

## Quanten-Wunderjahr 1925

# Werner Heisenberg: Der Außenseiter, dem die Neuordnung der Physik gelang

Trotz Selbstzweifeln und teils schlechter Noten trug er die Hoffnungen einer krisengeschüttelten Physik auf seinen Schultern. Im Juni 1925 gelang ihm der Durchbruch

Reinhard Kleindl

Der Standard, 8. Juni 2025



*Werner Heisenberg im Alter von 28 Jahren. Seine größte wissenschaftliche Leistung war zu diesem Zeitpunkt bereits erbracht.*

Beinah wäre alles anders gekommen. Eigentlich wollte Werner Karl Heisenberg Mathematik studieren. Das Fach interessierte ihn, und die schulischen Leistungen hatten auch gepasst. Doch der junge Heisenberg musste ein Vorstellungsgespräch absolvieren, das so schlecht lief, dass ihm ein Platz an der Mathematikfakultät verweigert wurde.

Heisenbergs Vater, ein Universitätsprofessor für byzantinische Philologie, sprach mit seinem Freund Arnold Sommerfeld, der an der Münchner Universität Professor für Theoretische Physik war. Der junge Mann, der sich glücklicherweise auch für Physik interessierte, wusste damals nicht, dass er an gerade dem Ort gelandet war, von dem eine nie dagewesene Revolution der Physik ihren Ausgang

nehmen würde. Ebenso wenig konnte er ahnen, dass er es sein würde, dem der Durchbruch gelingen sollte.

## **Jahrzehnte der Unklarheit**

Tatsächlich ist Heisenbergs Biografie von zahlreichen Niederlagen und Rückschlägen gekennzeichnet, für die es verschiedene Gründe gab. Geboren wurde er 1901 im deutschen Würzburg, bevor die Familie nach Schwabing umzog, weil sein Vater in München eine Professur erhielt. Dass Heisenberg dort das Maximilians-Gymnasium besuchen konnte, war kein Nachteil, war dort doch 40 Jahre zuvor bereits Max Planck zur Schule gegangen, der später als Erster das Konzept der Energiequanten in die Physik einführen sollte.

Als Werner Heisenberg zu Arnold Sommerfeld an die Universität kam, lag diese Entdeckung bereits fast zwei Jahrzehnte zurück. Inzwischen hatte Plancks Quantum langsam, aber stetig Besitz von der Physik des Kleinsten ergriffen und sie gewissermaßen in Teile zerrissen. Zahlreiche Experimente passten nicht mehr zu der gängigen Vorstellung von der Materie, die vor Plancks Zeit vorgeherrscht hatte. Was aber noch schlimmer war: Sie schienen auch nicht zueinanderzupassen.

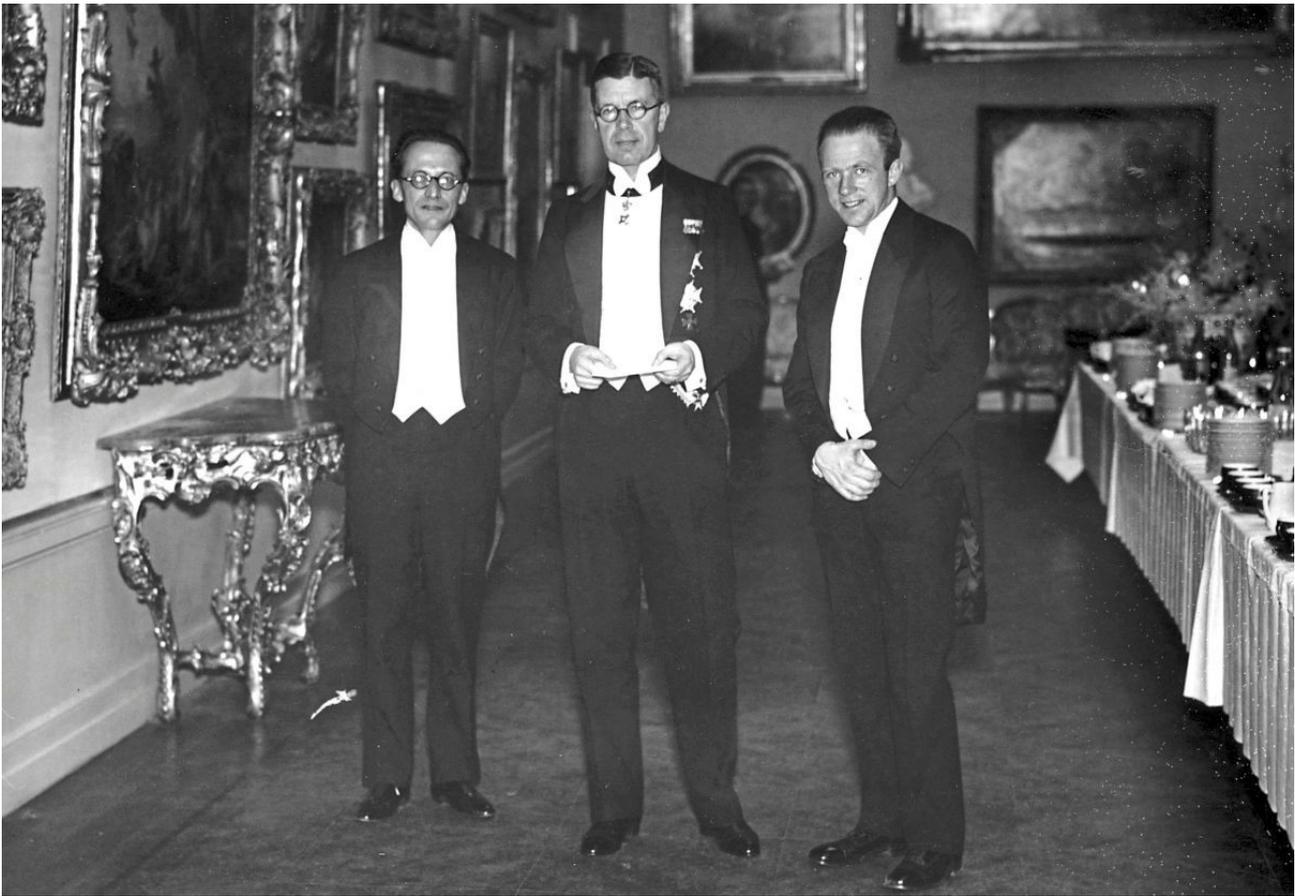
## **"Kleines" Problem**

Heisenberg schüchternete das nicht ein. Er bekannte freimütig, dass er sich mit der verwirrenden Welt der Quanten beschäftigen wollte, woraufhin Sommerfeld, ein Mann mit strenger Miene und beeindruckendem Schnauzbart, ihm erklärte, dass er zu große Erwartungen habe. Vielleicht wisse Heisenberg etwas, vielleicht nicht, man werde sehen.

Heisenberg war bereit, es darauf ankommen zu lassen. In München lernte er einen ebenso streitbaren wie brillanten Wiener Studenten kennen: Wolfgang Pauli. Pauli war in vieler Hinsicht das genaue Gegenteil von Heisenberg, doch ihr fachliches Interesse verband sie und ließ sie zu Weggefährten werden.

Die Gelegenheit, sich zu beweisen, bekam Heisenberg bald. Sommerfeld gab ihm eine Aufgabe, die er als "kleines Problem der Atomphysik" bezeichnete. Es ging um eine sonderbare Aufspaltung der Spektrallinien von Spektrallinien in einem Magnetfeld. Es war Pauli, der Heisenberg darauf aufmerksam machte, dass dahinter nichts Geringeres steckte als das ungelöste Quantenproblem, das helfen könnte, den fieberhaft gesuchten Zusammenhang zwischen den verschiedenen Quantenphänomenen herzustellen.

Dem unbedarften Heisenberg gelang es, eine Lösung zu präsentieren. Korrekt ist sie nach heutigem Wissen nicht, doch Arbeiten wie diese waren es, die Türen öffnen konnten. Sommerfelds Umfeld in München war zwar die wichtigste Nachwuchsschule für Quantenphysiktalente, doch die wirklich bahnbrechenden Arbeiten passierten bei Niels Bohr in Kopenhagen. Alle wollten dorthin, inklusive Pauli und Heisenberg.



*Die Konkurrenten um die erste Formulierung der Quantenphysik, Werner Heisenberg (rechts) und Erwin Schrödinger (links), bei der Nobelpreistafel im Nationalmuseum in Stockholm.*

### **Turbulente Dissertation**

Doch zuvor musste Heisenberg seinen Abschluss machen. Der aufstrebende Physiker, der den Ruf hatte, alles Unwesentliche beiseitezulassen und nur am Kern der Dinge interessiert zu sein, hatte sich im damaligen offenen Studiensystem kaum Kenntnisse abseits der Atomphysik angeeignet. Bevor er ganz in dieses Gebiet abtauchte, sollte er zumindest irgendwann seinen Fokus erweitert haben. Als Dissertationsthema musste er sich daher mit dem Problem der Turbulenz in Flüssigkeiten befassen.

Doch bei der abschließenden mündlichen Prüfung kam Heisenberg ins Straucheln. Es gelang ihm nicht, einfachste physikalische Konzepte, etwa die Funktion eines Fernglases oder einer Batterie, zu erklären. Einer der Prüfer, der Experimentalphysiker Wilhelm Wien, wollte daher den Abschluss Heisenbergs verhindern. Schließlich wurde ihm mit der zweitschlechtesten möglichen Note gnadenhalber die Doktorwürde verliehen. Heisenbergs Selbstvertrauen war schwer angeschlagen. Etwa zur gleichen Zeit erhielt Pauli die ersehnte Stelle bei Bohr in Kopenhagen.

Auch wenn Heisenberg und Pauli in Konkurrenz zueinander standen und ihr Ton manchmal durchaus rau war – vor allem Pauli hatte vor fast nichts und niemandem Respekt (außer vor Sommerfeld) und behielt keine Kritik für sich –, tauschten sie sich intensiv und gewinnbringend aus. Das war nicht selten auch zu Heisenbergs Vorteil. So war es Pauli, der ihm abriet, seine Energie für Relativitätstheorie aufzuwenden. In der Quantenphysik sei mehr zu holen. Obwohl Pauli Kopenhagen enttäuscht und ohne wesentliche Ergebnisse verlassen musste, hinderte ihn das nicht daran, gegenüber Bohr eine Empfehlung für Heisenberg auszusprechen: Er halte Heisenberg "für sehr bedeutend, sogar für genial", schrieb er.

Nicht, dass das unbedingt nötig gewesen wäre, Bohr kannte den jungen Physiker aus Sommerfelds Kaderschmiede bereits und hatte ihn zuvor schon nach Kopenhagen zu holen versucht. Als Heisenberg erst dort war, machten die eigentlich vielbeschäftigte Koryphäe Bohr und er lange Wanderungen, bei denen sie sich über Gott und die Welt unterhielten. Der naturverbundene Heisenberg war, im Gegensatz zu Pauli, der das Nachtleben liebte, dabei ganz in seinem Element.

Wohl fühlte er sich in Kopenhagen anfangs nicht, war er doch von den Besten der Besten des Gebiets umgeben, die zum Teil viel mehr wussten als er. Doch Bohr schien das egal zu sein, er hatte sich seine eigene Meinung gebildet. "Nun liegt es in Heisenbergs Hand – einen Weg aus den Schwierigkeiten zu finden."

### **Nur beobachtbare Größen**

Tatsächlich hatte Heisenberg einen Vorteil gegenüber umfassender ausgebildeten Kollegen wie etwa Pauli, der ein von Einstein in den höchsten Tönen gelobter Experte für die Relativitätstheorie war. Er konzentrierte sich auf eine wesentliche, einfache Idee: dass eine Theorie nur mit den Größen arbeiten sollte, die auch beobachtbar sind.

Das klingt aus naturwissenschaftlicher Sicht einfach und naheliegend, hatte aber in diesem Fall tiefgreifende Konsequenzen. Es bedeutete, dass Heisenberg sich von der Vorstellung löste, das Elektron würde den Atomkern umkreisen wie ein Planet. War es, so fragte er sich, vielleicht möglich, all diese speziellen Details zu umgehen und direkt eine Verbindung zwischen messbaren Größen herzustellen, zu dem Preis, dass die Theorie vielleicht nur ein mathematisches Konstrukt war, das sich niemand vorstellen konnte?

Heisenberg wollte diesen Zugang am Spektrum des Wasserstoffatoms testen. Wie die anderen Atome besitzt Wasserstoff einen Kern und Elektronen, in diesem Fall nur sogar nur ein einziges. Führt man diesem Elektron Energie zu, wird es sie über kurz oder lang in Form von Licht wieder abstrahlen. Dass dabei nur ganz bestimmte Lichtfrequenzen erlaubt sind, das sogenannte Spektrum, ist eine der Wunderlichkeiten der Quantenwelt, die sich niemand gut erklären konnte. Sein Ziel war es, ihre Intensitäten zu berechnen. Das war zuvor noch nie gelungen.

In seinem Buch Physik und Philosophie schreibt er später darüber: "Hier musste man zwar den Begriff der Elektronenbahn zunächst aufgeben, aber man konnte ihn doch im Grenzfall hoher Quantenzahlen, d. h. großer Bahnen, angenähert aufrecht erhalten. So ergab sich von selbst die Idee, dass man die mechanischen Gesetze nicht niederschreiben sollte in Form von Gleichungen für die Orte und Geschwindigkeiten der Elektronen [...]."

<https://www.youtube.com/watch?v=CvZayXHvJm0&t=19s> Werner Heisenberg speaking about atomic physics

### **Innenleben des Atoms**

In Anlehnung an Konzepte von Bohr erkannte Heisenberg, dass man die Bahn des Elektrons als zusammengesetzt aus anderen Kurven verstehen konnte. Das mathematische Konzept dahinter heißt Fourier-Transformation. Etwas Ähnliches begegnet uns auch im Alltag, wenn etwa bei einem lauten Händeklatschen die Saiten eines Instruments zu klingen beginnen.

Das lässt sich so verstehen, dass in dem Klatschen die Töne enthalten sind, die die Saiten zum Schwingen bringen. Mehr noch: Menschen, die mit Tontechnik zu tun hatten, wissen, dass sich das

Klatschen komplett aus solchen einzelnen Tönen aufbauen lässt, sofern genügend Saiten vorhanden sind.

Bei Heisenberg ist auch die Bahn eines Elektrons als aus einzelnen, fundamentaleren Einheiten aufgebaut. Diese Einheiten beschreiben die möglichen Aufenthaltsorte des Elektrons für bestimmte Energien. Zur Erinnerung: Nur bestimmte Energien sind erlaubt, hier kommen die Energiequanten von Max Planck ins Spiel.

### **Durchbruch auf Helgoland**

Das Rätsel, wie sich diese Elemente zur Vorhersage der Intensitäten des Elektronenspektrums nutzen lassen, löste Heisenberg im Juni 1925 auf der deutschen Insel Helgoland, auf die er sich aufgrund eines schweren Anfalls von Heuschnupfen zurückgezogen hatte. Mit geschwellenem Gesicht und zwei Wochen Urlaub traf er am 8. Juni dort ein. Schwimmen und Lesen von Goethe ließen ihn schnell gesunden, sodass er sich erneut dem Atom zuwandte. Einige Tage später stand um drei Uhr früh plötzlich die Lösung vor ihm auf einem Blatt Papier. Unfähig zu schlafen, machte er eine Wanderung, kletterte auf einen Felsen am Meer und wartete dort auf den Sonnenaufgang.

Es dauerte noch Jahre, bis die Fachwelt Heisenbergs Durchbruch verdaut und gelernt hatte, ihn richtig zu interpretieren. Währenddessen drohte für einige Zeit die elegante Gleichung des Österreichers Erwin Schrödinger, Heisenbergs komplizierte Lösung zu verdrängen, bis man sie als unterschiedliche Formulierungen der gleichen mathematischen Wirklichkeit erkannte. 1932 bekam er schließlich den Nobelpreis zugesprochen, ein Jahr vor Schrödinger.



*Hier erhält Heisenberg den Nobelpreis aus der Hand des schwedischen Königs.*

## **Verbleib in Deutschland**

Damit befand sich Heisenberg auf dem Höhepunkt seiner Karriere. Während seine wissenschaftliche Leistung international unumstritten war, wurde seine politische Haltung ab den 30er-Jahren vielfach skeptisch beäugt. Man kann Heisenberg sicherlich nicht nachsagen, dass er ein strammer Nazi war, aber während viele seiner Kollegen nach Hitlers Machtergreifung freiwillig oder unfreiwillig aus Deutschland flohen, scheute Heisenberg nicht davor zurück, hohe wissenschaftliche Positionen in Nazi-Deutschland zu bekleiden.

So spielte er auch eine gewichtige Rolle im deutschen Uranverein, der damit betraut war, die Entwicklung von Nuklearwaffen für Deutschland voranzutreiben – wenngleich mit überschaubaren Ergebnissen. Als er von dem Atombombenabwurf auf Hiroshima hörte, belauschte ihn der britische Geheimdienst dabei, wie er sagte: "Ich glaube kein Wort von der ganzen Sache." In den USA war gelungen, was er für unmöglich gehalten hatte.

Was seinen Durchbruch vor hundert Jahren angeht, bleibt er in seinem Buch *Physik und Philosophie* bescheiden: "Dieses Programm konnte tatsächlich durchgeführt werden. Es führte im Sommer 1925 zu einem mathematischen Formalismus, der 'Matrizenmechanik' oder allgemeine Quantenmechanik genannt wurde." Die Welt war danach nicht mehr dieselbe. (Reinhard Kleindl, 8.6.2025)

## **Mehr zum Thema**

[Als ein "nur mit Einstein vergleichbares" Genie das Quanten-Wunderjahr 1925 einläutete](#)

[Wie die Quantenphysik mit unserer Vorstellung von Realität aufräumt](#)

[Was der Nobelpreis für den Quantenphysiker Anton Zeilinger mit Albert Einstein zu tun hat](#)

[Schrödingers verlorene Ehre – und ein Versuch ihrer Wiederherstellung](#)