



## »Was hat Sie in letzter Zeit besonders berührt,... »What last moved you emotionally, ...Metin Tolan?«

Wir meinten, mit den so brauchbar formulierten Naturgesetze wäre die Welt begriffen. Wer braucht noch Gott? Jetzt bringt die moderne Quantenphysik unser Weltbild ins Wanken: Gibt es überhaupt kleinste Teilchen? Und wenn ja, dann können sich anscheinend zwei davon auch noch in großer Entfernung miteinander verständigen. Kann man den Naturgesetzen überhaupt vertrauen? Ein Gespräch mit dem Physiker Prof. Metin Tolan über Wellen und Wahrscheinlichkeitswolken.

**BerührungspUNKTE:** Quanten sind die kleinsten Teilchen. Woraus besteht unsere Welt denn eigentlich?

**Tolan:** Ein Elektron malt man als kleine Kugel, als Teilchen. Es verhält sich aber auch wie eine Welle.

**BerührungspUNKTE:** Da geht es ja schon los, dass man sich nicht mal mehr auf die Materie verlassen kann.

**Tolan:** Mit Materie meinen Sie ...??

**BerührungspUNKTE:** Äh, kleinste Bauteile? Das wäre doch Materie, oder?

**Tolan:** Unter Teilchen verstehe ich irgendetwas wie einen Tennisball, das ist ein Teilchen. Unter einer Welle verstehe ich normalerweise etwas anderes, z.B. Licht, Radio, Röntgen, Gammastrahlen. Nun sagt uns aber die Quantentheorie, dass sich der Ball wie eine Welle verhält und das Licht verhält sich wie viele, viele kleine Teilchen - die Photonen, von denen man vielleicht schon gehört hat. Licht ist aber auch eine Welle. Es ist einfach beides.

**BerührungspUNKTE:** Dieser Tisch hier, ist der jetzt Teilchen und Welle?

**Tolan:** Der Tisch hier ist eindeutig ein Teilchen und keine Welle. Er ist ein großes Objekt. Elektronen sind aber kleine Objekte. Aber wie jetzt der Übergang

*We had thought that with the so useably formulated laws of nature, the world would be understood. Who still needs God? But now modern quantum physics brings upheaval into our picture of the world. Do elementary particles actually exist? And if they do, then two of them can apparently still communicate with each other at great distance. A discussion with the physicist Prof. Metin Tolan about waves and probability fields.*

**POINTS of Contact:** *Quanta are the smallest particles. What then is our world actually made of?*

**Tolan:** *An electron is depicted as a little sphere, as a particle. It behaves, however, like a wave.*

**POINTS of Contact:** *There it goes already, you can't even rely on matter anymore.*

**Tolan:** *What do you mean by matter...??*

**POINTS of Contact:** *Erm, the smallest building blocks? That would be matter, wouldn't it?*

**Tolan:** *By particle, I understand something like a tennis ball, that's a particle. By a wave, I usually understand something different, for example, light, radio, x-rays, gamma-radiation. However, quantum theory states that the ball behaves like a wave and that light behaves like many, many small particles - photons - of which you've perhaps already heard. Light is, however, also a wave. It is simply both.*

**POINTS of Contact:** *This table here, is it now a particle and a wave?*

**Tolan:** *The table is definitely a particle and not a wave. It's a large object. Electrons however are small objects. But how the transition to our macroscop-*



zu machen ist in unsere makroskopische Welt, ist nicht genau geklärt. Was uns daran hindert, das zu verstehen, ist unsere Alltagserfahrung. Die wird hier völlig außer Kraft gesetzt. Wir können es nicht riechen, nicht schmecken, nicht sehen, wir können uns überhaupt kein Bild davon machen. Warum sollte die Natur auch so sein, dass wir sie in unserem Hirn abbilden können?

**BerührungspUNKTE:** Und so versuchen Sie, Naturgesetze zu formulieren...

**Tolan:** Ja, aufgrund unseres Erfahrungsschatzes. Sagen wir mal, unsere Erfahrung betrifft einen Raum von einigen Metern. Warum sollten Naturgesetze, die ich für dieses Spektrum feststellen kann, warum sollten die noch im Bereich der Atome gelten?

**BerührungspUNKTE:** Warum haben Sie mit Physik angefangen?

**Tolan:** Ich habe mich immer für Mathematik interessiert. Mathematik ist ja völlig frei von Anwendungen! Man kann darüber philosophieren, ob sie nur gilt, weil wir sie uns einbilden. Aber: Ein bewiesener mathematischer Lehrsatz gilt IMMER. Der gilt auch dann noch, wenn es die Erde nicht mehr geben sollte. Es gibt zum Beispiel unendlich viele Primzahlen. Da kann jetzt nicht einer kommen und sagen, nee, es gibt doch nur soundsoviele Primzahlen. Das ist schon attraktiv. Nur wurde es irgendwann doch zu abstrakt, dann schwenkte ich um auf Physik, das ist anfassbarer. Es beantwortet auch die Fragen, die man hat. Wie funktioniert die Welt in ihrem Inneren?

**BerührungspUNKTE:** Mit der Quantentheorie kam ja auch der Zufall ins Spiel.

**Tolan:** Ja und nein. Das Elektron beispielsweise, das sich um einen Atomkern bewegt, hat in der klassischen Theorie einen konkreten Ort. Wenn sie alle Anziehungskräfte kennen, können Sie diesen Ort berechnen. In der Quantentheorie können sie das nicht, da ist das gewissermaßen eine Wahrscheinlichkeitswolke. Das hieße in unserer Welt, wir beide befinden uns zwar hier an diesem Tisch, aber es besteht noch eine Chance von zwei Prozent, dass einer von uns in seinem Büro sitzt. Dabei sieht man ja: Wir sind hier. Das wäre die klassische Mechanik.

**BerührungspUNKTE:** Und dass es nur einen wahrscheinlichen Wert gibt, liegt daran, dass wir das Teilchen nicht sehen können? Wir können also nur einen Teil der Naturgesetze begreifen?

*ic world is to be made has not been explained precisely. What prevents us from understanding this is our everyday experience. This is rescinded completely here. We can't smell it, taste it, see it, we can't form any kind of picture of it. And why should nature be such that we can portray it in our brains?*

**POINTS of Contact:** *And that's how you try and formulate laws of nature...*

**Tolan:** *Yes, on the basis of our store of experiences. Let's say, our experience concerns a space of some few meters. Why should laws of nature which I deduce for this space, why should they still apply in the realm of atoms?*

**POINTS of Contact:** *Why did you become involved in physics?*

**Tolan:** *I've always been interested in mathematics. Mathematics is completely free of applications! You can philosophize about whether they only apply because we imagine it to be so. But, a proven mathematical precept ALWAYS applies. It still applies even if the earth is no more. For example, there are an infinite number of prime numbers. No-one can come along and say, "nope, there are only so many prime numbers". That's appealing. But somewhere*

*along the line it became too abstract, then I switched over to physics, it's more tangible. It also answers the important questions. How does the world work?*

**POINTS of Contact:** *Quantum theory also brought chance into play.*

**Tolan:** *Yes and no. The electron, for example, which moves around the nucleus of an atom, has a concrete position in classical theory. If all the forces acting are known, you can calculate this position. In quantum theory, you can't, there, it is, to a certain extent, a probability field. That would mean in our world, we are both here at this table, but there's still a two percent chance that one of us is sitting in his office. But you can see, we are here. That would be classical mechanics.*

**POINTS of Contact:** *And there's only probable value because we can't see the particle? We can only understand a part of the laws of nature?*

**Tolan:** *New natural laws have been added. Classical mechanics was also very successful, machines work... But to be able to describe the situation at the atomic level, you have to find a new set of laws. This also applies at the level of the cosmos. Einstein's laws show how time is distorted, classical mechanics included. But only when I move extremely quickly, do I need the theory of rel-*

Muss die Natur  
so sein, dass  
unser Hirn  
sie begreifen  
kann?

Does nature  
have to be  
such that our  
brains can  
comprehend it?



**Tolan:** Zu den alten Naturgesetzen sind neue dazu gekommen. Die klassische Mechanik war ja auch sehr erfolgreich, alle Maschinen funktionierten... Aber um die Zustände im atomaren Maßstab zu beschreiben, musste man neue Gesetze finden. Im Großen, im Kosmos gilt das auch. Die Einsteinschen Gesetze zeigen, wie Zeit gekrümmt ist, inklusive der klassischen Mechanik. Also nur, wenn ich mich besonders schnell bewege, brauche ich die Relativitätstheorie. Das Navigationssystem in meinem Auto z.B. funktioniert so perfekt aufgrund der allgemeinen Relativitätstheorie. Wer hätte das damals gedacht, dass so eine abgefahrene Theorie zu irgendwas gut sein kann?

**BerührungspUNKTE:** Der Physiker Anton Zeidlinger hat jetzt die Teleportation, also das Beamten von Photonen bewiesen. Auch ganz schön abgefahren.

**Tolan:** Es geht darum, dass Teilchen über größere Entfernungen voneinander wissen, was sie tun. Da stellt sich sofort die Frage: Wie machen die das? Die Berechnungen stimmen alle, aber WIE das jetzt genau funktioniert, weiß kein Mensch. Und: Erst in dem Moment, wo ich drauf gucke, sehe ich, was los ist. Das Phänomen taucht nur dann auf, wenn sie messen. Ansonsten ist das Objekt in einem Zustand, der alle Möglichkeiten offen lässt. Ich glaube, wir sind immer noch in der Phase des Nachguckens bei der Quantentheorie und kommen jetzt in Bereiche, wo es echt eng wird. Wo wir den Studenten nicht mehr erklären können, wie es genau ist. Es geht darum, das sogenannte Standard-Modell bis zum Ende durchzutesten. Und ein Teilchen, das man da haben möchte, das scheint sich immer noch zu zieren. Nun könnte es sein, dass es dieses Teilchen vielleicht gar nicht gibt. Das würde aber bedeuten, dass man die Theorie mit dem Atomkern sehr stark verändern muss.

**BerührungspUNKTE:** Was hat Sie in letzter Zeit besonders berührt?

**Tolan:** Tja, gerade aktuell hat sich ein Student in der Physik das Leben genommen, einer der besten. Und ich weiß, dass unsere Anforderungen sehr hoch sind. Da stellt sich schon die Frage, ob die vielleicht zu hoch sind.

Ein Teilchen weiß, was das andere tut und macht es exakt genauso.

A particle knows what the other is doing and does exactly the same.



activity. The navigation system in my car, for example, works so perfectly because of the general theory of relativity. Who would have thought in those days, that such a far-out theory would be good for something?

**POINTS of Contact:** The physicist Anton Ziedlinger has demonstrated teleportation, i.e. the beaming of photons. Also pretty damn far-out.

**Tolan:** It's all about the fact that particles at great distance from one another know what the other is doing. This immediately raises the question, how do they do this? The calculations are all correct, but HOW exactly that works, no-one knows. And, it's only when I actually look at it, that I see what's going on. The phenomenon only occurs when you make measurements. Otherwise the object is in a state where all possibilities remain open. I think we're still at the looking stage in quantum theory, and we're now coming to areas where it's going to get very tight. Where we'll no longer be able to explain to the students exactly what's going on. It's all about testing the so-called standard model to destruction. And a particle, that you might have this - that still seems to be appealing. Now it may be that this particle simply doesn't exist. That would mean, however, that the theory of the atomic nucleus would have to be substantially revised.

**POINTS of Contact:** What last moved you emotionally?

**Tolan:** Yeah. One of our physics students killed himself, just recently, one of the best. And I know that we make very high demands on our students. It raises the question of whether they might be too high.

Interview: Beate Schwedler  
Photos: Dietmar Harwardt

Interview: Beate Schwedler; Fotos: Dietmar Harwardt