01:30:24 **Speaker 8**

Sinnen, was macht da die Quantenphysik besser als die bisher bekannten Nachbildungen? Frage ich als Tesla -Fahrer, der ab und zu staunt, was der nicht mitkriegt. Na genau.

01:30:39 **Speaker 8**

Die Sensoren sind die Sinnesorgane der Technik. Und eigentlich uns als Anwender ist ja ziemlich egal, was für ein Prinzip dahintersteckt. Die Chance in der Quantentechnologie, und da ist man ein bisschen weiter als in der Gravitationstheorie, in manchen Bereichen, wo man einfach schon sehr stark in Richtung Anwendungsforschung geht, ist einfach, du kannst wesentlich genauer, wesentlich sensibler messen, du kannst wesentlich schneller auch messen und du kannst wesentlich sicherer messen. Weil wenn man sich überlegt, dass Alice und Bob im Geheimen miteinander kommunizieren, wenn man sich überlegt, man kann das ausweiten, dann hat man einfach sehr viele Chancen. Wenn man sich überlegt, man hat verschränkte Teilchen zum Beispiel, und wir überlegen uns, wir fahren im Auto und wollen erkennen, das Kind am Straßenrand, ist jetzt klar, das Lichtteilchen, das ich aussende im Radar, im LIDAR -System, muss bis zum Kind und muss wieder zurück zu mir. Wenn wir an ein Quanten -LIDAR -System denken,

01:31:37 **Speaker 8**

wie weit auch immer das noch weg ist, dann habe ich ein verschränktes Teilchen, das eine Teilchen reißt zum Kind, das andere Teilchen weiß aber, dass da drüben das Kind gestanden ist. Wir sind wieder bei dem Thema wann mäßig, aber da gibt es einfach Möglichkeiten. Es ist nicht so einfach, weil wie schaffe ich es, so viele verschränkte Teilchen auf der Stelle am Chip zu machen. Aber die Möglichkeiten, die wir mit der Quantentechnologie haben werden, in unserem täglichen Leben werden riesig sein. Dafür muss nicht das Quantensystem verstehen, weil jetzt auch viele andere Sensorik -Prinzipien verstehen wir nicht in der Form, die in der Anwendung sind. Aber Möglichkeiten gibt es, glaube ich, in der Anwendung sehr viele und dies nicht nur bei der Europäischen Kommission mit den Pilotlinien, sondern auch sehr stark bei der Industrie bereits angekommen. Und in all meinen Projekten ist ein Industriepartner dabei. Das heißt, obwohl wir uns immer irgendwo an der Grundlagenforschung annähern, die Industrie

01:32:33 **Speaker 8**

hat Interesse daran. Wir müssten langsam zum Ende kommen. Bevor ich allerdings die letzte Frage stelle, auch nochmal das Angebot an Sie. Wenn es Fragen gibt, die Sie noch beim Mikrofon stellen wollten, für all diejenigen, die nicht über den QR -Code stellen wollten, dann würden wir hier bei Ihnen in der Mitte beginnen. Das Mikrofon, das ist ohne Quantentechnologie, aber auf dem Weg zu Ihnen. Wenn Sie bitte kurz aufstehen, Ihren Namen uns nennen und dann Ihre Frage kurz stellen, damit wir möglichst alle dran nehmen können. Bitte schön. Peter Fuchs, studierter Mathematiker, Bibliothekar an der Nationalbibliothek, Fachreferent für MINT -Fächer seit 1990. Mich würde interessieren, nochmal zum Thema der Quantengravitation, ich habe ein paar Fragen, ich hoffe, es wird nicht zu viel. Sie haben gesprochen, dass bei großen Skalen wird es sozusagen ein Desitter - Universum. Wenn ich Sie richtig verstanden habe in Ihrem Vortrag, können Sie ein bisschen präzisieren, was große Skalen für eine Quantengravitationsexpertin

01:33:40 **Speaker 8**

ist? Das wollen wir gleich aufnehmen mit der Chance, dass alle dran kommen.

01:33:46 **Speaker 4**

Exzellente Frage. Die Kürze der Zeit gab mir natürlich nicht die Chance, das genau zu beschreiben, aber was wir sehen können, dieses Messfenster, das ist in der Nähe der Planck -Skala und das ist wirklich im Bereich von 2 bis 20 Plancklängen. Das heißt, wenn ich sage, ich sehe da ein Desitter - Universum, dann bezieht sich das erstmal auf ganz spezielle Eigenschaften, die, sage ich mal, schon so grobkörnig sind, und eine wesentliche Eigenschaft ist einfach das Volumen dieses Quantenuniversums als Funktion der Zeit. Das hat dann auf ganz exakt, wir können das nachmessen, selbst bei den 20 Plancklängen großen Universen hat ganz exakt die Form eines Desitter - Universums. Aber wenn man jetzt da quasi lokal guckt, dann sieht das absolut nicht aus wie ein konstant gekrümmter Raum, sondern das ist immer noch so eine Art Quantensuppe. Aber es sind sehr kleine Skalen.

01:34:52 **Speaker 8**

Die nächste Frage haben wir. Hier war noch eine, genau. Vielen Dank.

01:35:02 **Speaker 3**

Wie ich die Fragestellung gehört, gelesen habe, hat mich ganz was anderes interessiert, als was heute die Diskussion gegeben hat. Und zwar beziehe ich mich auf eine Aufforderung von Zeilinger in einem Interview, die Philosophen mögen sich doch mit der Quantenphysik beschäftigen. Ich bin Psychotherapeutin, ich bin Orientalistin, ich werde Philosophie studieren. Was könnten Sie als

Physiker uns für, also Geisteswissenschaftler für Aufträge geben? Worum soll es uns gehen? Und wie könnten wir ein bisschen eine Vorstellung kriegen, was sagt eigentlich die Quantenphysik über die Realität, über die Existenz, also die Welt und uns eigentlich aus? Das würde mich zumindest ansatzweise, ihr müsst euch ja auch trotzdem Naturwissenschaftler sein Gedanken darüber gemacht haben, und ich will keine spirituellen Aussagen.

01:36:08 **Speaker 7**

Also auch die Frage ist hervorragend. Was sagt uns die Quantenphysik über die Realität, über die Wirklichkeit aus? Nichts. Und das ist genau unser Problem. Wir hatten gerade Heisenberg. Wir sind jetzt im Juni 2025. Im Juni 1925 war da Heisenberg auf Helgoland, um seinen Heuschnupfen auszukurieren, und hat deswegen Zeit gehabt, nachzudenken. Und was er gemacht hat, ist, er hat eigentlich darüber nachgedacht, was 25 Jahre lang die Leute in der Physik beschäftigt hat, nämlich, wie macht man irgendwas Sinnvolles aus dem, was der Planck angefangen hat, der Bohr weitergeführt hat und so weiter. Und es sind alle gescheitert. Niemand konnte, basierend auf der Annahme, dass ihr jetzt zum Beispiel Elektronen habt, die irgendwas tun, eine Theorie hinschreiben, die dann Vorhersagen macht, was wir beobachten. Es ist gescheitert. Der Wurf, dem der Heisenberg gelungen ist, während seiner Heuschnupfen-Attacken auf Helgoland war, zu sagen, was wäre denn, wenn ich schlichtweg mal die Elektronen weglasse.

01:37:22 **Speaker 7**

Ich beschränke mich darauf, nur noch Aussagen darüber zu machen, was wir beobachten können. Und ich mache keine Aussagen mehr darüber, wie die Natur ist. Sondern ich mache jetzt nur noch Aussagen über Observablen, Dinge, die observierbar sind. Und auf einmal konnte man das alles hinschreiben. Innerhalb von drei Monaten war die Quantenmechanik ausformuliert, mit der Hilfe von Born und Jordan. Und allein aufgrund der Tatsache, dass man aufgegeben hat, den Versuch zu hinterfragen, was denn jetzt unsere Beobachtungen letztlich erzeugt. Man musste das Konzept aufgeben, was Renate Roll schon so schön gesagt hat, dass man in der Makrowelt kannte, dass die Erde um die Sonne kreist. Und genauso musste auch das Elektron um das Atom kreisen. Und dann hat man versucht, daraus eine Theorie zu machen. Es ist gescheitert. Das heißt, wir haben heute eine Theorie, die seit 100 Jahren super funktioniert, die seit 100 Jahren uns immer mehr Möglichkeiten gibt, noch bessere Vorhersagen über die Natur zu machen

01:38:31 **Speaker 7**

usw. Die aber beruht auf dem Grundprinzip, dass sie nicht zulässt, Aussagen darüber zu machen, was jetzt eigentlich unsere Messergebnisse produziert. Und das ist ein Riesenproblem für die

Philosophie. Wir können keine, um es jetzt philosophisch zu sagen, wir haben keine zugrunde liegende Ontologie. Was wir haben, ist eine formalisierte Erkenntnistheorie. Wir können nur Aussagen darüber machen, was wir aussagen können über die Natur. Es ist völlig skurril und es ist völlig unverstanden.

01:39:09 **Speaker 8**

Das heißt aber für den Moment, das war ja auch das Gegenangebot, wenn es schon schwierig ist, da drauf zu kommen und wir noch 100 Jahre brauchen, könnten Sie was aus der Philosophie brauchen für den Moment? Unbedingt, ja.

01:39:22 **Speaker 7**

Also letztlich genau diese Fragen müssen beleuchtet werden und vielleicht gibt es ja auch aus denen, also die Hoffnung ist, dass wir neue Ideen bekommen, neue Ansätze, wie können wir eine Welt denken, die derzeit uns nur solche Theorien über die Welt zulassen. Es wird eine Theorie jenseits der Quantentheorie geben. Und die große Frage ist, was werden die großen Ideen sein, die uns dazu führen und das ist völlig unklar. Und ich glaube definitiv, dass hier ein vernünftiges Nachdenken über diese fundamentalen Probleme, die wir bis heute noch im Verständnis der Quantenphysik haben, durchaus einen Lösungsweg geben könnten.

01:40:07 **Speaker 8**

Die letzte Möglichkeit, eine noch bessere Frage zu stellen, haben wir in der vorletzten Reihe in der Mitte und alle Hoffnung ruht auf Ihren Schultern und da müssen wir auch zum Ende der Veranstaltung kommen.

01:40:24 **Speaker 7**

Jetzt wird es auf jeden Fall schwer.

01:40:26 **Speaker 4**

Man muss nur schauen, was mein T-Shirt sagt. Schrödingers Katze spricht. Mein Name ist Desiree Ehlers, ich bin die Ökosystemmanagerin für Quantentechnologie für Österreich und ich habe zwar keine Fragen ans Podium, aber ans Publikum. Ich möchte Sie alle zu unseren Botschafterinnen und Botschaftern machen für dieses Thema. Österreich hat eine verdammt coole Quantencommunity. Wir können unheimlich viel weiterbringen. Bitte gehen Sie hinaus. Ich weiß nicht, selbst Physik studieren oder Mathematik oder sonst irgendwas in der Richtung. Es muss auch nicht sein, ich bin Landschaftsplanerin, darum manage ich das Ökosystem. Gehen Sie hinaus und zeigen Sie, dass Österreich hier etwas weiterbringen kann, dass wir etwas zu bieten haben und dass das einer

unserer Zukunftsfelder ist. Für uns aus Österreich, für uns aus Europa. Please stay entangled. Gehen Sie hinaus und entangeln Sie weiter.

01:41:33 **Speaker 8**

Ein besseres Schlusswort hätten wir hier auch nicht zustande gebracht. Das wäre meine Prognose. Ich mag mich irren, muss aber trotzdem an der Stelle beschließen mit folgendem Hinweis. Wenn Sie nicht gleich rausgehen wollen, um Österreich noch quantenfreundlicher zu gestalten, Sie können das auch hier tun, weil wir im hinteren Teil dieses Saals für Sie mehrere Mitmachstationen aufgebaut haben. Unter anderem, das kennen vielleicht noch einige aus früheren Zeiten, es ist ein Rubik -Cube und ja, es ist richtig, ich habe mir bereits einen gelösten Rubik -Cube geben lassen. Auf Social Media muss man neuerdings solche Rubik -Cubes innerhalb von 20 Sekunden lösen. Ich würde zwei Tage brauchen und so lange möchten Sie mir nicht zuhören, glauben Sie mir das. Deshalb gibt es die Möglichkeit, hinten mit Rubik -Cubes gleichzeitig wissenschaftliche Dinge aus dem Quantenbereich zu lernen und wenn Sie das richtig absolvieren, gibt es auch Preise zu gewinnen. Weil wir es aber nicht mit Gewinnspielen abspeisen

01:42:28 **Speaker 8**

wollen, dann gibt es noch eine weitere Mitmachstation, wo Sie sich den Quantencomputer oder ein Duplikat testen, der am Freitag von Kalifornien aus, Ortszeit Donnerstag Nacht, in Richtung Umlaufbahn in den Orbit gehen wird. Ansehen, können sich erklären lassen, wie das funktioniert, von Menschen, die direkt in der Gruppe tätig sind, die Sie auch teilweise hier im Video gesehen haben und die Ihnen zu allen Auskünften zur Verfügung stehen werden, um Sie für dieses Projekt zu begeistern. Dann ist, wie immer im Rahmen der Semesterfrage, sind auch die Alumni, also eine Alumni -Station der Universität Wien, da ein guter Treffpunkt für alle, die wissen wollen, was an der Alma Mater momentan so passiert. Und ja, ich darf Ihnen noch einen kleinen Vorgeschmack auf die kommende Semesterfrage geben, die zeichnet sich bereits ab und im Wintersemester 25, 26 werden wir uns der Bildung widmen, lernen in einer Welt im Wandel. Eine Welt, die sich rasant verändert. Fragen nach der Zukunft von Schule und

01:43:33 **Speaker 8**

Lernrücken verstärkt in den Fokus KI, Klimawandel, multiple Krisen und all das, was Sie jeden Tag in den Nachrichten hören und in der Zeitung lesen. Wie verändert sich die Rolle von Schule und Bildung in dieser Zeit? Und gibt es zeitlose Grundlagen des Wissens und Lernens, die auch JGPT standhalten? Das wird im nächsten Semester eine der Fragen sein. Inzwischen bleibt mir nur noch Sie zu einem kleinen Umtrunk, wenn die Wissenschaftsstationen nicht ausreichen, in den anderen Teil des Saales

einzuladen. Ich bedanke mich noch einmal beim Bundesministerium für Frauenwissenschaft und Forschung und Martha Brinek und der Universität Wien mit Vizerektorin Manuela Baccarini. Einen großen Applaus am Schluss für unser Podium. Ich bedanke mich bei Euch allen und

01:44:39 **Speaker 8**

Ihnen vielen Dank. Kommen Sie gut nach Hause, auch nach Kanada.