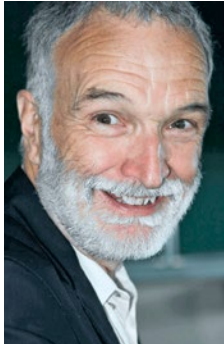


# SCHLICHTING! DER VATER DER MODERNEN OPTIK



**Vor 450 Jahren, im Dezember 1571, wurde Johannes Kepler geboren. Den meisten ist er durch die nach ihm benannten Planetengesetze vertraut. Weniger bekannt ist: Er brachte die geometrische Optik praktisch zur Vollendung. Beide Leistungen hängen eng zusammen.**

H. Joachim Schlichting war Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. Seit 2009 schreibt er für »Spektrum« über physikalische Alltagsphänomene.

» [spektrum.de/artikel/1937233](https://spektrum.de/artikel/1937233)

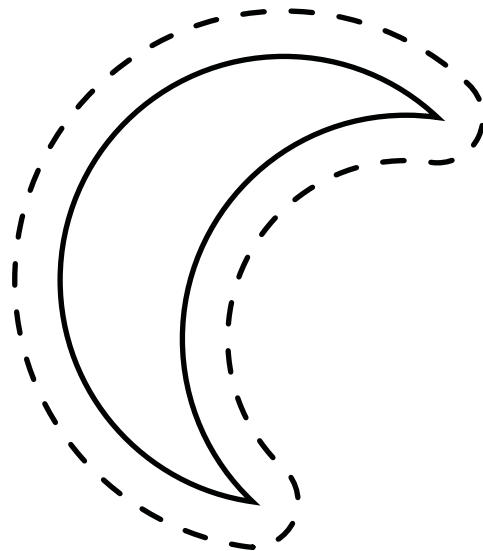
## Die Sonnenflecke soll ich bemerkt und die Sonne selbst soll ich übersehen haben!

Friedrich Hebbel (1813–1863)

Die drei keplerschen Gesetze gelten zu Recht als revolutionär. Indem Johannes Kepler (1571–1630) für die Bewegungen der Planeten physikalische Ursachen annahm, deren Ursprung in der Sonne liegt, lieferte er entscheidende Argumente für das Weltbild von Nikolaus Kopernikus (1473–1543). Die Planetengesetze wiederum waren eine Voraussetzung für eine quantitative Naturbeschreibung, auf der Isaac Newton (1643–1727) die klassische Physik begründen konnte. Seitdem gibt es keinen Unterschied mehr zwischen himmlischen und irdischen Regeln.

Auf einem anderen Gebiet war Kepler ebenso weltbewegend tätig, nämlich der geometrischen Optik. Er brachte sie zu einem bis heute gültigen Abschluss (sieht man einmal von der späteren quantitativen Formulierung des Brechungsgesetzes ab). Beide Bereiche sind enger miteinander verknüpft, als man zunächst denken könnte.

Entscheidend war dabei die Lösung des so genannten Sonnentalerproblems, bei dem sich Astronomie und Optik treffen. Seit Mitte des 16. Jahrhunderts wurde als Beobachtungstechnik für Sonnenfinsternisse vorgeschlagen, den gefährlichen direkten Blick in die Sonne zu vermeiden, indem man ein Lochkamerabild auf einer



**RANDUNSCHÄRFE** Die Projektion einer Sonnenfinsternis wird am Rand vom Bild des Lochs überlagert. Dadurch wirkt der verdeckende Mond kleiner. Mit einer ähnlichen Skizze erklärte Kepler in einem Brief vom 9. September 1600 seinem Förderer Michael Mästlin den Beobachtungsfehler.

SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / MIKE ZEITZ

**SONNENTALER Kleine Lücken im Blattwerk von Bäumen werfen zahlreiche Bilder der Sonne auf den Boden.**

Leinwand beobachtet. Denn schon lange vor Kepler war bekannt: Fällt Licht eines hellen Objekts durch eine wie auch immer geformte kleine Öffnung, entsteht hinter dieser eine Abbildung der Quelle. Das genaue Prinzip dahinter blieb aber rätselhaft. Bereits in der pseudo-aristotelischen Schrift »Problemata Physica« fragt sich der Autor zum einen: »Warum erzeugt die Sonne, wenn sie durch viereckige Gebilde dringt, nicht rechteckig gebildete Formen, sondern Kreise?« und zum anderen: »Warum treten bei Sonnenfinsternis, wenn man durch ein Sieb oder durch Blätterlücken sieht oder wenn man die Finger der einen Hand mit denen der anderen verflechtet, die Sonnenstrahlen auf der Erde halbmondförmig in Erscheinung?«

Letztlich geht es dabei um das Problem, wie sich die geradlinige Ausbreitung des Sonnenlichts mit dem Befund vereinbaren lässt, dass es sich selbst beim Durchgang etwa durch ein rechteckiges Loch zu einem kreisförmigen Fleck krümmt. Bemühungen um eine Lösung ziehen sich wie ein roter Faden durch die 2000-jährige Geschichte der Strahlenoptik. Die Kepler vorliegenden Arbeiten des Mittelalters hinterlassen den Eindruck, schuld seien die Unzulänglichkeit des Auges und die Art und Weise des Sehens. Der bereits neuzeitlich denkende Kepler erkannte in derartig »ungehörigen und in der Optik nicht anerkannten« Begründungen keine erhellenden Erklärungen. Er ging dem Sachverhalt selbst nach.

**Als der Mond scheinbar schrumpfte**

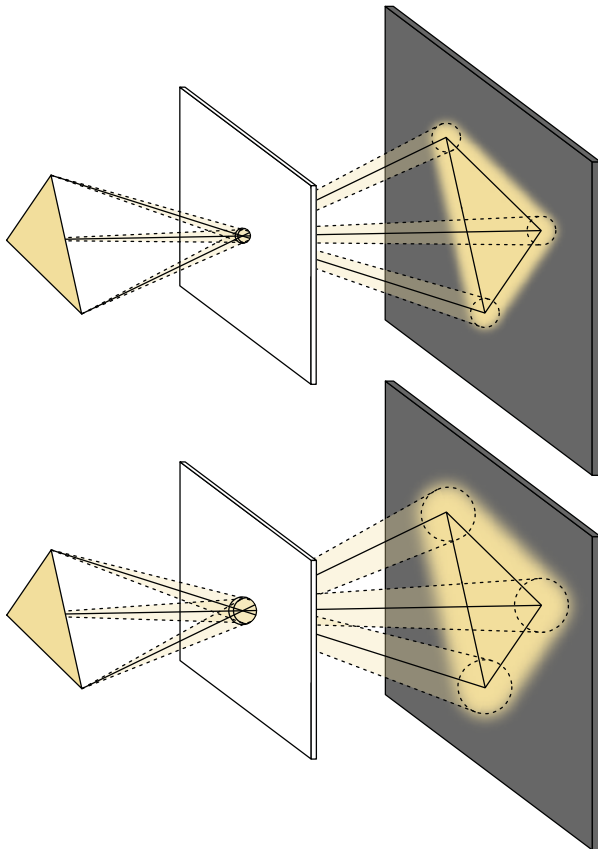
Doch warum war das für Kepler so wichtig? Hätte der Astronom die erfolgreiche Beobachtungsmethode von Sonnenfinsternissen nicht einfach akzeptieren können, ohne sie bis ins Detail verstehen zu wollen? Die Antwort darauf ergibt sich aus einem Rätsel, mit dem sich Keplers Zeitgenosse Tycho Brahe (1546–1601) konfrontiert sah. Ihm erschien bei einer Sonnenfinsternis 1598 der Neumond »nicht in der Größe, die er zu anderen Zeiten bei Vollmond hat«. Für Kepler, der zutiefst von der Gültigkeit der Himmelsmechanik überzeugt war und insbesondere die Bahnen und Größen der Himmelskörper für unveränderlich hielt, waren Ansätze völlig inakzeptabel, die zum Beispiel einen bei Sonnenfinsternissen schrumpfenden oder weiter entfernten Mond voraussetzten.

Kepler suchte stattdessen den Fehler bei der Beobachtungsstrategie selbst und entwickelte ein einfaches Modell, mit dem sich die Abbildung physikalisch rekonstruieren und anschaulich verstehen lässt. Auf der bewährten Grundlage des Strahlen-



H. JOACHIM SCHUCHTING





SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / MIKE ZEITZ, NACH H. JOACHIM SCHÜCHTING

**GEMISCHTER UMRISSE** Eine von einer leuchtenden Fläche durchstrahlte Blende ruft auf einem dahinterliegenden Schirm eine hybride Abbildung hervor. Sie ähnelt umso mehr der eigentlichen Quelle, je kleiner das Loch ist (oben). Wird dieses größer, verwischt sie stärker (unten). Hier wird das Dreieck gewissermaßen durch unendlich viele Lichtflecke gezeichnet; zur besseren Erkennbarkeit sind nur die Eckpunkte hervorgehoben.

modells der geometrischen Optik nahm er an: Eine punktförmige Quelle sendet Strahlen radial in alle Richtungen aus. Fällt ihr Licht durch eine Öffnung, so erscheint diese in ihrer Form unverändert auf eine dahinter aufgestellte Leinwand projiziert – eine eckige Blende als ebenso kantige, helle Fläche. Doch die Sonne ist nicht punktförmig. Ein entscheidender Schritt brachte Kepler schnell auf die Lösung. Der Trick besteht darin, eine ausgedehnte Lichtquelle als Ensemble unendlich vieler Punktquellen aufzufassen.

Lässt man davon ausgehend in einem Gedankenexperiment beispielsweise eine dreieckige Lichtquelle durch ein rundes Loch strahlen, so liegt die Lösung des Sonnentalerproblems auf der Hand (siehe »Gemischter Umriss«). Anhand einiger ausgewählter Punkte wird erkennbar: Die auf der Leinwand abgebildeten runden Löcher überlagern sich letztlich zu der dreieckigen Form

des leuchtenden Objekts. Diese Modellierung dürfte zu Keplers Zeiten recht kühn gewirkt haben. Denn einerseits war das unendlich Kleine noch nicht vertraut – die später von Newton und Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) entwickelte Infinitesimalrechnung zeigte die damit verbundenen Vorstellungsschwierigkeiten. Andererseits wird eine ungestörte gegenseitige Durchdringung der Lichtstrahlen unterstellt, und das dürfte ebenso wenig offenkundig gewesen sein.

Die Lichtquelle zeigt ihren Umriss auf dem Schirm umso präziser, je kleiner das Loch ist. Dasselbe erreicht man mit zunehmendem Abstand zwischen Blende und Projektionswand, weil die Größe der Abbildung dabei schneller wächst als die von der Lochgröße bestimmte Randunschärfe.

So konnte Kepler die beobachtete Mondverkleinerung von 20 Prozent als einen Beobachtungsfehler erklären. Dieser beruhte darauf, dass der Schirm zu dicht hinter dem Loch angebracht oder dieses zu groß war. Zahllose Bilder des Lochs traten so weit über den Rand der eigentlichen Sonnenprojektion und überlagerten den Schatten des Mondes (siehe »Randunschärfe«). Ein leicht verwaschener Eindruck kann nie vollständig beseitigt werden, doch nach dieser Einsicht wurde es möglich, den Effekt zu beziffern und durch kleinere Löcher und weitere Abstände zu minimieren.

Heute mag uns die Lösung des Problems einfach erscheinen, aber sie war damals alles andere als selbstverständlich. Kepler musste eine völlig neue Herangehensweise entwickeln und die optischen Regeln seiner Vorgänger entsprechend überarbeiten. Später kam zwar heraus, dass etwa Francesco Maurolico (1494–1575) bereits 1521 eine korrekte Erklärung gegeben hatte, allerdings konnte Kepler von ihr nichts wissen. Außerdem handelte es sich um eine relativ isolierte Beschreibung außerhalb eines einheitlichen theoretischen Rahmens.

Im Sinn des Physikers und Wissenschaftsphilosophen Thomas S. Kuhn (1922–1996) kann die von Kepler vollendete geometrische Optik als Ergebnis eines Paradigmenwechsels angesehen werden. Im Mittelpunkt dieser konzeptuellen Revolution stand das Phänomen der Sonnentaler.

Als Astronom, der maßgeblich am Durchbruch der kopernikanischen Wende mitgewirkt hat, war Kepler bereits vom neuzeitlichen physikalischen Denken beeinflusst. Jedenfalls war er von den mechanischen Gesetzen der Bewegung der Himmelskörper derart überzeugt, dass er eine merkliche Größenveränderung von Himmelskörpern oder deren Bahnen angesichts des aus seiner Sicht mechanischen Ereignisses einer Sonnenfinsternis für unmöglich hielt. So konnte Kepler die Grenzen des bisher anerkannten Beobachtungsprinzips kritisch hinterfragen – und damit verdanken wir ihm neben einer Revolution im Bereich der Astronomie außerdem die moderne Wissenschaft des Lichts.

**Spektrum PLUS<sup>+</sup>**

22. Januar 2022:  
DIGITALER  
PLANETEN-  
WORKSHOP

# Ihre Vorteile im Abonnement

Exklusive Extras und Zusatzangebote für alle Abonentinnen  
und Abonnenten von **Spektrum** der Wissenschaft

- ▶ Monatlicher Gratis-Download eines Digitalprodukts;  
im November KOMPAKT »Permafrost«
- ▶ Weitere Digitalprodukte zum stark reduzierten Preis:  
im November »Gravitationswellen«, »Chronobiologie« und »Das Gehirn«
- ▶ Veranstaltungen des Verlags zum Vorteilspreis
- ▶ Regelmäßige Einladungen zu Redaktionsbesuchen oder zu Vorträgen
- ▶ Monatliche Verlosung von Büchern und **Spektrum**-KOMPAKT-Ausgaben
- ▶ Vergünstigungen und Rabatte bei Partnerangeboten:  
Onlinekurs **Spektrum**-Schreibwerkstatt; **Spektrum**-Hörbücher von Fliegenglas;  
Englischkurs von Gymglish; BrainPics: künstlerische Hirnbilder in Perfektion;  
drei ausgewählte iversity Onlinekurse

Weitere Informationen und Anmeldung:

**Spektrum.de/plus**