

»Wir verstehen die Mathematik, aber noch nicht, was sie uns sagen will«

»We understand the mathematics, but not what it is trying to tell us«

Forscher versuchen, mit der Stringtheorie die Teilchenwelt zu ergründen

Researchers are using the String Theory to explore the world of particles

Mit den Physikern Jan Plefka und Matthias Staudacher sprach Sabine Sütterlin
*An Interview with the physicians Jan Plefka and Matthias Staudacher
by Sabine Sütterlin*

<http://u.hu-berlin.de/plefka>

<http://u.hu-berlin.de/staudacher>

Die mathematischen Physiker Matthias Staudacher und Jan Plefka erforschen, ob sich die Gravitation mithilfe der Stringtheorie in die Quantenfeldtheorie einpassen lässt. Der überraschende Ansatz: Mit dem richtigen mathematischen Modell lässt sich die Gravitation gleichzeitig mit beiden Theorien beschreiben.

Kann ein Laie verstehen, was Stringtheorie ist?

Plefka: Das Konzept ist einfach zu erklären. Unser normales Weltbild geht von punktförmigen Elementarteilchen aus. Das heißt, weder die Teilchen, die Materie aufbauen, noch die Kraftteilchen, die für die Wechselwirkungen zuständig sind, haben eine Ausdehnung. Die Stringtheorie in ihrer ursprünglichen Formulierung sagt das Gegenteil: Sie besitzen eine Ausdehnung in Form saitenartiger Objekte.

Die Idee hat spannende Konsequenzen: Man stellt fest, dass es neben den bekannten vier Dimensionen von Raum und Zeit sechs zusätzliche geben muss, damit die Stringtheorie mathematisch widerspruchsfrei funktioniert. Zum anderen beschreiben die Strings stets auch die Gravitonen, die sehr spezielle Kraftteilchen sind.

Das wären Teilchen, die Gravitation vermitteln, also das, was wir aus dem Alltag als Schwerkraft kennen?

Plefka: Ob es wirklich gewöhnliche Teilchen sind, wissen wir nicht. Aber um die Gravitation geht es: Die Quantenfeldtheorie kann mit dem Standardmodell der Elementarteilchenphysik drei Naturkräfte beschreiben, nämlich die aus dem Alltag bekannte elektromagnetische Kraft, die starke sowie die schwache Kernkraft, die erst auf subatomarem Niveau wichtig sind. Es ist bislang jedoch nicht gelungen, mit den Methoden der Quantenfeldtheorie auch die Gravitation zu beschreiben.

Staudacher: In diesem Bereich steht das Standardmodell geradezu im Widerspruch zu Einsteins Relativitätstheorie. Diese funktioniert auf kosmischen Skalen sehr gut. Auf kleinen Längenskalen hingegen gibt es Erscheinungen, wo alle vier Kräfte zusammenkommen müssen, zum Beispiel bei der Entstehung von Materie im Urknall oder in der Nähe von schwarzen Löchern. Die Stringtheorie führt die gravitative Kraft mit den anderen Naturkräften zusammen.

Strings sind schwingende Energiefäden, die das Teilchenkonzept ersetzen

Strings are vibrating energy strings that replace the particle concept

Warum strebt man diese Vereinheitlichung an?

Plefka: In der mathematischen Sprache der Quantenfeldtheorie können wir beispielsweise vorhersagen, welche Streuprozesse ablaufen, wenn bei einem Experiment im Teilchenbeschleuniger zwei Teilchen aufeinander geschossen werden. Allerdings können wir das nur, solange die Kopplungskraft zwischen den beiden Teilchen klein ist. Wenn wir aber der Frage nachgehen wollen, wieso ein Proton, das aus Quarks und Gluonen aufgebaut ist, stabil ist – warum also die Materie einen solchen gebundenen Zustand einnimmt –, dann können wir das mit den mathematischen Methoden der Quantenfeldtheorie nicht beantworten, weil die Wechselwirkungen zwischen diesen Teilchen zu stark sind.

Was genau erforschen Sie an der Stringtheorie?

Staudacher: Wir arbeiten an einer anderen, überraschenden Interpretation der Stringtheorie, an dem so genannten AdS/CFT-Prinzip. Es besteht darin, dass sich dasselbe physikalische Phänomen dual beschreiben lässt, das heißt, also mit zwei ganz unterschiedlichen physikalischen Theorien, die obendrein

Aus dem Teilchenzoo

From the world of particles

Im Laufe der Zeit haben Wissenschaftler immer kleinere Grundbausteine unserer Materie entdeckt. Welche Teilchen aber das endgültige Ende darstellen, wissen sie noch nicht.

Over the years scientists have discovered smaller and smaller building blocks of matter. However, as yet, they still do not know which particles represent the final pieces of the puzzle.

Atome / Atoms

Sie bestehen aus Neutronen, Protonen und Elektronen und sind nicht die kleinsten Teilchen der Materie, wie man einst glaubte.

Atoms consist of neutrons, protons and electrons, but are not the smallest particle of matter as was once presumed.

Gluonen / Gluons

Elementarteilchen, die indirekt für die Anziehung von Protonen und Neutronen in einem Atomkern verantwortlich sind.

Gluons are elementary particles which are indirectly responsible for the attraction of protons and neutrons in an atom nucleus.

Hadronen / Hadrons

sind seit der Entdeckung der Quarks keine Elementarteilchen mehr, sie sind aus Quarks oder deren Antiteilchen zusammengesetzt, die bekanntesten Hadronen sind Nukleonen (Neutronen und Protonen) aus denen die Atomkerne aufgebaut sind.

Since the discovery of quarks, hadrons are no longer seen as elementary particles, as they are composed of quarks or their antiparticles. The best known hadrons are nucleons (neutrons and protons) which form the nucleus of atoms.

Large Hadron Collider

ist ein Teilchenbeschleuniger am Europäischen Kernforschungszentrum Cern bei Genf. Hier prallen Teilchen mit hoher Energie aufeinander, Physiker interessieren die dabei entstehenden neuen Teilchen.

The LHC is a particle accelerator housed at the European Centre for Nuclear Research CERN in Geneva. The instrument enables scientists to smash particles together at extremely high speeds. Physicists are particularly interested in the resulting new particles.

Quarks

Elementarteilchen, die Bestandteile von Protonen und Neutronen sind, es gibt zwölf unterschiedliche, sechs reguläre und sechs Anti-quarks

Quarks are the principle components of protons and neutrons. There are twelve different quarks: six regular quarks and six anti-quarks.

Strings

genaugenommen sind sie gar keine Teilchen, sondern schwingende Energiefäden, die das Teilchenkonzept ersetzen. Ihre Existenz ist im Gegensatz zu den oben genannten Elementarteilchen aber noch nicht erwiesen.

To be precise, strings are not particles but vibrating energy strings that replace the particle concept. However, in contrast to the aforementioned elementary particles, their existence has yet to be confirmed.

auch noch in verschiedenen Dimensionen spielen. Diese Dualität hat Juan Maldacena 1997 entdeckt. Es war aber lange nicht klar, ob das nur ungefähr oder genau stimmt.

Wir haben eine Methode entwickelt, mit der sich zeigen lässt, dass es sich bei beiden Standpunkten – Strings und Teilchen – um exakt dasselbe Phänomen handelt. Wir haben erst einmal ein idealisiertes zehndimensionales System angeschaut, das so sicher nicht in der Natur vorkommt, aber nahe an der Realität ist und eben diese Dualität besitzt. Das System ist exakt lösbar. Damit ist bewiesen, dass es sich einerseits stringtheoretisch beschreiben lässt, andererseits aber auch mit der Quantenfeldtheorie. Dieses wunderschöne System nehmen wir als Prototyp, um uns der Realität zu nähern.

Plefka: Was Matthias Staudacher und ich machen, ist sozusagen eine Verschärfung, eine exakte Überprüfung dessen, was Maldacena vorgeschlagen hat. Wir können mathematisch sagen, dass es aufgeht. Aber wir würden jetzt gerne ein gutes Bild dafür entwickeln, warum es funktioniert, also wie die Teilchen Strings werden und umgekehrt.

Staudacher: Wir verstehen die Mathematik, aber noch nicht, was sie uns sagen will. Wir überprüfen das an bestimmten Größen, die man ausrechnen kann, jeweils in beiden Beschreibungen. Es gelingt uns zusehends, das auf beiden Seiten exakt zu lösen.

Wie kann man sich mehr als drei Raumdimensionen vorstellen?

Plefka: Wir beobachten eine Welt, die eine Zeit- und drei Raumdimensionen hat. Stellen wir uns zwei Elementarteilchen vor, zum Beispiel Quarks, die über die starke Kraft miteinander verbunden sind. Diese Kraft wird in unserer Theorie über einen String vermittelt, also eine »Saite«, die in eine höhere Dimension hineinhängt. Wenn ich die Teilchen nun auseinanderziehe, spüre ich eine Art Gummiband, das sich in eine höhere Dimension erstreckt. Dualität bedeutet dann, dass jedes Elementarteilchen unserer Welt den Endpunkt eines Strings darstellt.

Staudacher: Man kann sich die zusätzlichen Dimensionen vielleicht als eine Art Schattenspiel vorstellen. Wir sehen die Schatten auf dem Schirm, aber nicht die Hände und die Lichtquelle, die das Bild auf den Schirm werfen. Diese unsichtbare Welt müssen wir uns mittels mathematischer Methoden erschließen.

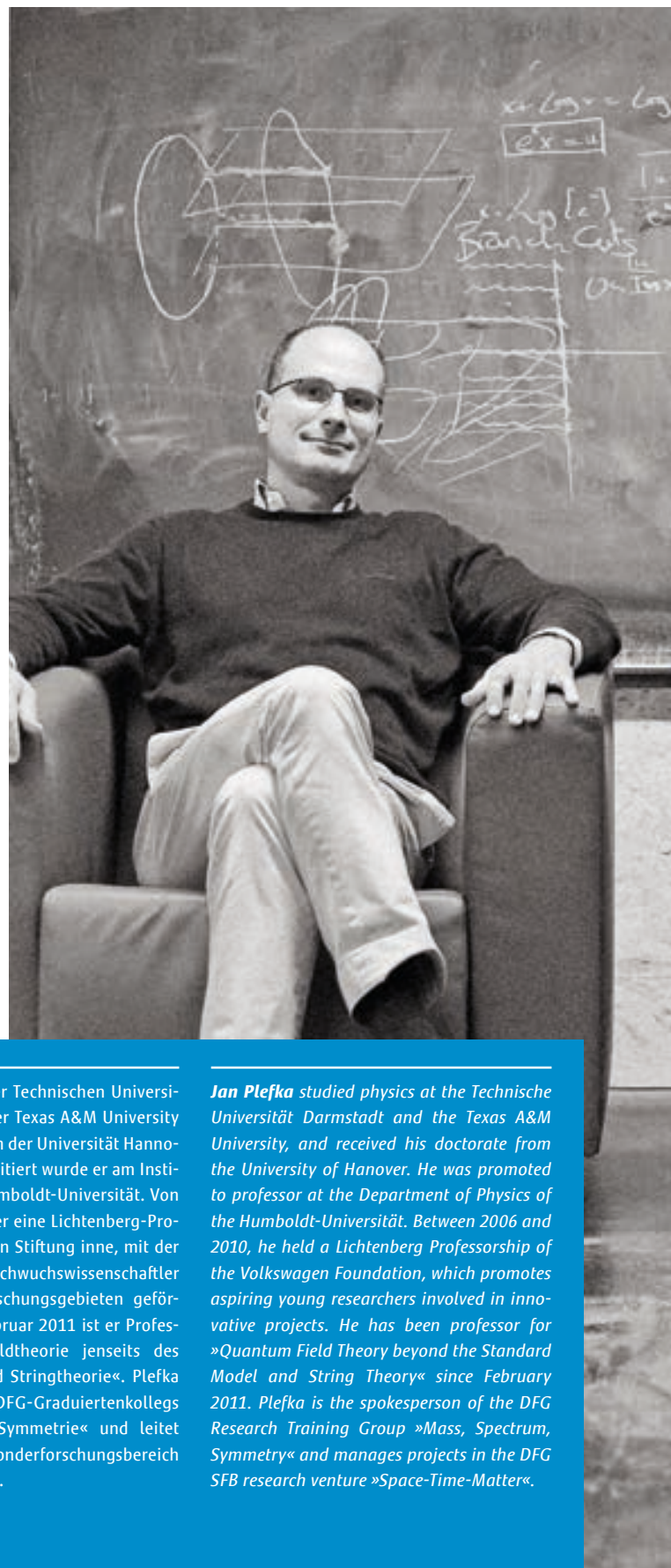
Sie sprachen aber von sechs zusätzlichen Dimensionen. Wie geht das?

Staudacher: An jedem Punkt eines fünfdimensionalen Raumes könnte beispielsweise eine fünfdimensionale Kugel befestigt sein, dann haben wir die zehn Dimensionen, in denen sich die Stringtheorie abspielt.

Man kann nun auch den Standpunkt einnehmen, dass Strings eindimensionale Strukturen sind, die sich in der Zeit bewegen und damit eine Fläche aufspannen. Das heißt, man kann unsere Welt in diesem Bild auch zweidimensional beschreiben. Wir können also ein und dasselbe physikalische Objekt in einer zwei-, vier- und zehndimensionalen Sprache beschreiben. Dieses Spiel der Dimensionen ist ein Faszinosum unter Forschern.

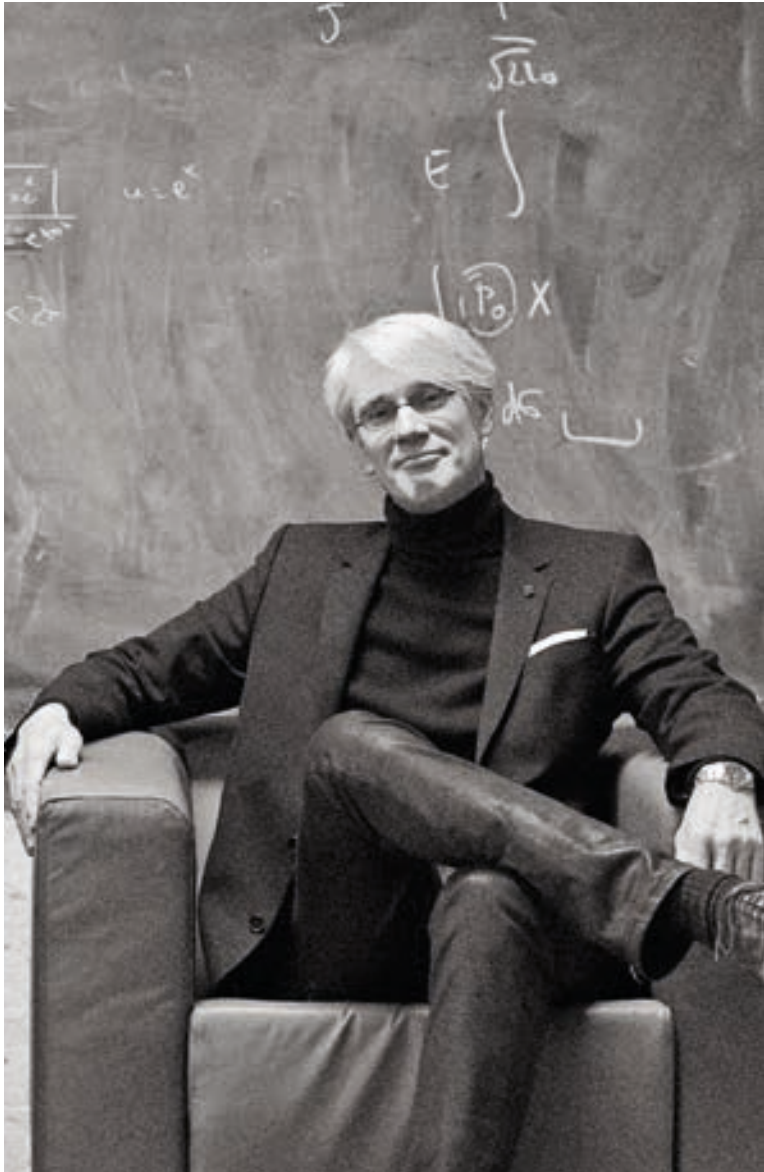
Was genau tun Sie, wenn Sie forschen?

Staudacher: (lacht und deutet auf die mit Formeln vollgeschriebene Wandtafel hinter sich) Forschung im Bereich der theoretischen Physik ist immer noch eine Domäne, die primär analytisch funktioniert. Das meiste passiert mit Papier und Bleistift oder an der Wandtafel. Wichtig ist die Diskussion untereinander, der Austausch, um zu neuen Ideen zu kommen. Und idealerweise sehr viel Zeit und Ruhe.



Jan Plefka hat an der Technischen Universität Darmstadt und der Texas A&M University Physik studiert und an der Universität Hannover promoviert. Habilitiert wurde er am Institut für Physik der Humboldt-Universität. Von 2006 bis 2010 hatte er eine Lichtenberg-Professur der Volkswagen Stiftung inne, mit der herausragende Nachwuchswissenschaftler auf innovativen Forschungsgebieten gefördert werden. Seit Februar 2011 ist er Professor für »Quantenfeldtheorie jenseits des Standardmodells und Stringtheorie«. Plefka ist Sprecher des DFG-Graduiertenkollegs »Masse, Spektrum, Symmetrie« und leitet Projekte im DFG-Sonderforschungsbereich »Raum-Zeit-Materie«.

Jan Plefka studied physics at the Technische Universität Darmstadt and the Texas A&M University, and received his doctorate from the University of Hanover. He was promoted to professor at the Department of Physics of the Humboldt-Universität. Between 2006 and 2010, he held a Lichtenberg Professorship of the Volkswagen Foundation, which promotes aspiring young researchers involved in innovative projects. He has been professor for »Quantum Field Theory beyond the Standard Model and String Theory« since February 2011. Plefka is the spokesperson of the DFG Research Training Group »Mass, Spectrum, Symmetry« and manages projects in the DFG SFB research venture »Space-Time-Matter«.



Matthias Staudacher ist seit 2010 Professor für Mathematische Physik von Raum, Zeit und Materie an den Instituten für Physik und Mathematik an der Humboldt-Universität zu Berlin. Er studierte Physik an den Universitäten Heidelberg und München (LMU) sowie an der University of Illinois in Urbana-Champaign, wo er 1990 über Matrixmodelle der zweidimensionalen Quantengravitation promovierte. Von 1997 bis 2010 arbeitete er als Forschungsgruppenleiter in der Abteilung Quantengravitation und Vereinheitlichte Theorien am Potsdamer Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik. Für seine herausragenden wissenschaftlichen Leistungen wurde er 2009 mit dem Akademiepreis der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ausgezeichnet.

Seine Forschungsschwerpunkte sind: Quantenfeldtheorie, Yang-Mills Theorien, Stringtheorie, String-Eich-Dualitäten, Integrierte Modelle, Matrixmodelle

Matthias Staudacher has been Professor for Mathematical Physics of Space, Time and Matter at the Department of Physics and the Department of Mathematics of the Humboldt-Universität zu Berlin since 2010. He studied physics at Heidelberg University, at LMU Munich and at the University of Illinois at Urbana-Champaign, where, in 1990, he received his doctorate for his thesis on Matrix Models of Two-Dimensional Quantum Gravity. Between 1997 and 2010, he worked as a research group leader at the Department of Quantum Gravity and Unified Theories of the Max Planck Institute for Gravitational Physics in Potsdam. In 2009, he was awarded the Academy Award of the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities for his outstanding scientific achievements.

His main areas of research include: Quantum Field Theory, Yang-Mills Theories, String Theory, Gauge/String Duality, Integrable Models, Matrix Models.

The mathematical physicists Matthias Staudacher and Jan Plefka are researching whether the String Theory can help gravity fit into the Quantum Field Theory framework. The surprising approach: with the right mathematical model it is possible to describe gravity simultaneously with both theories.

Can a layperson really understand the String Theory?

Plefka: The concept is quite easy to explain. Ordinarily, elementary particles are pictured as a point. In other words, neither the fundamental particles, upon which the structure of matter is based, nor the force particles, which are responsible for mediating interactions, vibrate. The fundamental premise of the String Theory, however, states exactly the opposite: that they display the vibrations of a string-like object.

The idea has exciting implications: it is obvious that in addition to the four known dimensions of space and time there must be an additional six, otherwise the String Theory would not be mathematically consistent. Furthermore, the strings also describe the gravitons, which are very special force particles.

Are these the particles which mediate gravitational interaction, generally referred to as gravity?

Plefka: We do not know whether they are ordinary particles. But it is to do with gravity: as a consequence of the Standard Model of Elementary Particle Physics, the Quantum Field Theory can describe three natural physical forces, the well-known electromagnetic force, as well as the strong and weak nuclear force, which are only important at subatomic level. However, it has not yet been possible to describe gravitation with Quantum Field Theory methods.

»Wir haben eine Methode entwickelt, mit der sich zeigen lässt, dass es sich bei beiden Standpunkten – Strings und Teilchen – um exakt dasselbe Phänomen handelt«

»We have developed a method which allows us to show that both positions – strings and particles – are exactly the same phenomena«

Staudacher: In this field, the Standard Model is actually a contradiction of Einstein's Theory of Relativity, which functions wonderfully on cosmic scales. But on short length scales there are phenomena where all four forces must be unified, for instance the creation of matter during the Big Bang or in the vicinity of black holes. The String Theory unifies gravitational force and the other natural forces.

Why is this unification desired?

Plefka: In the mathematical language of the Quantum Field Theory, we can, for example, predict which scattering processes occur when two particles are smashed together at high speeds during an experiment in a particle accelerator. However, this is only possible when the coupling force between the two particles is low. If we consider the question of why a proton, consisting of quarks and gluons, is stable – in other words, why matter assumes such a bound state -, we are unable to answer it with the mathematical methods of the Quantum Field Theory, as the interactions between these particles are too great.

What exactly does your String Theory research entail?

Staudacher: We are working on a different, surprising interpretation of the String Theory, on the so-called AdS/CFT principle. It involves dual description of the same physical phenomena; in other words, with two completely different physical theories, which, on top of everything, are actually part of different dimensions. This duality was first proposed by Juan Maldacena in 1997. For a long time it was unclear whether

it was just approximate or precise.

We have developed a method which allows us to show that both positions – strings and particles – are exactly the same phenomena. We initially took an idealised ten dimensional system that does not actually occur in nature, but which is fairly close to reality and boasts this duality. The system is precisely soluble. This proves that it can be described with both the String Theory and the Quantum Field Theory. We use this wonderful system as a prototype in a bid to get closer to reality.

Plefka: What we are doing is basically an in-depth exploration of what Maldacena proposed. Mathematically speaking we can say it is possible, but we would now also like to illustrate why it is possible, meaning how the particles become strings and vice versa.

Staudacher: We understand the mathematics, but not what it is trying to tell us. We are testing it on specific parameters that can be calculated in both descriptions. It is becoming increasingly possible to achieve this exactly on both sides.

How is it possible to imagine more than three spatial dimensions?

Plefka: We view a world that has one time and three spatial dimensions. Let us imagine two elementary particles, for example quarks, which are connected by a strong force. In our theory, this force is mediated via a string which hangs in a higher dimension. If I pull the particles apart, it feels like an elastic band that is being stretched into a higher dimension. In this case, duality means that every elementary particle in our world represents the end position of a string.

Staudacher: Maybe you can imagine the additional dimensions as a type of shadow play. We see the shadows on the screen, but not the hands and the light source that project the image onto the screen. We have to use mathematical methods to open up this invisible world.

You mentioned six additional dimensions. How is that possible?

Staudacher: A five dimensional sphere could be attached to each point of a five dimensional space, resulting in ten dimensions in which the String Theory occurs.

You can also adopt the point of view that strings are one dimensional structures which move in time, thus spanning an area. That is to say, you can also describe our world in this picture as being two dimensional. We can therefore describe the same physical object in a two, four and ten dimensional language. This game of dimensions really enthral researchers.

»Die Stringtheorie führt die gravitative Kraft mit den anderen Naturkräften zusammen«

»The String Theory unifies gravitational force and the other natural forces«

What do you do exactly when you are researching?

Staudacher: (laughs and gestures to the board full of formulas behind him) Research in the field of theoretical physics is still a domain with primarily analytical goals. Most of the work takes place with a pencil and paper or on the good old board. It is important to discuss issues with others in order to get new ideas. Ideally, there should be sufficient time and as few distractions as possible.

