



Verleihung des Alfred Krupp-Förderpreises für junge Hochschullehrer 2019 an

Herrn Professor Dr. Christian Groß,  
Eberhard Karls Universität Tübingen

Dienstag, 12. November 2019  
Villa Hügel, Essen

Ansprache von  
Professor Dr. Christian Groß

Es gilt das gesprochene Wort!

Sehr geehrte Gäste,  
sehr geehrte Frau Prof. Gather,  
sehr geehrte Frau Ministerin Pfeiffer-Poensgen,

Ich freue mich sehr über diese große Auszeichnung und möchte mich hierfür ganz herzlich bei allen Beteiligten, insbesondere dem Auswahlkomitee, meinen vorschlagenden Gutachtern und natürlich Ihnen Frau Gather stellvertretend für die Alfred Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung bedanken.

Vielen, vielen Dank auch dir lieber Markus für die tolle Laudatio!



Einen solchen Preis gewinnt man heutzutage eigentlich im Team und ich hatte in der Vergangenheit das Glück immer mit hervorragenden Kollegen und Studenten zusammenzuarbeiten. Der Aspekt der Teamarbeit gilt insbesondere in meiner Forschung, die im Detail sehr von der erfolgreichen Entwicklung und Kontrolle extrem komplexer experimenteller Aufbauten abhängt und diese Leistung ist nur im gut funktionierenden Team zu erbringen. Daher geht hier auch ein ganz großer Dank an meine Teams aus Garching.

Auch privat ist gute Teamarbeit gefragt, denn erfolgreiche Forschung erfordert deutlich mehr Einsatz als eine Standard 40h Woche. Daher ein großer Dank an meine Familie für deren Unterstützung und ganz besonders an meine Frau Eva, die heute leider nicht dabei sein kann da Felix, unser Kleinster eine Erkältung erwischt hat.

Ich möchte Ihnen in den nächsten 10 Minuten einen Eindruck in meine Forschung geben und versuchen deutlich zu machen was mich an meiner Forschung besonders begeistert. Gegen Ende werde ich auch auf meine Pläne für die Zukunft eingehen.

Was wir im Labor tun, man ganz passend als „Quantenlego“ bezeichnen, wobei unsere Legosteine ziemlich klein sind, nämlich einzelne Atome, die wir versuchen perfekt zu kontrollieren und zu einem komplexen Quanten-Vielteilchensystem zusammensetzen, was auf dem gezeigten Bild künstlerisch dargestellt ist. Hierbei ist ein ganz wichtiger Aspekt die Entwicklung der geeigneten „Werkzeuge“, das heißt Techniken, die eine perfekte Kontrolle und die genaueste Beobachtung unserer atomaren Systeme überhaupt erst erlauben.

Warum will man nun überhaupt komplexe Quantensysteme mit erheblichem Aufwand im Labor zuerst zusammensetzen und dann untersuchen? Nun der Grund liegt in der Komplexität der Quantenmechanik vieler Teilchen. Während die Quantentheorie einiger weniger Teilchen perfekt verstanden ist, gibt uns das Zusammenspiel vieler Quantenteilchen häufig unlösbare Rätsel auf. Die Kenntnis der Natur im Kleinsten reicht hier also nicht aus um die Eigenschaften makroskopischer Ensembles zu beschreiben, ganz einfach, weil die Komplexität des Problems „explodiert“.



Unser Ziel ist es, solche komplizierten Systeme im Labor perfekt kontrolliert nachzustellen und durch deren Untersuchung neue Einblicke in die Vielteilchenphysik zu bekommen. Damit realisieren wir so genannte „Quantensimulatoren“. Ich will Ihnen das Konzept der Quantensimulation kurz erläutern:

#### Die Idee der Quantensimulation

Wir beginnen mit einem komplizierten Vielteilchensystem, z.B. einem Hochtemperatur Supraleiter aus der Festkörperphysik. Der erste Schritt ist nun ein stark reduziertes mathematisches Modell zu entwickeln, welches im Allgemeinen leider nicht lösbar ist. Hier kommt der Quantensimulator ins Spiel, der es erlaubt genau dieses mathematische Modell in einem Laborsystem zu realisieren. Dieses Laborsystem, bei uns ultrakalte Atome im optischen Gitter, erlaubt es nun die Eigenschaften des Modellsystems hoch-präzise zu messen. Als letzter Schritt folgen nun Rückschlüsse auf das Originalsystem. Man kann sich nun auch eine Verfeinerung des Modells vorstellen, so dass man diesen Zyklus mehrmals durchläuft und ein immer besseres Verständnis für das Ausgangsproblem entwickelt.

In der Zukunft hoffen wir sehr flexible Quantensimulatoren entwickeln zu können, so dass man diese Kette auch zur Vorhersage von Eigenschaften von Designer-Materialien verwenden kann. Man startet in diesem Fall also mit dem Modell, wiederholt so lange bis man die geeigneten Eigenschaften gefunden hat und synthetisiert dann ein entsprechendes echtes Material.

#### Ultrakalte Atome und deren Detektion

Zentral ist hier den Quantensimulator möglichst perfekt zu beherrschen – also perfekt Quanten-Lego zu spielen. Der erste Schritt zum atomaren Quantensimulator ist die Gase abzukühlen. Und zwar nicht nur ein wenig, sondern bis nahe an den absoluten Nullpunkt, also  $-273$  Grad Celsius, wo die Atome im Gas praktisch zum Stillstand kommen. Anstatt mit  $1000\text{km/h}$ , wie bei Raumtemperatur, bewegen Sie sich nur noch mit  $1\text{mm/s}$ . Das ist genau der Bereich, in dem die Atome bemerken, dass sie nicht alleine in der Quantenwelt leben, sondern zusammen mit allen anderen so langsamen Atomen formen sie z.B. einen einzigen makroskopisch großen Quantenzustand.



Nun geht es darum diese extrem langsamen Atome am besten Atom-für-Atom zu beobachten. Hierzu haben wir am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching in der Gruppe von Immanuel Bloch sogenannte Quantengasmikroskope entwickelt.

Mit solchen Apparaturen – wie man sieht sehr komplexen Aufbauten bestehend aus hunderten optischen und elektronischen Komponenten – können wir nun tatsächlich einzelne Atome in einem künstlichen Kristall aus Licht fangen und jedes einzelne Atom auf einem Foto auflösen. Der künstliche Kristall entsteht durch Interferenz von Laserlicht und hat einen typischen Abstand der einzelnen Plätze von ca. einem Mikrometer – das ist etwa 100 Mal dünner als unser Haar.

Hier ist ein typisches Bild einzelner Atome im optischen Kristall zu sehen. Jeder rote „Blob“ entspricht einem Atom. Die Atome bewegen sich nun in diesem Kristall ganz analog zu Elektronen im Festkörper, mit dem Unterschied, dass die typischen Abstände im Festkörper ca. 10.000 Mal kleiner und damit optisch nicht auflösbar sind.

Warum ist dies nun ein interessanter Quantensimulator für Probleme aus der Festkörperphysik? Dies liegt daran, dass die Eigenschaften von Materialien, zum Beispiel deren Fähigkeit Strom zu leiten, zum Großteil durch das quantenmechanische Zusammenspiel der Elektronen in diesem bestimmt werden. Und diese Elektronen entsprechen im Simulator genau unseren Atomen die wir eins-zu-eins sehen.

## Kontrolle

Doch es sind nicht nur solche neuen Beobachtungsmöglichkeiten, die unsere Systeme auszeichnen. Wir haben auch Techniken entwickelt um einzelne Atome zu kontrollieren. Dies funktioniert über die präzise räumliche Kontrolle von Lichtfeldern, die uns als Werkzeug dienen um einzelne Atome anzusprechen. Das Licht dient also als mikroskopische Pinzette für einzelne Atome.

## Lichtfelder und atomare Kontrolle

Wie hier schematisch gezeigt, verwenden wir unser Mikroskop praktisch rückwärts um die Lichtfelder auf die Atome zu fokussieren.

Wir können so zum Beispiel Atome auf einzelne Gitterplätze setzen.

Hier ist ein Beispiel gezeigt, in dem wir – natürlich nur aus Spaß am Spiel mit unseren atomaren Legosteinen – einen atomaren Pacman gebaut haben.



Diese Techniken haben sich in den letzten Jahren tatsächlich als extrem vielseitig erwiesen um damit Vielteilchen-Quantenmechanik zu untersuchen. Zum Beispiel konnten wir in einer Reihe von Experimenten zeigen, dass die Leitfähigkeit eines Vielteilchensystems trotz starker Wechselwirkung der Teilchen untereinander auf null sinken kann, sich also ein perfekter Isolator bildet, wenn man nur genug Unordnung ins System bringt. Dies ist ein Beispiel für ein Problem der Vielteilchen Quantendynamik, an dessen Simulation sich selbst die schnellsten Supercomputer der Welt die Zähne ausbeißen und damit ein Beispiel dafür, wie die Quantensimulation schon heute konkrete physikalische Fragen beantworten kann, die mit Rechnungen auf Computern nicht zugänglich sind.

### Pläne in Tübingen

Ich möchte nun abschließend noch auf meine weiteren Pläne eingehen, die ich an der Universität Tübingen angehen werde. Wie Sie bestimmt erraten können, wird es darum gehen noch besser Quantenlego zu spielen und zwar indem wir noch einmal deutlich kältere Temperaturen realisieren.

Dies ist für die Untersuchung von Vielteilchenproblemen enorm wichtig, denn die im Vergleich zum Festkörper großen Längenskalen in unseren Simulatoren kommen zusammen mit deutlich kleineren Temperaturskalen. So entsprechen die heute erreichten Nanokelvin in atomaren Systemen in etwa Raumtemperatur in einem Festkörpersystem. Um Phänomene wie zum Beispiel die Supraleitung, also die verlustfreie Stromleitung, in unserem Experiment zu beobachten, müssen wir ungefähr zehnmals kälter werden.

Wie aber machen wir das? Eine fundamentale Grenze ist die Güte der Isolation unserer ultrakalten Atome zur Umgebung. Wir erreichen diese Isolation indem wir die Atome im Ultrahochvakuum halten und genau dieses Vakuum wollen wir nochmals verbessern, indem wir klassische Kältetechnik mit Quantengasmikroskopen zusammenbringen. Wir packen unser Vakuumsystem nun also in einen richtigen Kühlschranks, der die Vakuumkammer bis auf 4K abkühlt. Dann frieren die restlichen störenden Gase einfach an der Wand der Vakuumkammer fest. Sollte dies erfolgreich sein, wird ein ganz neuer Bereich der Quantenwelt experimentell zugänglich und ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung nützlichem Quantensimulator wäre getan.

Abschließend möchte ich mich nochmals bedanken und zwar mit einzelnen Atomen!

Ich hoffe ich konnte Ihnen einen kleinen Einblick in unsere Forschung geben und ein wenig die Begeisterung rüber bringen mit der nicht nur ich, sondern das ganze Team bei der Sache ist.