

Aus den *maßstäben* Heft 12 „Meilensteine“ (2013)

Frank Frick

Die Jäger der siebten Kommastelle

Ein Dauerlauf mit vielen Stolperfallen und Mutproben

Mehr als zehn Jahre kostbare Berufszeit voller Rückschläge hat Hansjörg Scherer in ein einziges Experiment investiert. Und das, obwohl es anderswo schon einmal durchgeführt wurde und obwohl kaum ein Wissenschaftler ernsthaft erwartet, dass es das gängige physikalische Weltbild ins Wanken bringt.

(Stichwort: Ampere)

Mehr entdecken: Der QR-Code führt Sie zur Webseite dieser *maßstäbe*-Ausgabe.



Die Jäger der siebten Kommastelle

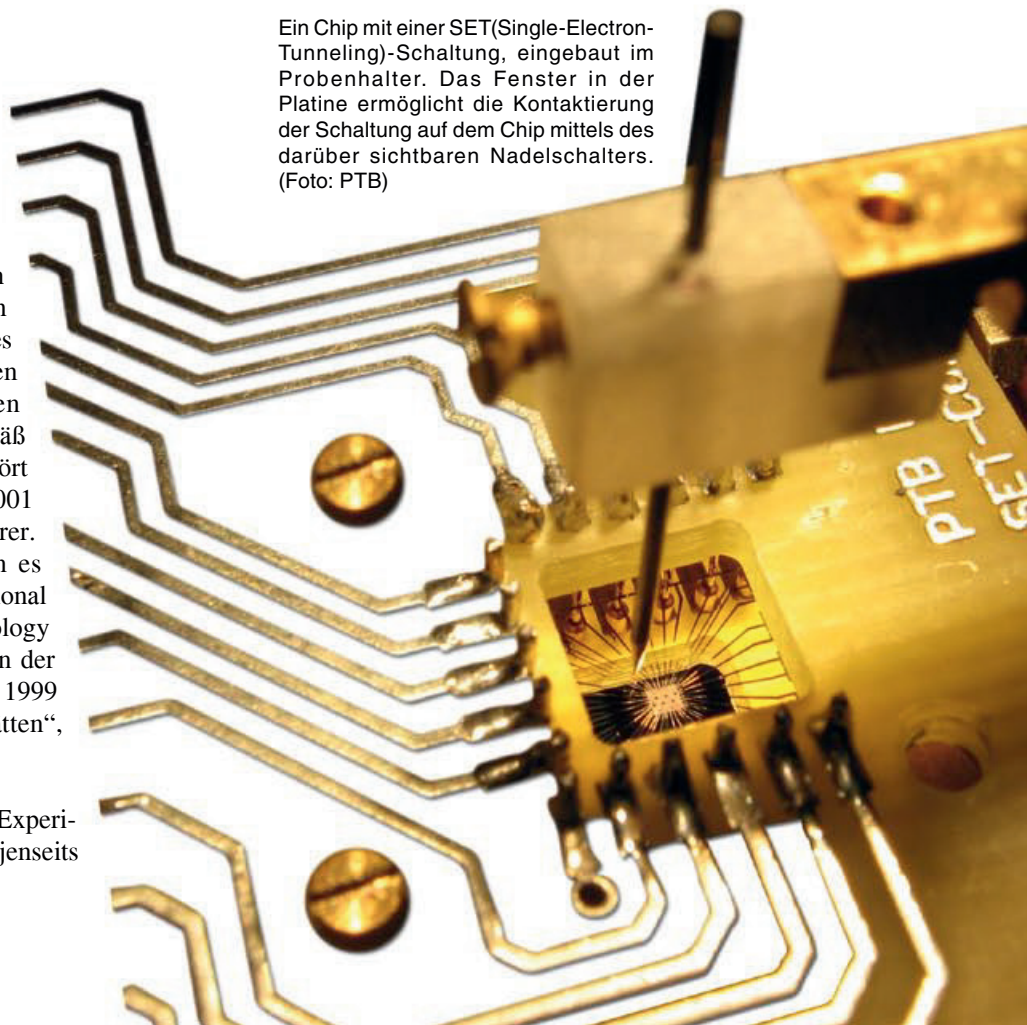
Mehr als zehn Jahre kostbare Berufszeit voller Rückschläge hat Hansjörg Scherer in ein einziges Experiment investiert. Und das, obwohl es anderswo schon einmal durchgeführt wurde und obwohl kaum ein Wissenschaftler ernsthaft erwartet, dass es das gängige physikalische Weltbild ins Wanken bringt. Der Physiker hat sich auf einen aufopfernden Dauerlauf begeben, mit vielen Stolperfallen und vielen Mutproben – auf einen Parcours, wie er in der physikalischen Grundlagenforschung allerdings nicht ganz unüblich ist, wenn das anvisierte Ziel verlockend ist. Und das gründet sich hier auf höchste Ansprüche an Präzision.

Hansjörg Scherer malt mit wenigen Strichen ein elektrisches Schaltbild auf die Tafel im Besprechungsraum. Die Skizze sieht einfacher aus als viele, die sich in Anleitungen von Elektronikbaukästen finden. Eine Stromquelle, ein Kondensator, ein Spannungsmessgerät – fertig. Doch während Kinder die Versuche eines Baukastens innerhalb von Minuten oder wenigen Stunden aufbauen – und ansonsten erfahrungsgemäß Geduld und Lust verlieren –, gehört das skizzierte Experiment seit 2001 zum beruflichen Alltag von Scherer. „Ursprünglich ausgedacht haben es sich unsere US-Kollegen vom National Institute of Standards and Technology (NIST) – und zwar schon 1992. In der Zeitschrift *Science* berichteten sie 1999 dann, dass sie es verwirklicht hätten“, erzählt Scherer.

Zwanzig Jahre lang also hält das Experiment somit schon Wissenschaftler jenseits

und diesseits des Atlantik auf Trab. Um zu verstehen, worum es dabei geht, muss man wissen: Unter bestimmten Voraussetzungen nehmen Widerstand und Spannung nicht jeden beliebigen Zahlenwert an, sondern treten nur portionsweise – quantisiert – auf. Die immer gleiche Größe jeder Portion, also jedes Quants, ergibt sich dabei im Falle des Widerstands aus der von-Klitzing-Konstante und im Falle der Spannung aus der Josephson-Konstante – benannt nach den Entdeckern der zugrundeliegenden Effekte; sie erhielten dafür jeweils den Nobelpreis. Auch die Stromstärke ist quantisiert, wobei das Quant die Ladung eines Elektrons ist – bedeutet doch das Fließen eines Stroms nichts anderes, als dass sich viele dieser negativ geladenen Teilchen durch ein Material bewegen. Das Experiment soll gleichsam auf einen Schlag beweisen, dass die Zusammenhänge zwischen den drei elektrischen Quanteneffekten exakt so sind, wie es heute in den Physiklehrbüchern steht. Damit würde es auch bestätigen, dass sich die Werte der von-Klitzing-Konstante und der Josephson-Konstante exakt aus zwei Naturkonstanten ergeben und keine Korrekturen angebracht werden müssen. Letztlich soll es folgende Streitfrage entscheiden: Stimmt unser heutiges Weltbild von den elektrischen

Ein Chip mit einer SET (Single-Electron-Tunneling)-Schaltung, eingebaut im Probenhalter. Das Fenster in der Platine ermöglicht die Kontaktierung der Schaltung auf dem Chip mittels des darüber sichtbaren Nadelschalters. (Foto: PTB)



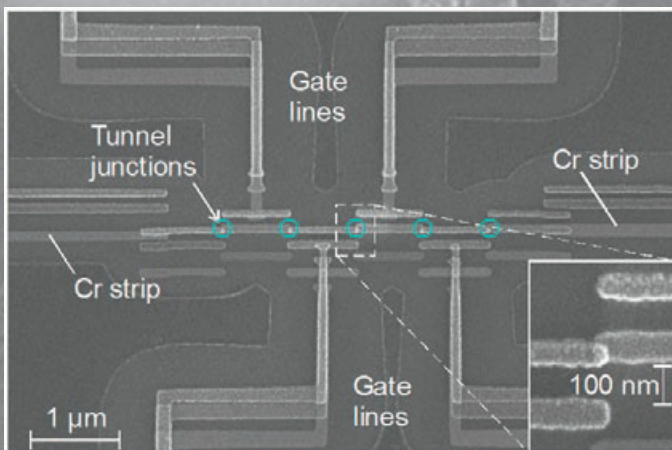
Quanteneffekten, oder wurde nur noch nicht genau genug gemessen, um zu entdecken, dass es fehlerhaft ist?

Die Wissenschaftler des NIST hatten 1999 zwar grundsätzlich gezeigt, dass das Experiment klappt. Doch zur Unsicherheit der Messwerte hatten

sie keine Angabe gemacht. „Damit haben sie streng genommen kein Ergebnis erzielt, denn ein Messwert ohne diese Angabe bedeutet nichts“, kommentiert Scherer. Sein Kollege Franz Josef Ahlers, Leiter des Fachbereichs Elektrische Quantenmetrologie, bestätigt: „Man muss sagen können: Der richtige Wert liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von beispielsweise

68 Prozent in einem bestimmten Intervall rund um den gemessenen Wert.“ Als Scherer 2001 an der PTB mit dem Aufbau des Experiments begann, nahm er an, die Amerikaner würden ihre Messung wiederholen und dann die Unsicherheitsangaben nachliefern: „Wir wollten zeigen, dass man das NIST-Experiment auch an anderer Stelle nachvollziehen kann“, erläutert er. Denn es sei ein Grundprinzip der Wissenschaft, nur reproduzierbaren Experimenten zu trauen. Doch er gibt zu, dass diese Motivation angesichts vieler frustrierender Momente manchmal kaum reichte.

„Tatsächlich ist es nur äußerst schwer zu vermitteln, warum man für ein solches Experiment Jahre



Wer einzelne Elektronen zählen will, muss tief in die Nanowelt abtauchen und filigrane Strukturen bauen. Mit sogenannten SET(Single-Electron-Tunneling)-Pumpen, in denen die Elektronen durch klassisch undurchdringliche Isolatorschichten hindurchdriften (tunneln), kann dann das „Zählwerk“ beginnen. Die Bewegung der Elektronen durch die „Tunnel junctions“ (türkisfarbene Kreise) wird hierbei über die „Gate lines“ gesteuert. Solche Strukturen verwendet die PTB für ihre Experimente am Quantenmetrologischen Dreieck.

braucht“, ist sich Scherer klar. Und das selbst dann, wenn man es dem Gegenüber detaillierter erklärt: Die Stromquelle auf der Prinzipskizze ist in Wirklichkeit eine winzige Struktur auf einem Chip, mit der man einzelne Elektronen gleichsam pumpen kann. Solche Einzelelektronenstromquellen werden in der PTB hergestellt und bei Temperaturen von wenigen tausendstel Grad über dem absoluten Nullpunkt betrieben. Mit ihrer Hilfe soll einmal die Einheit der Stromstärke, das Ampere, auf Naturkonstanten zurückgeführt werden. In ihre Entwicklung ist Know-how und jahrelange Erfahrung zahlreicher PTB-Forscher eingeflossen. Für das Experiment wird der Chip noch um eine weitere Schaltung, einen Einzelelektronentransistor, erweitert. Mit ihm lässt sich verfolgen, wie der Kondensator mit einzelnen Elektronen aufgeladen wurde. Um die Spannung zu messen, die von den Elektronen auf dem Kondensator erzeugt wurde, benötigt man die Hilfe eines Josephson-Spannungsnormals – ebenfalls ein Hightech-Gerät.

Die Wissenschaftler vom NIST konnten ihr Experiment von 1999 nie wiederholen. „Über die Gründe dafür können wir nur spekulieren. Das zeigt aber auch, um welches Kaliber von Experiment es sich handelt“, sagt Ahlers. Sieben Jahre später lieferten die US-Forscher zwar eine Angabe zur Unsicherheit – doch sie beruhte auf den Daten der alten Messung. Die Unsicherheit betrug zudem knapp den einmillionstel Bruchteil des Messwertes, genauer: $9 \cdot 10^{-7}$. Damit war sie zumindest aus Sicht der meisten Fachleute zu groß, „um irgendein zusätzliches Vertrauen

in die drei Quantenstandards zu erbringen“, wie Mark Keller, einer der US-Wissenschaftler, 2008 in einem Fachartikel einräumte. Zusätzlich insofern, als beispielsweise die von-Klitzing-Konstante und die Josephson-Konstante auch auf anderen Wegen durch zahlreiche Messungen bestimmt wurden und werden. Das internationale „Committee on Data for Science and Technology“ – kurz: CODATA – sammelt diese Messergebnisse aus aller Welt und wertet sie aus, führt Ausgleichsrechnungen durch und veröffentlicht etwa alle vier Jahre eine „Liste mit empfohlenen Werten für die fundamentalen Naturkonstanten“ – selbstverständlich mit Unsicherheitsangaben.

„Kollegen des CODATA haben mir bestätigt, dass es beispielsweise im Hinblick auf die Josephson-Konstante ein echter Fortschritt wäre, wenn wir bei unserem Experiment Messdaten mit einer Unsicherheit unterhalb von $5 \cdot 10^{-7}$ erhalten würden, also auf sieben Kommastellen genau wären“, sagt Scherer. Mit anderen Worten: Gelingen wäre das Experiment dann, wenn die Unsicherheit gegenüber dem NIST-Experiment um mindestens vier zehnmillionstel Bruchteile verringert werden könnte. „Neben dem Feedback von Fachkollegen und des CODATA treibt mich natürlich auch so etwas wie sportlicher Ehrgeiz an“, sagt Scherer.

Es wäre denkbar, dass der eigentliche Messwert bei geringster Unsicherheit zutage fördert, dass die heutige Physik die elektrischen Quanteneffekte nicht richtig beschreibt. „Dies wäre der spannendste Fall, aber es würde mich schon außerordentlich erstaunen, wenn er einträte“, so Scherer. Trotzdem hat er sich wie auch andere Fachleute bereits Gedanken gemacht, wo dann am ehesten Wirklichkeit und Theorie auseinanderklaffen könnten: bei der Quantisierung des Widerstandes in einem starken Magnetfeld, also dem Effekt, den einst Klaus von Klitzing entdeckte. ■

FRANK FRICK

Als der Autor dieses Artikels Scherer traf, um sich das Experiment schildern zu lassen, ging dieser vor allem aufgrund einer Designänderung beim Chip mitsamt Einzelelektronenpumpe und Einzelelektronentransistor davon aus, dass er in Kürze erfolgreich sein würde. Aber wie das Physikerleben so spielt, „ist das Geschäft noch schwieriger, als wir uns vorgestellt haben“, sagt Scherer. Einige Fortschritte hat das Experiment gemacht. Aber mit den Fortschritten kamen auch neue Fragen, die nach neuen Antworten verlangen. „Wir sind noch nicht fertig, und wir wissen auch nicht, ob wir das Experiment wirklich meistern werden“, räumt Scherer offen ein. Aber die Tröstung für den Physiker ist stets diese: Wenn die Aufgabe leicht wäre, hätte sie schon ein anderer erledigt. Und ein anderer ist nicht in Sicht.