



---

# WAS IST EINE NATURWISSENSCHAFTLICHE THEORIE?

---

Festvortrag von Prof. Dr. Dieter Vollhardt



8. DEZEMBER 2018  
FEIERLICHE JAHRESSITZUNG  
Bayerische Akademie der Wissenschaften

## Was ist eine naturwissenschaftliche Theorie?

Sehr verehrte Damen und Herren,

der Titel meines Vortrags ist als Frage formuliert: „Was ist eine naturwissenschaftliche Theorie?“. Diese Frage ist nicht neu, aber durchaus aktuell. Denn wir beobachten derzeit weltweit, dass Tatsachen und wohlfundierte Aussagen in Zweifel gezogen werden. Der eigentliche Anlass meiner Beschäftigung mit diesem Thema war übrigens die Frage eines Taxifahrers an mich über Einsteins Relativitätstheorie, auf die ich gleich zu sprechen komme.

Lassen Sie mich zunächst kurz auf die Herkunft des Begriffs „Theorie“ eingehen. „Theorie“ bezeichnet nicht nur eine rein gedankliche, abstrakte Betrachtungsweise, sondern auch ein System wissenschaftlich begründeter Aussagen zur Erklärung bestimmter Phänomene. Das Wort kommt aus dem Griechischen: *Thea* bedeutet so viel wie „das Anschauen“ (wie in dem Wort Theater) und wird in der deutschen Sprache seit dem 16. Jahrhundert benutzt. Dazu kommt das Wort „theoretisch“, das im 17. Jahrhundert aus dem Lateinischen *theoreticus* übernommen wurde und „wissenschaftlich, gedanklich“ bedeutet, wobei allerdings bereits ein unzureichender Bezug zur Wirklichkeit anklingt. Und der Begriff „Theoretiker“, der eigentlich für Wissenschaftler oder Gelehrter steht, wird seit dem 18. Jahrhundert auch für einen wirklichkeitsfremden Menschen benutzt, der die Dinge nur gedanklich erfasst, dem aber der Sinn für die praktische Umsetzung fehlt. Um ganz offen zu sein: Da ich selbst ein Theoretiker bin – mein Arbeitsgebiet ist die theoretische Physik – fühle ich mich dadurch eher nicht angesprochen.

Sie alle kennen das geflügelte Wort „Grau ist alle Theorie“. Um genauer zu sein: Mephisto sagt in Goethes *Faust*, dem meistzitierten Werk der deutschen Literatur:

„Grau, teurer Freund, ist alle Theorie  
und grün des Lebens goldner Baum.“

Damit hat Goethe den Begriff „Theorie“ für viele Menschen – besonders im deutschsprachigen Raum – ein für alle Mal geprägt, leider negativ. Tatsächlich wird auch heute noch häufig in „Theorie“ und „Praxis“ unterteilt, wobei die beiden Begriffe geradezu als Gegensätze benutzt werden. Dazu zwei Beispiele:

Vor einiger Zeit stand ich hinter einem Mann, der an einer Kaffeemaschine hantierte und versuchte, Kaffee in seinen Becher zu füllen. Er drückte immer wieder auf einen Knopf und murmelte dabei: „Theoretisch müsste das jetzt eigentlich funktionieren“ – und ich fragte mich: Was für eine Theorie meint er wohl?

Und nun das Beispiel, das ich eingangs erwähnte: Vor kurzem fuhr ich in Augsburg mit dem Taxi zur Universität und kam mit dem Fahrer ins Gespräch. Er wollte wissen, was ich an der Universität mache, und als ich antwortete, dass ich theoretischer Physiker sei, fragte er mich: „Was halten Sie denn von der Relativitätstheorie?“. Wir hatten die Universität schon fast erreicht und ein Blick auf das Taxameter machte mir klar, dass dieses Gespräch teuer werden könnte. Daher antwortete ich etwas ausweichend, dass es sich dabei um eine großartige, fundamentale Theorie handle, worauf es aus dem Mann förmlich herausbrach: „Und was ist mit den schwarzen Löchern?“ und er dann hinzufügte: „Aber das ist ja bloß eine Theorie!“. In diesem Augenblick wurde mir mit aller Deutlichkeit klar, dass der Begriff „Theorie“ in zwei extrem unterschiedlichen Bedeutungen benutzt wird:

- Im umgangssprachlichen Gebrauch ist eine Theorie eine mehr oder minder unbegründete Vermutung, eine Spekulation.
- In den Naturwissenschaften dagegen versteht man unter „Theorie“ ein kohärentes, logisch konsistentes System von Annahmen, die auf experimentell gesicherten Ergebnissen beruhen.

Vor allem in den exakten Wissenschaften, die sich mathematischer und somit quantitativer Methoden bedienen, lassen sich dann Rückschlüsse ziehen, die über die bereits bekannten Tatsachen hinausgehen. Damit können sogar neue Phänomene vorausgesagt werden. Die Vorhersagekraft ist sicher die überzeugendste Stärke einer Theorie.

Warum ist eine Theorie in den Naturwissenschaften überhaupt nötig? Warum wird nicht nur gemessen? Die Antwort ist einfach: Weil sich das Ergebnis einer Messung nicht von selbst erklärt. Ein Verständnis experimenteller Fakten ist nur innerhalb eines theoretischen Rahmens möglich. Theorie und Praxis sind dort keine Gegensätze, sondern ergänzen sich.

Ein Beispiel aus der Physik ist Maxwells Theorie der Elektrodynamik: Sie erklärt alle klassischen Phänomene der Elektrizität und des Magnetismus. Mit ihrer Hilfe sagte James Clerk Maxwell insbesondere im Jahr 1864 voraus, dass auch Licht eine elektromagnetische Welle ist, was kurz darauf experimentell bestätigt wurde.

Ein anderes bekanntes Beispiel ist Einsteins Relativitätstheorie: Das berühmte Michelson-Morley-Experiment hatte 1887 gezeigt, dass die Geschwindigkeit von Licht unabhängig von der Geschwindigkeit des Beobachters ist. Das steht in scharfem Gegensatz zur Schallgeschwindigkeit, die ja von der relativen Bewegung des Beobachters abhängt – das kennen wir vom Klang der Sirene eines an uns vorbeifahrenden Rettungswagens. Die Lichtgeschwindigkeit ist dagegen eine Naturkonstante, sie ist nicht relativ. Aus diesem experimentellen Befund entwickelte Albert Einstein zunächst die spezielle Relativitätstheorie, die unter anderem die klassische Newton'sche Mechanik auf Objekte verallgemeinert, die sich mit hohen Geschwindigkeiten – bis hin zur Lichtgeschwindigkeit – bewegen. Das führte ihn zu der Vorhersage äußerst ungewöhnlicher und kontraintuitiver Effekte, wie der Zeitdilatation, Längenkontraktion und Äquivalenz von Masse und Energie, die in allen Details experimentell bestätigt wurden.

Anschließend erweiterte Einstein diese Theorie zur allgemeinen Relativitätstheorie, in der er einen tiefen Zusammenhang zwischen Masse, Raum-Zeit-Krümmung und Gravitation herleitete. Damit sagte er wiederum zahlreiche spektakuläre Phänomene voraus, wie z. B.

Gravitationswellen, die vor zwei Jahren zum ersten Mal beobachtet werden konnten und für deren Entdeckung letztes Jahr der Nobelpreis für Physik verliehen wurde. Einsteins Feldgleichungen sagen auch die Existenz schwarzer Löcher voraus. Das ist keineswegs Science Fiction. Im Zentrum der Milchstraße, im Sternbild Schütze – „nur“ 26.000 Lichtjahre von uns entfernt – befindet sich ein superschweres schwarzes Loch mit etwa 4,3 Millionen Sonnenmassen, das die Bewegung der umgebenden Sterne beeinflusst und auf diese Weise beobachtet werden konnte (übrigens von unserem Akademie-Kollegen Reinhard Genzel und seiner Gruppe).

Ein weiteres Beispiel ist die Quantentheorie: Sie ermöglicht es, das Verhalten der mikroskopischen Welt zu verstehen und sogar Eigenschaften von Materie vorherzusagen.

Andere berühmte naturwissenschaftliche Theorien, die aber aufgrund ihrer Struktur und der Objekte, auf die sie sich beziehen, nicht dieselbe quantitative Vorhersagekraft wie die bereits genannten physikalischen Theorien haben, sind

- Wegeners Theorie der Kontinentalverschiebung, die erklärt, wie sich die jetzigen Kontinente als Bruchstücke eines Urkontinents über die Erdoberfläche bewegen, und
- Darwins Evolutionstheorie, das Prinzip der biologischen Evolution durch natürliche Selektion.

Wenn religiöse Fundamentalisten über die Evolutionstheorie sagen: „Aber es ist doch bloß eine Theorie“, weisen sie ihr fälschlicherweise den Status einer Vermutung zu. Tatsächlich ist die Evolutionstheorie aber ein seit 150 Jahren durch außerordentlich viele Beispiele überprüfetes und bestätigtes, kohärentes wissenschaftliches System von Beobachtungen und Schlussfolgerungen, das durch neue Entdeckungen kontinuierlich verstärkt wird.

Wir wissen allerdings auch, dass eine naturwissenschaftliche Theorie nicht vollständig und abgeschlossen ist. Obwohl sie genau überprüft wurde und somit ihre Gültigkeit unter Beweis gestellt hat, ist zu erwarten, dass experimentelle Ergebnisse in neu zugänglichen Parameterbereichen eine Erweiterung oder Änderung der Theorie notwendig machen. Die alte Theorie wird damit aber nicht ungültig.

Nehmen wir als Beispiel die klassische Newton'sche Mechanik. Die Erkenntnisse der Relativitätstheorie und der Quantentheorie machten sie keineswegs wertlos. Die klassische Mechanik wurde lediglich als eine – häufig sehr gute – Näherung dieser umfassenderen neuen Theorien erkannt.

Neben dem Begriff „Theorie“ gibt es noch andere Bezeichnungen wie „Prinzip“ oder „Gesetz“ – sie klingen sogar zuverlässiger. Zum Beispiel „Newtons Gravitationsgesetz“ – da wird die Richtigkeit kaum bezweifelt, es ist eben ein Gesetz! „Einsteins Relativitätstheorie“ klingt dagegen viel spekulativer. Dabei ist es natürlich genau umgekehrt: Newtons Gravitationsgesetz ist nur eine der Konsequenzen der viel grundlegenderen Relativitätstheorie. Es wäre daher wahrscheinlich besser, wenn wir von „Einsteins Relativitätsprinzip“ bzw. „Darwins Evolutionsprinzip“ sprächen.

Lassen Sie mich noch einmal auf den bereits erwähnten Taxifahrer zurückkommen, der mich über Einsteins Relativitätstheorie und schwarze Löcher befragte und der das alles offenbar für eine Spekulation hielt. Ich konnte ihm einen überzeugenden Beweis dafür liefern, dass die Relativitätstheorie auch in unserem täglichen Leben – besonders in seinem – eine sehr wichtige Rolle spielt. Wie viele von uns benutzte er in seinem Auto nämlich ein Navigationsgerät. Ein solches Gerät bestimmt seine Position mit Hilfe des globalen Satelliten-Navigationssystems. Dabei handelt es sich um ein Netzwerk von etwa 30 Satelliten, die in ca. 20 Kilometern Höhe um die Erde kreisen. Jeder Satellit ist mit einer Atomuhr ausgestattet, die mit einer Genauigkeit von einer milliardstel Sekunde funktioniert. Das Navigationsgerät im Auto ermittelt seinen Ort durch Funkkontakt mit vier oder mehr Satelliten und bestimmt seine Position und Bewegungsrichtung dadurch, dass es die Zeitsignale vergleicht, die es von den verschiedenen Satelliten empfängt. Damit das Navigationsgerät seine Position auf zehn Meter genau berechnen kann, muss die Frequenz der Atomuhr eines Satelliten auf eine Genauigkeit von ca. 30 milliardstel Sekunden – also extrem genau – bekannt sein. Das ist tatsächlich nur unter Berücksichtigung der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie möglich. Lassen sie mich das etwas näher erklären. Die spezielle Relativitätstheorie berücksichtigt, dass die Uhren an Bord der Satelliten wegen der Bewegung relativ zu Ihrem Auto um einige millionstel Sekunden pro Tag nachgehen – denn eine bewegte Uhr geht langsamer als eine ruhende.

Die allgemeine Relativitätstheorie ist hier sogar noch wichtiger: Sie berücksichtigt, dass in der Höhe, in der die Satelliten umlaufen, die Gravitation geringer ist als auf der Erdoberfläche, so dass die Uhren an Bord vorgehen – fast siebenmal stärker, als sie wegen der Relativbewegung nachgehen. Insgesamt sind die Uhren in den Satelliten aufgrund der beiden genannten relativistischen Effekte um ca. 40 millionstel Sekunden pro Tag schneller als die in Ihrem Auto.

Nun könnte jemand sagen: „Ich habe es tatsächlich immer eilig, wenn ich mit dem Auto unterwegs bin, aber auf ein paar millionstel Sekunden kommt es mir nun doch nicht an...“. Das ist aber gar nicht der Punkt, sondern: Wenn diese relativistischen Effekte nicht berücksichtigt würden, käme es innerhalb weniger Minuten zu groben Berechnungsfehlern und die Ortsbestimmung Ihres Autos läge um ca. sieben Meter pro Minute, d.h. ca. zehn Kilometer pro Tag falsch! Wenn Sie also das nächste Mal Ihr Navigationsgerät benutzen, bedenken Sie, dass Ihnen eine der elegantesten und fundamentalsten Theorien der Natur, die Relativitätstheorie, hilft, Ihr Ziel zu finden.

Die Bewegung eines einzelnen Autos ist relativ leicht zu erklären. Wenn im Straßenverkehr aber viele Autos zusammenkommen, kann es sehr kompliziert werden – der ärgerliche „Stau aus dem Nichts“ ist ein wohlbekanntes Beispiel. Es handelt sich dann um ein System mit vielen wechselwirkenden Objekten, das in der Physik treffend als „Vielteilchensystem“ bezeichnet wird. In solchen Systemen können aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilchen ganz unerwartete Phänomene auftreten, die es in Systemen mit wenigen Teilchen nicht gibt. Aus diesem Grund ist die Vielteilchenphysik ein faszinierendes Forschungsgebiet, auf das ich in den verbleibenden Minuten näher eingehen möchte.

Materie ist aufgrund ihrer atomaren Struktur ein besonders typisches Vielteilchensystem. Betrachten wir zum Beispiel einen Festkörper wie Magnetit, ein Eisenoxid, dessen magnetische Eigenschaften schon in der Antike beschrieben wurden. Ein kleiner Brocken Magnetit besteht aus ca.  $10^{23}$  Ionen und Elektronen (eine Zehn mit 23 Nullen) – also aus extrem vielen geladenen und daher wechselwirkenden Teilchen. Die Elektronen spielen hier eine besonders wichtige Rolle, da sie nicht nur die elektrische Leitfähigkeit des Festkörpers, sondern auch dessen magnetische Eigenschaften bestimmen. Elektronen sind Quantenteilchen. Mikroskopisch gesehen stellt Magnetit daher ein wechselwirkendes quantenmechanisches Vielteilchensystem dar.

In Vielteilchensystemen, ob klassisch oder quantenmechanisch, treten aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Teilchen neuartige „kooperative“ Phänomene auf. Zum Beispiel kann es zu Übergängen zwischen verschiedenen Phasen eines Systems kommen. Das kennen wir vom Wasser, das in drei verschiedenen Phasen auftritt: Dampf, Flüssigkeit und Eis. Das Schmelzen von Eis ist das Beispiel eines Übergangs von der festen in die flüssige Phase von Wasser. In ähnlicher Weise gibt es einen Übergang von einer magnetischen Phase in eine unmagnetische Phase: Wenn Magnetit stark genug erhitzt wird, verliert es bei einer charakteristischen Temperatur seine magnetischen Eigenschaften. Übergänge von einer Phase in eine andere, deren Beschaffenheit im Allgemeinen vorher unbekannt ist, stellen ein Beispiel für emergentes Verhalten von Vielteilchensystemen dar. Der Begriff „Emergenz“ soll dabei ausdrücken, dass dieses Verhalten spontan, d. h. aus sich selbst heraus und nur aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Teilchen entsteht.

Emergenz führt im Allgemeinen zu Verhalten, das mit dem Begriff „Komplexität“ bezeichnet wird. Komplexität ist viel mehr als Kompliziertheit. Komplizierte Systeme können mit hinreichend hohem Aufwand berechnet werden. Komplexe Systeme lassen sich dagegen weder durch Anwendung von Grundgesetzen analysieren, noch mit Hilfe bekannter Lösungsverfahren erklären. Dazu zwei Beispiele: Einzelne Moleküle sind komplizierte Objekte, deren Eigenschaften

heute meistens gut verstanden sind. In einem Material, das aus  $10^{23}$  Atomen oder Molekülen besteht, kommt es dagegen aufgrund von Übergängen in unbekannte Phasen zu komplexem Verhalten. In biologischer Materie ist der Grad der Komplexität am stärksten ausgeprägt: Ein Supercomputer oder ein einzelnes Neuron haben eine komplizierte, aber bekannte Struktur. Die Wechselwirkung zwischen extrem vielen Neuronen ermöglicht dagegen völlig neuartiges, komplexes Verhalten wie Denken und Bewusstsein.

Zurück zu physikalischen Vielteilchensystemen und ihrer theoretischen Erklärung. Für jedes ihrer Teilchen gibt es eine Gleichung, die ihre Bewegung und zeitliche Entwicklung bestimmt. Die Gleichungen sind wegen der gegenseitigen Wechselwirkung der Teilchen voneinander abhängig. Es ist nicht möglich, diese extrem vielen gekoppelten Gleichungen zusammen zu lösen. Die Vorhersagekraft von Vielteilchentheorien ist daher beschränkt. Wenn die Wechselwirkungen allerdings schwach sind, lassen sich in der theoretischen Untersuchung Vereinfachungen vornehmen, die eine Lösung erlauben.

Als Beispiel möchte ich die Supraleitung nennen – ein besonders erstaunliches Vielteilchenphänomen. Supraleitung tritt ein, wenn der elektrische Widerstand eines Materials bei einer wohldefinierten, allerdings sehr tiefen Temperatur – der „Sprungtemperatur“ – auf Null springt. Der Festkörper wird dann ein Supraleiter, ein perfekter Leiter, der keinen elektrischen Widerstand mehr hat, so dass Ströme verlustlos und beliebig lang fließen können. Das klingt wieder ein bisschen wie Science Fiction, ist aber seit über 100 Jahren eine gesicherte Tatsache, da dieser Übergang schon im Jahr 1911 von Heike Kamerlingh Onnes an Quecksilber beobachtet wurde. Viele Materialien werden bei tiefen Temperaturen supraleitend.

Supraleiter sind aber nicht nur perfekte Leiter, sondern zusätzlich auch noch perfekte „Diamagnete“: In ihnen können keine Magnetfelder existieren, das heißt, sie verdrängen Magnetfelder aus ihrem Inneren. Dieser Effekt wurde 1933 von Walther Meißner und Robert Ochsenfeld entdeckt und wird als „Meißner-Effekt“ bezeichnet. Die Magnetfeldverdrängung bewirkt unter anderem, dass ein Magnet über einem Supraleiter schweben kann und umgekehrt. Supraleiter haben wichtige technische Anwendungen. Da sie hohe elektrische Ströme transportieren können, lassen sich mit ihnen starke Magnetfelder erzeugen. Das ermöglicht die Magnetfeldtomographie (MRT), mit der in der Medizin gestochene scharfe Aufnahmen des menschlichen Körpers gemacht werden können.

Wie lässt sich Supraleitung erklären? Zur Beantwortung dieser Frage benötigen wir eine Theorie der Supraleitung. In ihrem Mittelpunkt stehen die Elektronen des Festkörpers, da sie die Leitungsträger des elektrischen Stroms sind. Es handelt sich hier also um ein quantenmechanisches Vielelektronenproblem. Erst 1957, fast ein halbes Jahrhundert nach der experimentellen Entdeckung der Supraleitung, gelang es John Bardeen, Leon Cooper und Robert Schrieffer, eine umfassende Theorie der Supraleitung zu formulieren. Das war ein epochaler wissenschaftlicher Durchbruch, denn diese neue Theorie konnte nicht nur mit einem Schlag alle experimentellen Eigenschaften der bis dahin bekannten Supraleiter erklären, sondern machte darüber hinaus zahlreiche Vorhersagen, die bald darauf experimentell bestätigt wurden. Die Theorie der Supraleitung von Bardeen, Cooper und Schrieffer ist eine der beeindruckendsten und folgenreichsten Theorien der Physik.

Eine ihrer Vorhersagen ist der verblüffende Josephson-Effekt, das Fließen eines Stroms zwischen zwei Supraleitern, die durch eine dünne Isolatorschicht getrennt sind. Dieser von Brian Josephson vorhergesagte Strom beruht auf dem quantenmechanischen Tunneleffekt und ist nach den Gesetzen der klassischen Physik unmöglich. Das klingt schon wieder ziemlich fantastisch. „Graue Theorie“? Keineswegs! Der Josephson-Effekt, also die Quantenmechanik, erlaubt es, extrem schwache Magnetfelder zu detektieren und eignet sich daher als hoch empfindliches

Magnetometer, das heutzutage insbesondere in der Biologie und Medizin benutzt wird, zum Beispiel, um Ströme und Magnetfelder im menschlichen Gehirn und Herz zu messen.

Ein Problem bei der Anwendung der Supraleitung ist, dass sie nur bei tiefen Temperaturen auftritt. Was heißt tief? Der absolute Temperatur-Nullpunkt liegt bei Null Kelvin (K), das entspricht etwa  $-273^{\circ}\text{C}$ . Die bis in die 1980er Jahre bekannten sogenannten konventionellen Supraleiter wurden erst unterhalb von 23K supraleitend. Zur Kühlung benötigte man flüssiges Helium – ein Edelgas, das auf der Erde nur in geringen Mengen auftritt. Um derart tiefe Temperaturen zu erzeugen, bedarf es technologisch aufwendiger Kühlmethoden. Trotz jahrzehntelanger Bemühungen gelang es nicht, Materialien mit höheren Sprungtemperaturen zu finden.

Es war daher eine wissenschaftliche Sensation ersten Ranges, als Georg Bednorz und Alexander Müller im Jahr 1986 eine Klasse von Festkörpern entdeckten, die bei weit höheren Temperaturen supraleitend werden. Innerhalb weniger Jahre gelang es, die Sprungtemperatur dieser sogenannten Hochtemperatur-Supraleiter um mehr als das Dreifache auf 133K (ca.  $-140^{\circ}\text{C}$ ) zu erhöhen. Sie werden vielleicht sagen, dass das immer noch sehr tiefe Temperaturen sind. Das stimmt – allerdings liegen diese Sprungtemperaturen oberhalb der Verflüssigungstemperatur von Stickstoff, so dass sich die Supraleitung eines entsprechenden Materials nun durch Eintauchen in flüssigen Stickstoff oder einfach durch Begießen auslösen lässt. Mit Hilfe eines technischen Verfahrens zur Verflüssigung von Luft, das Carl von Linde im Jahr 1895 entwickelt hat, ist es heute leicht möglich, große Mengen flüssigen Stickstoffs zu produzieren. Linde war ab 1901 Mitglied unserer Akademie. Der Grund für die Entwicklung dieses Kühlverfahrens war übrigens ein zutiefst bayerischer – es ging um die Kühlung von Bier, genauer gesagt um das Brauen von untergärigem Bier, das Ende des 19. Jahrhunderts sehr beliebt war und eine kühle Lagerung erfordert; aber diese Geschichte würde jetzt zu weit führen.

Durch Carl von Linde hat die Bayerische Akademie der Wissenschaften schon seit über 100 Jahren einen engen Bezug zu Materie bei tiefen Temperaturen. Heute wird physikalische Tieftemperaturforschung am Walther-Meißner-Institut unserer Akademie betrieben. Walther Meißner war nicht nur ein international führender Tieftemperaturphysiker, sondern von 1946 bis 1950 auch Präsident unserer Akademie. Auf sein Betreiben wurde Ende 1946 die „Kommission für Tieftemperaturforschung“ mit der Absicht eingerichtet, die Tieftemperaturforschung in Deutschland nach dem Zweiten Weltkrieg wieder aufzubauen, langfristig angelegte Forschung und Technologieentwicklung zu ermöglichen und eine Helium-Verflüssigungsanlage zu betreiben. Im Jahr 1967 wurde dann das „Zentralinstitut für Tieftemperaturforschung“ in Garching fertiggestellt und 1982 in „Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung“ umbenannt. Es ist nach dem Leibniz-Rechenzentrum das größte Institut der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Sie fragen sich vielleicht, warum überhaupt ein Institut für Tieftemperaturforschung gegründet wurde. Was ist das Besondere an diesem Thema? Die Antwort ist, dass Tieftemperaturforschung eine Grundlagenwissenschaft ist, die sich mit den Quanteneigenschaften der Materie beschäftigt. Gleichzeitig ermöglicht sie sehr konkrete Anwendungen. Tieftemperaturphysik und Hochenergiephysik sind gewissermaßen Gegenpole hinsichtlich ihrer charakteristischen Energien, und sie beschäftigen sich beide mit fundamentalen Fragen der Physik. Das ist auch der Grund, warum auf diesen beiden Forschungsgebieten mehr Nobelpreise verliehen wurden als auf jedem anderen Gebiet der Physik.

Noch einmal zurück zu den 1986 entdeckten Hochtemperatursupraleitern. Verstehen wir den Grund für deren (relativ) hohe Sprungtemperatur? Leider nein. Die Wechselwirkung zwischen den Elektronen ist in diesen Materialien so stark, dass die Vereinfachungen, auf denen die so

erfolgreiche Theorie der konventionellen Supraleitung beruht, nicht mehr anwendbar sind. Auch heute, 32 Jahre nach ihrer Entdeckung, gibt es keine konsistente Theorie der Hochtemperatursupraleiter. Insbesondere wissen wir nicht, wie die Sprungtemperatur systematisch weiter erhöht werden kann und ob Supraleitung vielleicht sogar bei Raumtemperatur möglich ist. Die Entdeckung von Raumtemperatur-Supraleitung unter nicht allzu extremen physikalischen Bedingungen würde eine technologische Revolution unvorstellbaren Ausmaßes auslösen.

Ob es in der Zukunft eine umfassende Theorie für stark wechselwirkende Vielteilchensysteme geben wird, die mathematisch-numerisch kontrollierbar ist und mit der sich quantitative Vorhersagen machen lassen, wissen wir nicht. Ich bin durchaus optimistisch, halte mich in diesem Fall aber an Nils Bohrs Ausspruch: „Vorhersagen sind schwierig, insbesondere, wenn sie die Zukunft betreffen“.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!