Quantenpunkte

QUANTENTECHNOLOGIE · SENSORIK, MEDIZIN UND MATERIALIEN

Gold ist golden. So selbstverständlich ist das, dass man das Wort für die Farbe benutzt. Doch zerkleinert man Gold zu Teilchen von wenigen Millionstel Millimetern, schimmern sie plötzlich bläulich oder rubinrot, je nach Größe [1]. Das ist kein Trick der Chemie, sondern Quantenphysik. In Teilchen dieser Größe haben die Elektronen so wenig Platz, dass die Größe selbst bestimmt, wie der Stoff mit Licht umgeht.

Aus dieser Beobachtung ist eine ganze Technologie geworden. Quantenpunkte, winzige Halbleiterkristalle, die je nach Größe in einer anderen Farbe leuchten, stecken heute in Fernsehern, Lampen und Laboren. 2023 gab es dafür den Nobelpreis für Chemie.

Wie klein ist klein?

Ein Quantenpunkt ist ein Kristall, der oft nur aus einigen Tausend Atomen besteht. Das Nobelkomitee hat einen anschaulichen Vergleich gefunden: Ein Quantenpunkt verhält sich in seiner Größe zu einem Fußball wie ein Fußball zur Erde [1]. Typische Durchmesser liegen bei wenigen Nanometern, also Millionstel Millimetern.

In einem gewöhnlichen Stück Halbleiter können sich die Elektronen über riesige Entfernungen bewegen, verglichen mit ihrer Wellenlänge. In einem Quantenpunkt stoßen sie überall an Wände. Und hier gilt dieselbe Regel wie beim einfachsten Beispiel der Quantenmechanik, dem Teilchen im Kasten, das wir im Artikel über die Schrödinger-Gleichung ausführlich durchrechnen. Ein eingesperrtes Elektron darf nur bestimmte Energien haben, und deren Abstände hängen von der Größe des Kastens ab:

$$E_n \propto \frac{n^2}{L^2} \tag{1}$$

Je kleiner der Kasten, also der Kristall, desto weiter liegen die erlaubten Energiestufen auseinander. Springt ein Elektron zwischen ihnen hin und her, sendet es Licht aus, dessen Farbe dem Abstand der Stufen entspricht. Große Abstände bedeuten energiereiches, blaues Licht, kleine Abstände rotes. Ein und derselbe Stoff kann so in allen Farben des Regenbogens leuchten, man muss nur die Größe einstellen (Abb. 1).

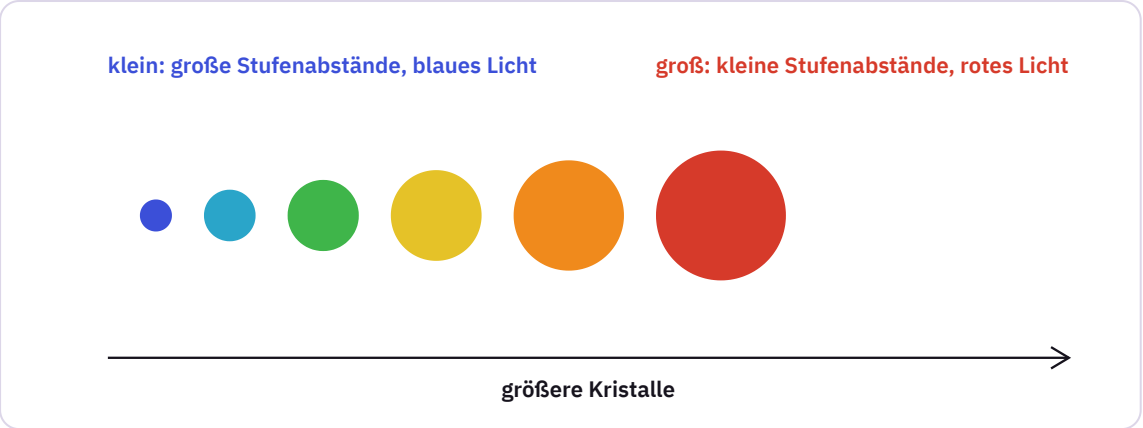


Abb. 1: Prinzip der Quantenpunkte: Derselbe Stoff leuchtet je nach Kristallgröße in einer anderen Farbe. Schematisch, eigene Darstellung nach [1].

Der Physiker Herbert Fröhlich hatte schon 1937 vorhergesagt, dass sich Nanoteilchen anders verhalten müssten, als Folge der Schrödinger-Gleichung [1]. Aber jahrzehntelang konnte niemand so kleine Strukturen gezielt herstellen.

Ein Rätsel im bunten Glas

Die Lösung kam aus einer überraschenden Richtung, nämlich von einem uralten Handwerk. Glasmacher wussten seit Langem, dass derselbe Zusatz ein Glas je nach Erhitzen und Abkühlen gelb oder rot färben kann. Ende der Siebzigerjahre nahm sich der junge sowjetische Physiker Alexei Jekimow am Staatlichen Optischen Institut in Leningrad dieses Rätsels an. Er färbte Glas mit Kupferchlorid, erhitzte es unterschiedlich lange auf 500 bis 700 Grad und untersuchte es mit Röntgenstrahlen. In den Gläsern hatten sich winzige Kristalle gebildet, je nach Behandlung zwischen etwa 2 und 30 Nanometern groß, und je kleiner sie waren, desto blauer war das Licht, das sie schluckten [1]. Jekimow erkannte darin einen Quanteneffekt und veröffentlichte ihn 1981 [2].

Seine Arbeit erschien in einer sowjetischen Fachzeitschrift, die im Westen kaum jemand las. So entdeckte der Amerikaner Louis Brus an den Bell Laboratories denselben Effekt unabhängig davon noch einmal. Er arbeitete eigentlich daran, mit Sonnenlicht chemische Reaktionen anzutreiben, und bemerkte, dass sich die optischen Eigenschaften seiner Cadmiumsulfid-Teilchen veränderten, wenn sie eine Weile auf dem Labortisch standen. Er vermutete, dass die Teilchen gewachsen waren, und verglich gezielt Teilchen von etwa 4,5 und 12,5 Nanometern. Die kleineren schluckten blaueres Licht [1],[3]. Brus zeigte damit 1983 als Erster den Effekt an Teilchen, die frei in einer Flüssigkeit schwebten.

Vom Labor in den Fernseher

Ein Problem blieb: Die Teilchen waren unterschiedlich groß und oft fehlerhaft, und unterschiedlich große Teilchen leuchten in unterschiedlichen Farben. Für Anwendungen brauchte man Kristalle, die alle fast gleich groß sind. Das gelang 1993 Moungi Bawendi am

Massachusetts Institute of Technology. Seine Gruppe spritzte die Ausgangsstoffe in ein heißes, sorgfältig ausgewähltes Lösungsmittel, sodass überall gleichzeitig winzige Kristallkeime entstanden, und ließ sie dann durch genaue Temperatursteuerung gleichmäßig wachsen [1],[4]. Das Verfahren war einfach genug, dass bald Chemiker in aller Welt Quantenpunkte herstellen konnten.

Heute leuchten Quantenpunkte in Fernsehern und Bildschirmen, die mit dem Kürzel QLED beworben werden, wobei das Q für Quantenpunkt steht. Dort erzeugen effiziente Leuchtdioden blaues Licht, und Quantenpunkte verwandeln einen Teil davon in Rot und Grün, sodass die drei Grundfarben für das Bild entstehen. In manchen LED-Lampen machen sie das kalte Diodenlicht wärmer. Biochemiker heften Quantenpunkte an Moleküle, um Zellen und Organe sichtbar zu machen, und Ärzte untersuchen, ob sie damit Tumorgewebe im Körper verfolgen können [1].

Was noch kommen könnte

Die Forscher erwarten, dass Quantenpunkte künftig zu biegsamer Elektronik, winzigen Sensoren, dünneren Solarzellen und vielleicht auch zu verschlüsselter Quantenkommunikation beitragen [5]. Für die Quantenkommunikation sind sie interessant, weil ein einzelner Quantenpunkt einzelne Photonen auf Kommando aussenden kann, genau das, was man für abhörsichere Verbindungen braucht. Mehr dazu in den Artikeln über Quantenkryptographie und das Quanteninternet.

Ein Wermutstropfen gehört allerdings zur Wahrheit: Viele der leuchtstärksten Quantenpunkte enthalten Cadmium, ein giftiges Schwermetall. In der Europäischen Union gilt für Cadmium in Elektrogeräten ein strenger Grenzwert. Die Ausnahme, die cadmiumhaltige Quantenpunkte für die Hintergrundbeleuchtung von Bildschirmen erlaubte, ist am 21. November 2025 ausgelaufen, eine weitere für Quantenpunkte direkt auf LED-Chips endet Ende 2027 [6]. Die Hersteller setzen deshalb zunehmend auf cadmiumfreie Materialien.

Das Nobelkomitee hat die Bedeutung der Quantenpunkte mit einem schönen Bild beschrieben: Das Periodensystem habe gewissermaßen eine dritte Dimension bekommen [1]. Neben der Zahl der Elektronen bestimmt im Nanomaßstab auch die Größe, wie sich ein Stoff verhält. Eine Gleichung aus dem Jahr 1926 entscheidet heute darüber, welche Farbe Ihr Fernseher zeigt.

Zum Weiterlesen

Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper

Wolfgang Demtröder · Springer Spektrum · ISBN 978-3-662-49093-8

Erklärt Halbleiter, Energiebänder und Quanteneffekte in kleinen Strukturen mit allen Rechnungen.

Bei Amazon ansehen*

* Werbelink: Kaufen Sie über diesen Link, erhalten wir von Amazon eine kleine Provision, am Preis ändert sich für Sie nichts. Mehr Empfehlungen auf unserer Seite Bücher zur Quantenphysik.

Quellen

1. A. Fernholm: *They added colour to nanotechnology.* Popular information, Nobel Prize in Chemistry 2023. Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften. nobelprize.org.
2. A. I. Ekimov, A. A. Onushchenko: *Quantum size effect in three-dimensional microscopic semiconductor crystals.* In: JETP Letters 34 (1981), S. 345–349.
3. R. Rossetti, S. Nakahara, L. E. Brus: *Quantum size effects in the redox potentials, resonance Raman spectra, and electronic spectra of CdS crystallites in aqueous solution.* In: The Journal of Chemical Physics 79 (1983), S. 1086–1088, doi:10.1063/1.445834.
4. C. B. Murray, D. J. Norris, M. G. Bawendi: *Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites.* In: Journal of the American Chemical Society 115 (1993), S. 8706–8715, doi:10.1021/ja00072a025.
5. Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften: *Press release: The Nobel Prize in Chemistry 2023.* 4. Oktober 2023. nobelprize.org.
6. Delegierte Richtlinie (EU) 2024/1416 der Kommission zur Änderung von Anhang III der Richtlinie 2011/65/EU (Ausnahmen für Cadmium in Quantenpunkten). Amtsblatt der EU. eur-lex.europa.eu.

Zitiervorschlag

```
quanten.de: Quantenpunkte. Stand: Oktober 2026. URL:
https://quanten.de/quantenpunkte.html (PDF:
```

```
https://quanten.de/pdf/quantenpunkte.pdf)
```

Texte und Abbildungen © 2026 quanten.de. Nutzung mit Quellenangabe und Link gern, kommerzielle Nutzung nach Absprache: info@quanten.de

Weiterlesen: Die Schrödinger-Gleichung · Wie funktioniert ein Transistor? · Was ist ein Photon? · Der Laser

---

Online-Fassung mit aktualisierten Quellen: https://quanten.de/quantenpunkte.html