

# Ein Grundpfeiler wissenschaftlicher Methodik

Experimente sind für den wissenschaftlichen Fortschritt unbadigbar. Ohne sie wären viele wichtige Erkenntnisse, denen wir unser heutiges modernes Leben verdanken, nicht möglich gewesen. Eine neue Rubrik will die Leistungen früherer Forscherinnen und Forscher würdigen, die mit ihren Experimenten diesen Fortschritt erst ermöglicht haben.

## Begriffsklärung

Der Begriff Experiment stammt vom lateinischen *experiri* (in Erfahrung bringen) ab und wird als das lateinische *experimentum* im Sinne von «Probe, Versuch, Überprüfung» angewandt.

In der Naturphilosophie des Altertums bedeutet der Begriff grundsätzlich nur die Beobachtung eines Vorgangs, während er darüberhinaus im modernen, naturwissenschaftlichen Kontext als eine methodisch angelegte Untersuchung zur empirischen Gewinnung von Information über den zu untersuchenden Vorgang definiert ist.

Das Experiment ist ein Grundpfeiler wissenschaftlicher Methodik und wohl das wichtigste Werkzeug zur Überprüfung, Erweiterung oder Verwerfung von bestehenden Hypothesen und Theorien. Es ist der entscheidende Faktor, welcher wissenschaftliche Erkenntnis von (natur)philosophischer,

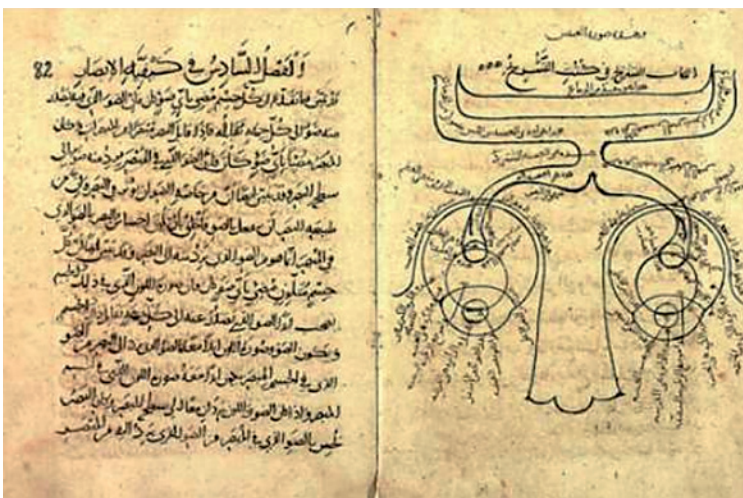
esoterischer oder religiöser unterscheidet. Eine Aussage wird wissenschaftlich nur dann als diskussionswürdige Theorie angesehen, wenn sie durch ein Experiment empirisch überprüft, beziehungsweise besser formuliert: widerlegt werden kann.

Des Weiteren bedeutet der Begriff im schulischen Kontext vereinfachend oft nur die Veranschaulichung theoretischen Lehrstoffs durch von der Lehrperson oder die Schülerschaft selber durchgeführte Prozeduren naturwissenschaftlicher oder psychologischer Natur.

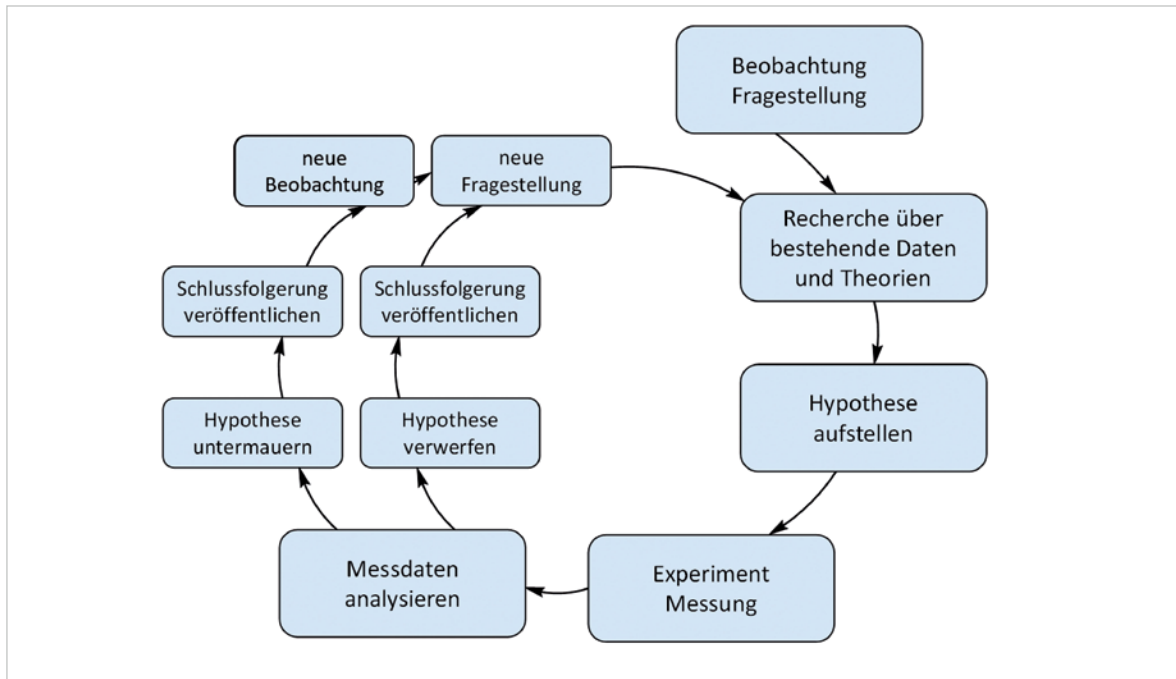
## Alhazens optische Experimente

Die ersten, an die moderne naturwissenschaftliche Methodik erinnernden Versuche, welche breite Bekanntheit erlangten, wurden vom arabischen Mathematiker Alhazen (auch Al-Haytham; 965-1040) auf dem Gebiet der Optik durchgeführt. Angeregt durch die ptolemäischen Erörterungen zur Mathematik der Optik experimentierte er mit verschiedenen Glaslinsen in einer Camera obscura und gelangte so zur wissenschaftlich fundierten Schlussfolgerung, dass die damals vorherrschende Erklärung des Sehvorgangs durch Sehstrahlen nach Platon und Euklid falsch sein musste.

Sein «Buch der Optik» (arab.: *Kitāb al-Manāzīr*; lat.: *De Aspectibus*) fasste seine empirisch gestützten Schlussfolgerungen, wie die ersten optischen Gesetze oder die Prinzipien von Lichtreflexion und



Anatomische Darstellung des menschlichen Sehsystems in Alhazens *Kitāb al-Manāzīr* (1493). (Bild aus McQuaid (2019))



Vereinfachte graphische Darstellung naturwissenschaftlich-forschender Tätigkeit (umgangssprachlich oft als wissenschaftliche Methode bezeichnet. (Bild: R. Oetterli)

-brechung, zusammen. Seine Linsen-Experimente bildeten die Grundlage für die bald darauf entwickelten Brillen und sein Buch galt bis tief in die Zeit der Renaissance hinein als Masstab «wissenschaftlicher» Vorgehensweise – auch wenn es diesen Begriff so noch nicht gab.

Zusätzlich zu seinen mathematischen, optischen und astronomischen Arbeiten, veröffentlichte Alhazen seine wissenschafts-methodologischen Überlegungen zu induktiv-experimentellen Versuchen und legte somit das Fundament, auf welchem im Europa der Aufklärung dann Persönlichkeiten wie Francis Bacon oder Robert Boyle die moderne wissenschaftliche Methodik entwickelten.

### Galileos Experimente zum Fallen von Objekten

Galileo Galilei (1564-1642) wird gemeinhin als der Begründer der modernen Naturwissenschaften angesehen. Seiner Methodik zufolge sollten Beobachtungen anhand geplanter Experimente mit möglichst genauen Messungen quantifiziert werden und diese Messergebnisse dann mit den Mitteln der Mathematik analysiert werden. Diesen empirisch gestützten Ergebnissen sei in jedem Fall Vorrang zu geben vor rein philosophisch oder theologisch begründeten Aussagen – eine Ansicht, die

ihm bekanntlich einiges an Unannehmlichkeiten bescherte. Ein weithin verbreiteter Irrtum – naturwissenschaftshistorische *Fake News* sozusagen – ist, dass Galileo die von ihm beschriebenen Experimente gar nicht durchgeführt habe. Dieser inzwischen widerlegte Vorwurf geht in erster Linie auf das vielzitierte Experiment zum freien Fall verschiedenen schwerer Kugeln vom schiefen Turm von Pisa zurück, welche er tatsächlich nie selber durchgeführt hat – was er allerdings auch nie behauptet hätte. Andere Experimente, wie die für die Aufklärung der Fallgesetze genauso grundlegenden Experimente in der schiefen Ebene, hat er nämlich sehr wohl durchgeführt, was aus den erst in den 1960er-Jahren studierten handschriftlichen Messprotokollen hervorgeht.

### Es gibt verschiedene «Typen» von Experimenten

Galileos Experimente zum Fallverhalten entspricht einem Typ Experiment, der primär durch Sammlung von (Mess)daten und deren anschliessender Auswertung zu einer Gesetzmässigkeit führt. Andere Beispiele für diesen Typ wären Keplers Gesetze der Planetenbewegung, die auf Brahes astronomischen Messungen basierten, oder die Evolutionstheorie, die auf den umfassenden Auf-

zeichnungen Darwins zum Beispiel über die Variabilität der Tierarten fusst.

Ein anderer Typ Experiment basiert auf einem strategisch oft faszinierenden experimentellen Aufbau zum Zweck der Prüfung oder Widerlegung einer bestehenden Hypothese oder Theorie. Auch hier, wie bei aller wissenschaftlichen Betätigung, ist Messgenauigkeit unabdingbar. Als Beispiel hierfür wären wohl Lavoisiers Oxidationsexperimente zu nennen, durch welche er mittels sehr genauer Wägedaten nicht nur die damals vorherrschende Phlogistontheorie widerlegen konnte, sondern auch gleich die Ära der modernen Chemie einläutete.

### Früchte des technologischen Fortschritts

Es gibt den Typ Experiment, welchem stets eine technologische Neuerung vorangeht. Im 17. Jahrhundert schreitet zum Beispiel die Linsentechnologie derart voran, dass erste Mikroskope gebaut werden können und auf einmal erschliesst sich dem Experimentator eine ganz neue Welt. Da gibt es Mikroorganismen. Eine Entdeckung, die schliesslich zur Keimtheorie und einer kompletten Neuorientierung der Medizin führt. Da zeigt sich, dass Leben aus Zellen besteht. Das Erbgut wird entdeckt und nach vielen experimentellen Schlussfolgerungen heilen wir heute die ersten Erbkrankheiten mit Gentherapien.

Ein anderes Beispiel für eine technische Neuerung wäre das Cyclotron – Vorläufer heutiger Teilchenbeschleuniger. Es führt nicht nur zur Erweiterung des Periodensystems um viele neue Elemente, es verwandelt auch das gemütliche Stelldichein der damals bekannten subatomaren Partikel Elektron, Proton und Neutron in ein Tohuwabohu aus einer Vielzahl neuer Teilchenarten, welche wild durcheinander nach einer weit umfassenderen theoretischen Grundlage schreien, dem heutigen Standardmodell der Teilchenphysik.

Schliesslich wäre da noch der Typ Experiment, der durch die Kombination aus Zufall und einem wachen Geist zu wissenschaftlichen Erdbeben führt. So wie bei Becquerel, der an einem kalten Februarnachmittag 1886 seine Uransalze zur Seite legte, weil sich die für seine beabsichtigten Experimente notwendige Sonne einfach nicht zeigen wollte. Kurz darauf entdeckt er die Radioaktivität. Oder Fleming, der nach der Rückkehr aus sei-

nen Ferien Petrischalen aussortierte und dabei auf etwas Seltsames stiess. Das Zeitalter der Antibiotika hatte begonnen.

### Die wundervolle Welt der Experimente

Die Welt der Experimente ist voll von atemberaubend cleveren Ideen. Einstein hatte in seiner Gravitationstheorie, die erst viele Jahre später als allgemeine Relativitätstheorie weltbekannt werden sollte, vorausgesagt, dass und um wieviel sich Lichtstrahlen eines Sterns um eine genügend grosse Gravitationsquelle biegen. Wie aber sollte man diese Behauptung prüfen, wenn genügend schwere Massen nur in Form von Sonnen vorkommen und deren Licht das zu messende Licht eines Sterns dahinter um Grössenordnungen überstrahlt? Oder: Wie lässt sich die Vorstellungswelt eines Schimpansen erforschen, wo doch eine sprachliche Kommunikation mit ihm ausgeschlossen ist? Wie kann man nachweisen, ob Licht nun ein Teilchen, eine Welle oder beides gleichzeitig oder nichts von beidem ist? Wie lässt sich das Konzept des freien Willens experimentell erforschen? Wie hat Herschel infrarotes Licht nachgewiesen, obwohl man es nicht sehen kann?

Dieser Beitrag ist der Startschuss für eine vierteljährliche Kolumne über die wundervolle Welt der Experimente – die grossen Durchbrüche und die genial ausgeheckten Ideen dahinter. Auch die Fallen sollen beschrieben werden, in die man als Experimentator tappen kann und die die Aussagekraft eines Experiments zunichte machen – wie grandiose Fehlüberlegungen, Voreingenommenheit oder sogar bewusster Betrug.

Es soll von den grossen Momenten der Geschichte unserer Zunft berichtet werden. Aber es soll immer auch Platz dafür bleiben, aktuelle Experimente in ihren Kontext zu stellen, zu evaluieren und zu erklären. Ich hoffe Sie freuen sich gleichermaßen darauf, diese Rubrik zu lesen, wie ich mich darauf freue, sie zu schreiben.

René M. Oetterli

Der Autor ist Chemielehrer am MNG Rämibühl und Fachverantwortlicher Chemie am ScienceLab der Universität Zürich. Darüber hinaus erforscht er am Chemiedepartement der Universität Zürich historische und neue Farbpigmente.

Literatur

McQuaid R. OD. 2019. Ibn al-Haytham, the Arab who brought Greek optics into focus for Latin Europe. *Adv. Ophthalmol. Vis. Syst.*, 9(2), 44-51