

Laudatio zur Verleihung der Carl-
Friedrich-Gauß-Medaille
an Prof. Dr. Klaus von Klitzing

Göbel, Ernst Otto

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 2005 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.189-194



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr. Klaus von Klitzing

Prof. Dr. ERNST O. GÖBEL
Präsident der PTB,
Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig

Den Nobelpreis, meine Damen und Herren, kann man nicht „toppen“. Er ist ohne Frage die höchste Auszeichnung eines Wissenschaftlers. Klaus von Klitzing hat den Nobelpreis für Physik 1985 für die Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes erhalten, im jugendlichen Alter von damals gerade 42 Jahren.

Mit der Verleihung der Gauß-Medaille im Gauß-Jahr 2005 will und wollte die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft sich auch nicht anmaßen, mit dem Nobelpreis in Konkurrenz zu treten. Nein! Vielmehr möchte die BWG damit die großartigen und herausragenden wissenschaftlichen Beiträge würdigen, die Klaus von Klitzing mit seiner Arbeitsgruppe am Stuttgarter Max-Planck-Institut für Festkörperforschung auch nach der Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes und der Verleihung des Nobelpreises erarbeitet hat und die ihm international einen, wenn nicht sogar den Spitzenplatz in der modernen Festkörperphysik eingebracht haben – ich werde darauf noch kurz zurückkommen.

Der Quanten-Hall-Effekt steht also gar nicht im Fokus meiner Laudatio und des heutigen Gauß-Kolloquiums, obwohl er über die Jahre nichts von seiner wissenschaftlichen Attraktivität verloren hat. Nach wie vor erscheint etwa eine Veröffentlichung pro Tag zu diesem Thema in den entsprechenden Fachjournalen. Darüber hinaus ist er neben dem Josephson-Effekt (dem Tunnel-Effekt in supraleitenden Strukturen) für die Metrologie von überragender praktischer Bedeutung: Über den Quanten-Hall-Effekt kann die Einheit des elektrischen Widerstandes, das Ohm, auf die „von-Klitzing-Konstante“ – gegeben durch die Planck-Konstante geteilt durch die Elementarladung zum Quadrat – zurückgeführt werden. Nicht nur dadurch, sondern auch aufgrund seines wissenschaftlichen Werdegangs, auf den Herr Kollege Landwehr heute vormittag ja auch schon eingegangen ist, hat Klaus von Klitzing einen engen Bezug zur PTB und deren Aufgaben, und wir sind glücklich, dankbar und stolz, dass er als Mitglied und Vizepräsident unseres Kuratoriums unsere Arbeit mit Rat und Tat begleitet. Ich hatte den wissenschaftlichen Werdegang gerade erwähnt und das bringt mich dazu, Ihnen die Vita von Klaus von Klitzing kurz vorzustellen.

Klaus von Klitzing wurde 1943 in Schroda (Posen) geboren. Der Vater war Oberforstmeister und von ihm hat er wohl auch die Liebe zu Natur und Garten geerbt. Das kam ihm auch später zupass. In der Braunschweiger Zeitung vom 17. Oktober 1985, also unmittelbar nach Bekanntgabe der Entscheidung des Nobelpreis-Komitees, wird Frau Falkenberg, die inzwischen verstorbene Schwiegermutter von Klaus von Klitzing, unter der Überschrift „Sonnabends vom Eintracht-Stadion auf ein Bier ins Magniviertel“ wie folgt zitiert: „Mein Schwiegersohn hat uns damals gleich zu Anfang sehr imponiert, weil er, kaum dass er sich uns vorgestellt hatte, meinem Mann gleich beim Erdbeerbeet-Umgraben half“.

Wie man aufgrund des Geburtsortes erahnen kann, war die Kindheit aufgrund äußerer Umstände alles andere als einfach. Die Familie musste nach dem Krieg fliehen und siedelte 1948 nach Oldenburg i. O. über. Dort wurde Klaus von Klitzing auch eingeschult, später besuchte er die Volksschule in Essen i. O. Von 1953 bis 1962 besuchte er das Artland-Gymnasium in Quakenbrück, an dem er 1962 das Abitur ablegte. Danach begann er mit dem Physikstudium an der Technischen Universität in Braunschweig. Während seines Studiums arbeitete er mehrmals als Praktikant, später als Werkstudent, in der PTB, zuletzt im Labor von Herrn Landwehr.

1969 erhielt er sein Diplom in Physik mit einer Arbeit zu „Lebensdauermessungen nach dem Photodecayverfahren in Indiumantimonid“, die am Institut B für Physik der TU Braunschweig unter der Leitung von Prof. Kessler durchgeführt wurde. Danach folgte Klaus von Klitzing Herrn Landwehr, der inzwischen eine Professur am Physikalischen Institut der Universität Würzburg übernommen hatte. 1972 wurde er dort promoviert. Thema der Dissertation war „Galvanomagnetische Eigenschaften an Tellur in starken Magnetfeldern“. Nach einem zwischenzeitlichen einjährigen Forschungsaufenthalt an der Universität Oxford habilitierte er sich 1978 an der Universität Würzburg. Das Thema seines Habilitationsvortrages lautete „Das Internationale Einheitensystem“. Nach der Habilitation war Klaus von Klitzing Heisenberg-Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Er hat den Freiraum, den dieses Stipendium bietet, weidlich genutzt und Anfang des Jahres 1980 (genauer in der Nacht des 4. Februar) während eines Gastaufenthaltes am Hochfeld-Magnetlabor des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung, Stuttgart, und des CNRS in Grenoble, den Quanten-Hall-Effekt in Si MOSFETs entdeckt, wofür er – wie schon gesagt – 1985 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurde. Im Herbst 1980 wurde er auf eine C3-Professur an die TU-München berufen und seit Anfang 1985 ist er Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart.

Mit der Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes wurde der nachhaltige und endgültige Beweis erbracht, dass Festkörper und spezielle Halbleiter, was die Grundlagen der Physik angeht, „salonfähig“ geworden waren, ihre Eigenschaften also nicht mehr durch „Dreckeffekte“ bestimmt werden, wie es in den Anfängen der

Festkörperphysik teils verächtlich geäußert wurde, sondern sich mit ihnen grundsätzliche und absolut neue physikalische Fragestellungen studieren lassen, die zudem auch viel unmittelbarer als in vielen anderen Bereichen der Physik zu praktischen Anwendungen führen können. Dass eine der genauesten experimentellen Bestimmungen der Feinstrukturkonstante, die die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung charakterisiert, in einem Festkörper mittels des Quanten-Hall-Effektes geschieht, ist dafür eindrucksvoller Beleg ebenso wie die wissenschaftlichen Ergebnisse, die im heutigen Gauß-Kolloquium präsentiert wurden. Die Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes war somit auch der Anstoß für die Entwicklung eines bis heute höchst aktuellen und spannenden Gebiets der Festkörperphysik, die sich mit den elektronischen Eigenschaften niederdimensionaler Elektronensysteme (und deren Anwendung) beschäftigt. Niederdimensional bedeutet, dass die dreidimensionale räumliche Bewegung der ansonsten freien Elektronen in Metallen oder auch Halbleitern eingeschränkt wird auf zwei-, eine- oder null-Dimensionen. Sind die entsprechenden Dimensionen von der Größenordnung der de-Broglie-Wellenlänge (bzw. freien Weglänge) der Elektronen, also im Bereich einiger 10 nm bis 100 nm, werden Quantisierungseffekte wichtig, die u. a. dazu führen, dass die erlaubten Energiezustände nicht mehr kontinuierlich verteilt sind. Dementsprechend spricht man von Quantenfilmen, Quantendrähten und Quantenpunkten, je nachdem, ob freie Bewegung der Elektronen nur noch in zwei- oder einer Dimension oder überhaupt nicht mehr möglich ist.

Über diese niedrigdimensionalen Quantenstrukturen haben wir heute vormittag ja schon Beeindruckendes gehört, und die wissenschaftlichen Arbeiten von Klaus von Klitzing – auch nach der Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes – beschäftigen sich mit den grundlegenden, z. T. neuen physikalischen Eigenschaften dieser Systeme. Weitere Ingredienzien seiner Arbeit sind tiefe Temperaturen und sehr oft auch hohe Magnetfelder – tiefe Temperaturen, um häufig störende thermische Effekte aufgrund der Bewegung der Atome (Phononen) oder der Elektronen auszuschalten, und hohe Magnetfelder, weil sich z. B. damit u. a. von außen, über die Magnetfeldstärke, die Dimensionalität des elektronischen Systems verändern lässt (z. B. von 2 D auf 0 D).

Obwohl der Quanten-Hall-Effekt an 2-D-Elektronen in Si MOSFETs entdeckt wurde, zeigte sich alsbald, dass Heterostrukturen, das sind Schichtstrukturen aus III-V-Verbindungshalbleitern – GaAs/AlGaAs ist hier das Modellsystem –, die mit modernen Verfahren der Halbleitertechnologie mit atomar kontrollierter Präzision hergestellt werden konnten, bez. ihrer Qualität und Variabilität den Si MOSFETs überlegen waren und sind und daher auch des Weiteren im Fokus der Arbeiten der Klaus-von-Klitzing-Gruppe standen.

Lassen Sie mich einige der Highlights der Arbeiten von Klaus von Klitzing nennen und kurz kommentieren. Aufgrund der Fülle der herausragenden Arbei-

ten kann das nur ein Schnappschuss sein, zudem noch ein subjektiver. Mit insgesamt inzwischen über 650 Veröffentlichungen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften, davon knapp 600 nach 1985, wird man mir das nachsehen (118 PR, 87 JETP Letters, 59 PRL, 33 APL, 3 Nature). – Sollte ich, lieber Herr von Klitzing, hier Wesentliches übersehen oder vernachlässigt haben, haben Sie ja anschließend noch die Möglichkeit, das gerade zu rücken.

Obwohl der Quanten-Hall-Effekt schon 1985 mit dem Nobelpreis „abgesegnet“ wurde und seit 1990 – als die Meterkonvention beschloss, die Einheit des Elektrischen Widerstands, das Ohm, über den Quanten-Hall-Effekt zu reproduzieren, und dazu den Wert der von-Klitzing-Konstante festlegte – zum Alltagsgeschäft der metrologischen Institute gehört, hat er die Wissenschaftler bis heute weltweit (eine Veröffentlichung pro Tag) beschäftigt. Von besonderem Interesse war dabei auch die Frage nach der Stromverteilung innerhalb der Probe im Bereich des Quanten-Hall-Effektes. Klaus von Klitzing entwickelte mit seinen Mitarbeitern eine besonders elegante, technologisch aber extrem anspruchsvolle Technik, die Strom- oder genauer die Potentialverteilung im 2-DEG auszumessen. Dazu wurden elektronenlithographisch 1-Elektron-Tunnel-Transistoren auf die Hall-Strukturen aufgebracht, die als empfindliche Elektrometer fungierten. Damit konnte nachgewiesen werden, dass an den Kanten der Probe im Bereich des Quanten-Hall-Effektes sich abwechselnd leitende und nicht-leitende Streifen bilden, deren Anzahl mit dem Landau-Niveau-Füll-Faktor konsistent ist.

Ähnlich verblüffendes und unerwartetes Verhalten wie beim Quanten-Hall-Effekt selbst fanden von Klitzing und Mitarbeiter, als sie ein 2 DEG bei tiefen Temperaturen und relativ schwachen Magnetfeldern mit Mikrowellen bestrahlten. Wieder fand man dissipationslose Zustände, also verschwindenden Längswiderstand, diesmal allerdings nicht korreliert mit dem Füllfaktor und auch nicht begleitet von quantisierten Werten des Hall-Widerstandes. Die Experimente legen die Deutung nahe, dass sich auch hier ein neuartiger Elektronenzustand ausbildet, der durch das Auftreten von Energielücken charakterisiert ist – meines Wissens ist die Angelegenheit aber noch nicht abschließend geklärt.

Während sich der ganzzahlige („integer“) Quanten-Hall-Effekt, der „von-Klitzing-Effekt“, um die Elektron-Elektron-Wechselwirkung wenig zu kümmern scheint, wird der gebrochenzahlige („fractional“) Quanten-Hall-Effekt, der wenige Jahre später von Horst Störmer und Daniel Tsui entdeckt, von Bob Laughlin theoretisch beschrieben und 1998 ebenfalls mit dem Nobelpreis gewürdigt wurde, durch die e-e-Wechselwirkung entscheidend bestimmt. Diese komplexe Wechselwirkung lässt sich, was den Quanten-Hall-Effekt betrifft, durch die Einführung eines neuen Quasi-Teilchens, des Composite Fermion, elegant beschreiben.

Composite Fermions sind, wie der Name sagt, zusammengesetzte Teilchen, bestehend aus einem Elektron und einer geraden Anzahl magnetischer Flussquanten,

deren Orientierung dem externen Feld entgegen gerichtet ist. Mit diesen Composite Fermions lässt sich der gebrochenzahlige Quanten-Hall-Effekt auf den ganzzahligen von-Klitzing-Quanten-Hall-Effekt, jetzt aber in einem effektiven Magnetfeld, zurückführen. Klaus von Klitzing und Mitarbeitern – hier sind besonders Smet und Kukulshkin zu erwähnen – gelang nicht nur erstmals der direkte Nachweis der Composite Fermions über die Cyclotron Resonance, sondern sie konnten auch aufzeigen, dass der Quanten-Phasenübergang von einem unpolarisierten in einen vollständig spin-polarisierten, fraktionierten Quanten-Hall-Zustand Eigenschaften eines Ising-Ferromagneten zeigt und über die Hyperfein-Wechselwirkung signifikant mit dem Kernspin koppelt. Da diese Wechselwirkung von der Elektronendichte abhängt, lässt sie sich in einer FET-Struktur durch eine externe Gate-Spannung „steuern“, was eine neue spektroskopische Möglichkeit zum Studium der kollektiven, niederenergetischen Anregungen im Elektronensystem eröffnet und möglicherweise auch für die Datenspeicherung interessant werden könnte. Allerdings wurde auch schon in früheren Arbeiten der Gruppe von Klaus von Klitzing das Konzept der Composite Fermions indirekt bestätigt, so z. B. durch „Löcher bohren!“ – d. h. durch die Herstellung und Untersuchung des longitudinalen und Hall-Magnetowiderstandes in periodischen und statistisch verteilten „Antidot“-Gittern in einem hochbeweglichen 2-D-Elektronengas: „Antidots“ sind in der Tat Löcher im 2-DEG mit Durchmesser im Bereich einiger 10 nm bis 100 nm, die durch reaktives Ionenätzen eingebracht werden und als Streuzentren wirken.

Neben den Magneto-Transport-Phänomenen in hochbeweglichen 2-D-Elektronensystemen hat sich Klaus von Klitzing mit seiner Arbeitsgruppe zunehmend dem Studium der elektronischen Eigenschaften in 1-D-Quantendrähten und 0-D-Quantenpunkten gewidmet. Es muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass die physikalischen Untersuchungen an derartigen Quantenstrukturen im allgemeinen eine äußerst anspruchsvolle Technologie mit Strukturierungsmöglichkeiten im Bereich atomarer Dimensionen erfordern. Nanotechnologie, um einmal das Modewort zu benutzen, gehört in diesem Umfeld zum Alltagsgeschäft.

Um Sie nicht noch weiter mit physikalischen Details zu traktieren, möchte ich hier nur ein oder zwei Arbeiten schlagwortartig nennen: z. B. die Studien von Kondo-Resonanzen in Quantenpunkten (Split-Gates), die aufzeigten, dass eine 1:1-Übertragung des so genannten Anderson-Modells zur Beschreibung der Kondo-Resonanzen in Quantenpunkten nicht in Einklang mit den experimentellen Resultaten steht, obwohl dies in früheren Experimenten anderer Autoren angeblich mehrfach bestätigt wurde. Ich erwähne dieses Beispiel, weil es nach meiner Einschätzung etwas Grundsätzliches in der Art der wissenschaftlichen Arbeit von Klaus von Klitzing belegt, was auch schon bei der Entdeckung des Quanten-Hall-Effektes von Bedeutung war, nämlich die Antworten der Natur auf Fragen, die der Physiker mit seinen Experimenten an sie stellt, ernst zu nehmen, auch wenn sie noch so unerwartet sind.

Quantenpunkte sind wunderbare Spielzeuge der Festkörperphysiker, mit denen sich im Prinzip das Periodensystem der Elemente nachbauen lässt, – daher die Bezeichnung „künstliche Atome“, („artificial atoms“). Wenn Quantenpunkte künstliche Atome sind, so dachte sich Klaus von Klitzing, müsste man doch auch „künstliche Moleküle“ machen können, indem man die Quantenpunkte so arrangiert, dass deren elektronische Wellenfunktionen sich gegenseitig spüren und koppeln, und – ich hätte es sonst nicht erwähnt – es gelang ihm über die Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Nachweis des kohärenten elektronischen Transports durch so gekoppelte Quantenpunkte, Quantenmoleküle.

„Klingt alles recht akademisch“, werden Sie vielleicht sagen. Stimmt – Klaus von Klitzing hat sich der Grundlagenforschung verschrieben und sich nie verbogen, indem er Versprechungen machte, dass morgen oder übermorgen daraus ein neues Produkt, Bauelement, Computer oder was auch immer entsteht. Dennoch gilt das, was in der Würdigung der BWG steht, nämlich dass „seine Arbeiten auch die physikalischen Grundlagen für moderne elektronische und optoelektronische Bauelemente legen, wie sie z. B. in Halbleiterlasern (CD, DVD) und extrem schnellen und rauscharmen elektronischen Verstärkern (Handy, Satellitenantennen) bereits in Gebrauch sind“, uneingeschränkt. Herr Weimann hat dies im Symposium heute vormittag mit seinem Vortrag „Mit Quanteneffekten zu neuen Halbleiterbauelementen“ eindrucksvoll belegt. Grundlagenforschung kann und darf aber nicht unter dem Zwang stehen, absehbar Verwertbares zu erarbeiten. Sie hat ihre Rechtfertigung an sich. Dafür hat Klaus von Klitzing permanent geworben und hat es durch seine erfolgreiche wissenschaftliche Arbeit beispielhaft belegt.

Eine Würdigung von Klaus von Klitzing bliebe unvollständig, wenn nicht auch seine „Mannschaft“, also seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erwähnt würden. Bei allem Respekt vor der wissenschaftlichen Leistung von Klaus von Klitzing – es braucht auch einen qualifizierten und motivierten Mitarbeiterstab, und es ist ein herausragendes Charakteristikum von Klaus von Klitzing, dass er seine Begeisterung für seine Physik nicht nur auf seine meist jungen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sondern auf jeden, der sich für Physik interessiert, übertragen kann.

Die BWG ist stolz auf den Träger der Gauß-Medaille des Gauß-Jahres 2005; mit dem kleinen Schönheitsfehler, dass der Träger zuvor schon den Nobelpreis erhalten hat, können wir gut leben. Wir wünschen Ihnen, lieber Herr von Klitzing, noch viele Jahre erfolgreichen wissenschaftlichen Arbeitens und Ihnen und uns, dass die Gauß-Medaille Ihre Verbindungen – und die Ihrer Gemahlin – zu Braunschweig auffrischt und intensiviert.

Wir freuen uns auf Ihren Vortrag.