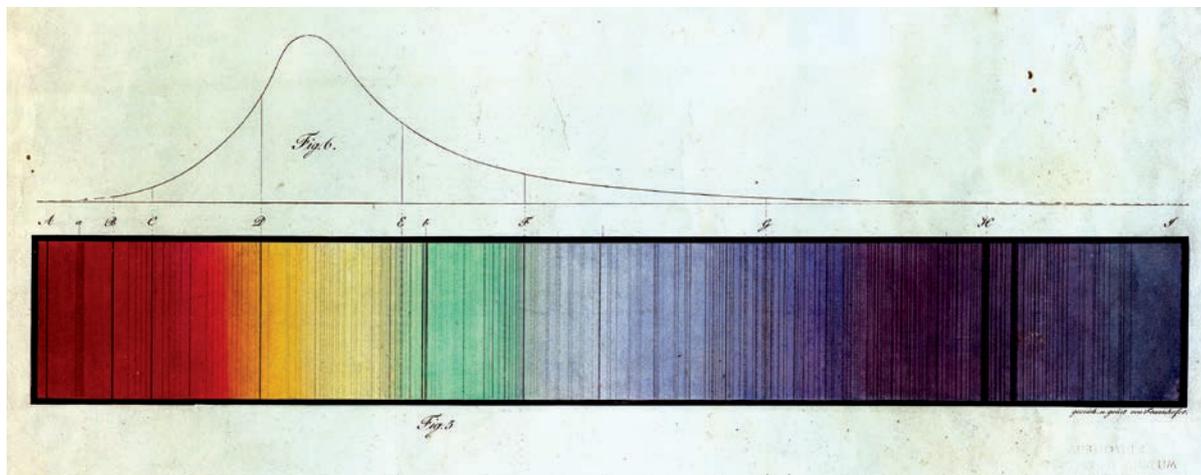


# Eine neue „Landschaft“ des Unsichtbaren

Vor 200 Jahren veröffentlichte Joseph Fraunhofer seine Beobachtung der dunklen Linien im Sonnenspektrum.

Jürgen Teichmann



Das handkolorierte Sonnenspektrum Fraunhofers, wie es in drei Exemplaren existiert; hier das Exemplar PL aus dem Deutschen Museum.

Angefangen als gelernter Glasschleifer, entwickelte Joseph Fraunhofer Anfang des 19. Jahrhunderts schnell erstaunliche technische Fähigkeiten und wissenschaftliches Interesse an völlig neuen Fragen. So gelang es ihm mit einer selbst entworfenen Prismenkonstruktion, die nach ihm benannten Spektrallinien im Sonnenspektrum zu entdecken und aufzuzeichnen. Doch Joseph Fraunhofer war seiner Zeit weit voraus, sodass seine Ergebnisse lange kein wissenschaftliches Publikum fanden.

Joseph Fraunhofers von ihm selbst „gezeichnete und geätzte“ Darstellung seiner dunklen Linien im Sonnenspektrum ist wohl bekannt. Vor 200 Jahren, im Herbst 1817, wurden die schwarz-weißen Abdrucke in den „Denkschriften der Bayerischen Akademie der Wissenschaften“ veröffentlicht.<sup>1)</sup> Darüber hinaus gibt es drei handkolorierte Exemplare, zwei davon befinden sich im Deutschen Museum in München und ein weiteres im Goethe-Nationalmuseum in Weimar.

Wie kam Fraunhofer zu seiner Entdeckung? Astronomie bedeutete damals noch ausschließlich die exakte Beobachtung von Licht-

punkten am Himmel und die Berechnung ihrer Bewegung – sofern möglich – mithilfe der Himmelsmechanik. In der Optik regierte die Korpuskulartheorie des Lichtes, die neue Wellentheorie war gerade erst geboren. Eine optische Industrie gab es noch nicht, nur erfolgreiches Handwerk – vor allem in England. Das wurde allerdings auch auf dem Kontinent nötig, seitdem die Wirtschaftsblockade Frankreichs gegenüber England ab 1806 (die „Kontinentalsperre“) jeden Warenaustausch verhinderte. Auch das war ein Grund, warum Joseph Fraunhofer in diesem Jahr im Alter von 19 Jahren vom Unternehmer Joseph Utzschneider in dessen neuem optischen Unternehmen in Benediktbeuern bei München angestellt wurde.

Ein wichtiges technisches Problem bestand damals darin, möglichst reines Glas für die benötigten Linsen insbesondere der kleinen Theodolitfernrohre zu erschmelzen, die für die Landesvermessung wichtig waren. In Bayern, das mit dem siegreichen Frankreich Napoleons verbündet war, sollten exakte Landkarten erstellt werden. Utzschneider engagierte einen Schweizer, der damals als blendender Glasfachmann galt: Pierre Louis

Guinand. Guinand jedoch hielt seine „Hexenkunst“ weitgehend geheim. Das war wohl ein weiterer Grund, warum Joseph Fraunhofer, sozusagen als Werkstattspion gegenüber Guinand, in die optische Fertigung aufgenommen wurde. Andererseits hatte Utzschneider ihn seit längerem unterstützend begleitet und wusste genau, wie erstaunlich das optische Können dieses ehemaligen Gesellen der Glasschleiferei, der Ornamente in Glasoberflächen geschnitten hatte, gewachsen war.

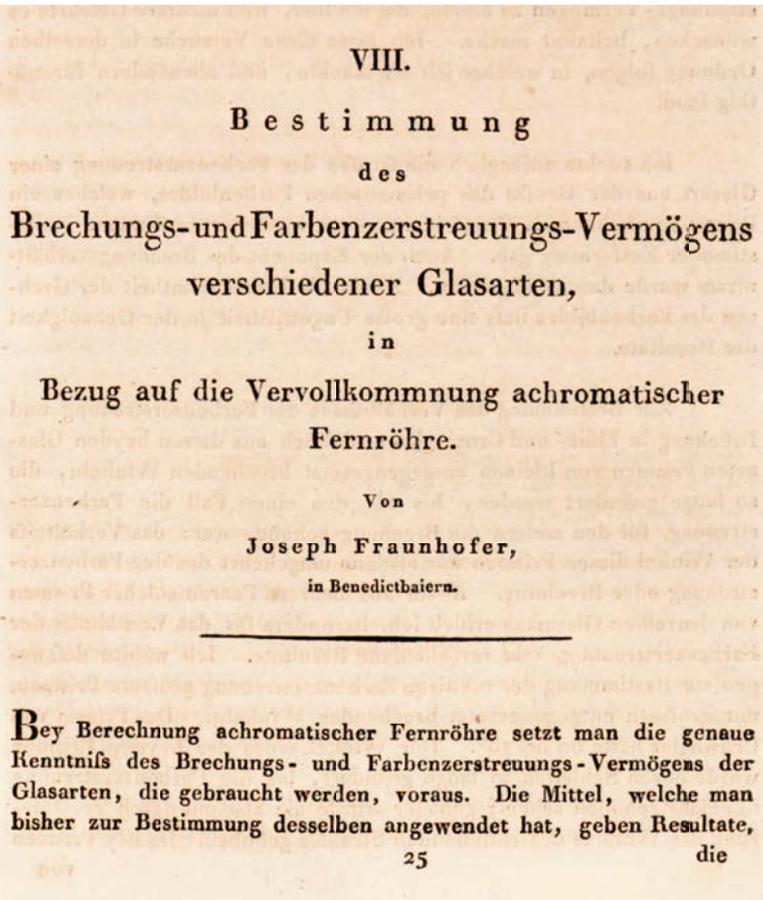
Fraunhofers Beiträge gingen schnell weit über die reine Glasherstellung hinaus. Sie umfassten das Schleifen, Polieren, Zentrieren und Prüfen von Linsen, das Berechnen von Linsenkombinationen und die Mitentwicklung feinmechanischer Teile für das Einpassen der Linsen sowie für die Bewegung der Fernrohre. Rasch übertrumpfte der Workaholic Fraunhofer seinen Lehrmeister.

## Von der Kunst zur Technologie

Schon 1809 stieg der nun 22-Jährige zum Teilhaber des „Optischen Instituts“ Fraunhofer-Utzschneider-Reichenbach auf. Georg Friedrich

1) Online zu finden auf [bit.ly/2iiIR0e](http://bit.ly/2iiIR0e) (Artikel) und [bit.ly/2x4COJk](http://bit.ly/2x4COJk) (Bildanhang).

Prof. Dr. Jürgen Teichmann, Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften, Museumsinsel 1, 80538 München



Fraunhofers Aufsatz zur Brechung und Dispersion verschiedener Glasarten erschien im Herbst 1817. Darin berichtete er erstmals von seinen Beobachtungen der Linien im Sonnenspektrum.

Reichenbach war ein berühmter Erfinder und Ingenieur. Fraunhofers universaler Anspruch bestand bald darin, optische Technik von einer Handwerkskunst zur Forschungstechnologie zu entwickeln, in der sich wissenschaftliches Können, technische Leistung und arbeitsteilige Betriebsorganisation wechselseitig befruchteten.

Zunächst verbesserte er die Herstellung optischer Linsen. Er führte die Reichenbachsche Pendelschleifmaschine, bei der ein hin und her schwingendes Pendel eine exakte Kugelkalotte schliff, im Optischen Institut in Benediktbeuern ein und verbesserte sie sogar weiter. Auch Zentrierung und Feinpolitur der Linsen gelangen ihm exzellent.

Besonders geheim hielt Joseph Fraunhofer sein Prüfverfahren für die fertigen Linsen. Hierbei verknüpfte er aktuellste optisch-physikalische Forschung, die er in Deutschland als Erster beherrschte, mit technischer Raffinesse. Er benutzte exakte Vergleichsexemplare, auf die er die zu untersuchenden Linsen legte. Die entstehenden Newton-Ringe zwischen Prüfling

und Vergleichsexemplar zeigten ihm kleinste Abweichungen vom Schliff. Um das zu verstehen, beschäftigte er sich mit der noch jungen Wellentheorie des Lichtes.

Das für Fernrohre nötige achromatische Objektiv, das gemäß dem Stand der Technik seit ein paar Jahrzehnten aus einer Kronglas- und einer Flintglas-Linse bestand, wurde bis dato durch reines Probieren hergestellt. Fraunhofer wollte auch hier exakter vorgehen. Dazu musste er Brechungsindex und Dispersion von normalem Kronglas und bleihaltigem Flintglas für jede Wellenlänge genau bestimmen. Das war völliges Neuland. Er versuchte, wie der englische Physiker David Brewster, Farben durch Filter auszusortieren. Schließlich konstruierte er ein Gerät mit sechs Kerzenlampen, deren Licht er durch ein Prisma über 200 Meter auffächerte und mit einem weiteren Prisma beobachtete. Das war nur bei dunkelster Nacht möglich, lieferte ihm aber sehr schmale Farbflecken in sechs verschiedenen Bereichen des Spektrums, welche die entsprechenden Brechungsindizes

seiner unterschiedlichen Glassorten festlegten.

Fraunhofer wäre nicht Fraunhofer gewesen, wenn er nicht weitere Verbesserungen gesucht hätte. Doch es stellten sich auch wissenschaftliche Fragen: War Licht wirklich gleich Licht? Wie wurde Licht in Kerzen, im elektrischen Lichtbogen, in der Sonne und in Sternen erzeugt? Das wusste niemand. Vielleicht wurde unterschiedlich erzeugtes Licht auch unterschiedlich gebrochen? Das hätte natürlich Konsequenzen für die Abbildung in Teleskopen gehabt. Eventuell gab es nur sehr geringe Unterschiede? Joseph Fraunhofer wollte auch diesem Problem nachgehen. Zudem hatte er im gelben Bereich des Kerzenlichts einen schmalen hellen Doppel-„Streif“ entdeckt – die Natrium-Emissionslinie (wie erst nach 1859 klar wurde). Gab es diesen „Streif“ auch im Himmelslicht? Sonne und Sterne rückten damit als Testfelder für Präzisionsoptik in sein Blickfeld.

Wahrscheinlich richtete Fraunhofer schon 1813 oder 1814 seine eigens dafür konstruierte Prismenanordnung auf die Sonne. Diese bestand aus einem engen Spalt von etwas mehr als 0,5 Millimeter Breite im Fensterladen und in knapp sieben Meter Entfernung aus einem Glasprisma mit umgebautem Theodolitfernrohr. Völlig unerwartet lieferte dieser Aufbau hunderte Messmarken für seine optische Technik, darunter auch an der Stelle des hellen gelben „Streifs“ zwei eng benachbarte dunkle Linien, die Fraunhofer mit D bezeichnete.

### Rätselhafte Linien

Hatte Joseph Fraunhofer schon vorher Brechungs- und Dispersionswerte tausendmal genauer als seine Zeitgenossen angegeben, so verbesserten die neuen dunklen Linien als feine Messmarken diese Werte noch einmal um den Faktor 10. Doch was die Linien waren, blieb rätselhaft. Offenbar hatten sie nichts direkt mit den Farben zu tun, denn sie standen an scheinbar willkürlichen Orten. Andererseits mussten sie

eine Eigenschaft des Lichtes sein, irgendwie verborgen im prismatischen Spektrum.

Er zeichnete über 350 davon und sah mehr als 500, wie er selbst angab. Um sicher zu sein, dass es wirklich unveränderliche Marken im Sonnenlicht waren, untersuchte er sie in der gleichen Abhandlung „durch viele Versuche und Abänderungen“ genauer. Einen Test beschrieb er eingehender: „Teils um eventuelle Beugung auszuschalten [...] teils auch noch um einige andere Erfahrungen zu machen“, wählte er statt eines schmalen Spalts im Fensterladen ein Loch von rund 0,5 mm Öffnung. Die Aufspaltung durch sein Prisma ergab nur einen schmalen horizontalen Lichtstrich, aber keine dunklen Linien. Joseph Fraunhofer schaltete eine Zylinderlinse vor das Theodolitfernrohr seines Spektrums, und schon wurde der Strich in ein breites Spektrum nach oben und unten auseinandergezogen. Er sah die gleichen dunklen Linien wie beim Spalt. Wären die Linien durch Beugung des Lichts an den Rändern der Öffnungen entstanden (das glaubten noch viele Wissenschaftler nach ihm), hätten sie bei Spalt und Loch unterschiedlich aussehen müssen. Sie gehörten also zur „Natur“ des Sonnenlichts. Damit durfte Fraunhofer sie sicher als Messmarken verwenden.

Als punktförmige Lichtquellen, ähnlich einer Lochblende, gibt es die Sterne. Fraunhofer konnte sein Theodolitfernrohr mit Zylinderlinse direkt auf diese Lichtpunkte

richten, ohne die Strahlung durch Blendenöffnungen zu zwingen. So erhielt er hundert Prozent des schwachen Lichtes in sein Prisma. Der absolut hellste sternartige Fleck am Himmel ist der Planet Venus. Fraunhofer sah seine Linien D, E, b, F genau wie im Sonnenspektrum, D sogar doppelt. Sie signalisierten, dass Venuslicht – das hatte er natürlich erwartet – nur reflektierte Sonnenstrahlung ist.

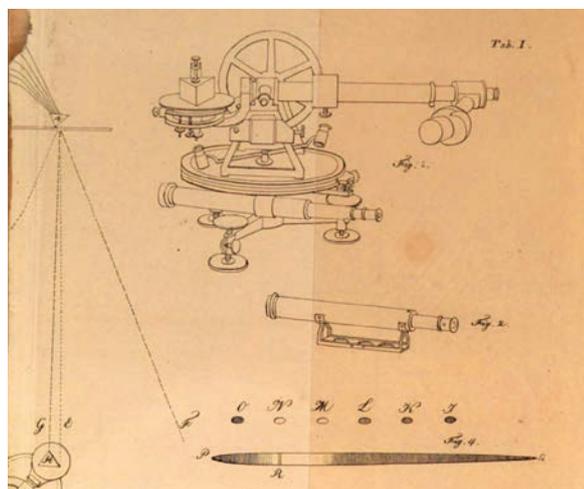
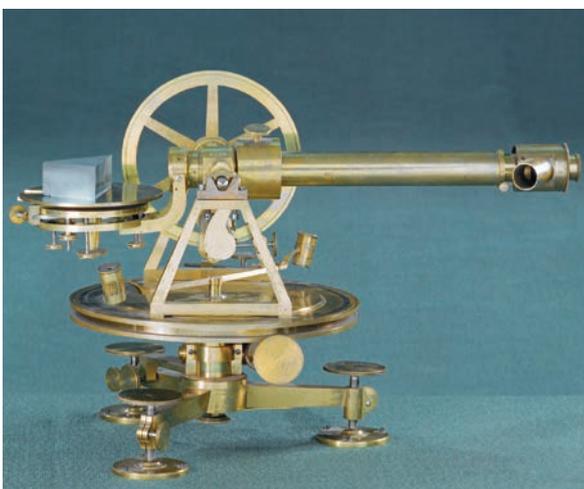
### Sensation ohne Publikum

Nun untersuchte Fraunhofer auch Fixsterne. Die wissenschaftliche Neugierde dieses optischen Ingenieurs war wirklich ungewöhnlich. Für (fast) alle Astronomen existierte das Problem noch mehr als vierzig weitere Jahre nicht. Mit seinem kleinen Fernrohr bekam Fraunhofer nur Sterne erster Größe in Farben aufgelöst. Sirius, der hellste Fixstern des Himmels, war das dankbarste Objekt. Fraunhofer erkannte drei seiner dunklen Streifen, aber an eindeutig anderen Stellen als im Spektrum der Sonne, einen in Grün, zwei in Blau. Es gab „keine Ähnlichkeit“ mit der Sonne. Auch bei anderen Sternen schien das so zu sein. Das war sensationell – oder wäre es gewesen, wenn sich ein wissenschaftliches Publikum gefunden hätte. Erstmals gab es exakte Hinweise, dass Licht verschiedener Sterne wirklich unterschiedlich war, sogar dann, wenn die Sterne für das bloße Auge keinen Farbunterschied zeigten.

Das Sonnenspektrum untersuchte Joseph Fraunhofer ab 1821 mit ersten selbst gefertigten Beugungsgittern. Bei den feineren ritzte er mit einer Diamantspitze sehr schmale Parallellinien in dünne Goldschichten auf einer Glasplatte, immer dichter nebeneinander, und beobachtete das dadurch gebeugte Licht. Bei seinem besten Gitter wurden es einige tausend dieser Linien in genau gleichen Abständen von jeweils 3,3 Tausendstel Millimeter. Die dabei resultierenden Spektren waren so gut wie diejenigen, die Fraunhofer mit seinen ganz großen Prismen fand, und so gut, wie sie noch lange nach ihm kein anderer erzeugen konnte. Die Wellenlängen der Farben, laut Wellentheorie, konnte Fraunhofer einfach aus seinen Beugungsversuchen ableiten. Sie halten auch modernen Werten gut stand.

Joseph Fraunhofer wollte diese Forschungen fortsetzen und mehr Zeit darauf verwenden, wie er kurz vor Ende seines Lebens hoffte. Ein Brief von 1823 beweist, dass er auch versucht hat, sein schwarz-weißes Sonnenspektrum – dessen Vorlage sehr wahrscheinlich auf einer Kalksteinplatte entstanden war – farbig herzustellen. Wir wissen allerdings nicht, ob die drei erhaltenen handkolorierten Sonnenspektren aus seinem persönlichen Umfeld stammen.

Fraunhofer verstand die dunklen Streifen als ein neues Bild der Natur, unabhängig von seinen technischen Interessen. Das zeigt schon das künstlerisch beeindruckende



Joseph Fraunhofers Prismenspektrometer im Deutschen Museum (links) und in einer Skizze in seiner Arbeit von 1817.

schwarz-weiße Bild des Spektrums in seiner Veröffentlichung 1817. In den Unterlagen Fraunhofers existiert die Rechnung eines Malers zum „Tuschen“ von 437 Kopien seines Spektrums. Damit war die kontinuierlich zunehmende Schattierung in Richtung der Spektrränder gemeint. Diese Schattierung sollte die zunehmende Abdunklung des Spektrums verdeutlichen, wie sie die geringere Empfindlichkeit des Auges in den äußeren Spektralbereichen bewirkt. Die genauere Empfindlichkeitskurve selbst hat Fraunhofer – auch als erster – über der Abbildung des Spektrums gleich mitgeliefert. Übrigens war diese aufwändige Schwarz/Weiß-Schattierung der Grund, warum die schon gedruckten Denkschriften des Jahres 1817 bis Herbst auf Fraunhofers Spektrum warten mussten.

In seinen Manuskripten finden wir weitere Untersuchungen zum Sonnenspektrum: Könnte die Doppellinie D nicht vielleicht in vier Linien aufgespalten sein? Im Prinzip hielt Fraunhofer Veränderungen innerhalb von Jahren für denkbar. Möglicherweise hat er schon schwächere Linien gesehen, wie sie zum ersten Mal im Sonnenspektrum des Physikers Gustav Robert Kirchhoff von 1861 dargestellt sind. Auch Sternspektren hat Fraunhofer weiter untersucht. Es blieb allerdings bei den allerhellsten Sternen.

## Der lange Weg zur Astrophysik

Die dunklen Linien im Sonnenspektrum waren bald Standard bei der Herstellung achromatischer Objektive in Europa. Sie kamen in allen maßgeblichen optischen Instituten als Messmarken zum Einsatz. Wissenschaftler allerdings nahmen sie noch mehr als 40 Jahre nach 1817 kaum zur Kenntnis.

Die chaotische Streuung der Linien, ihre scheinbar regellose Verteilung, war ein wesentlicher Grund, warum die wissenschaft-

liche Welt so wenig mit dieser neuartigen Himmelslandschaft anfangen konnte. Die Vielfalt verschloss sich jeder bekannten Ordnung. Umso leichter war es, sie als Instrumentenfehler oder als erdatmosphärische Einflüsse (was bei einigen stimmte) wegzudiskutieren. Thomas Young gehörte zu den Forschern, die vergeblich versuchten, mathematische Regeln für die Linienabfolge zu finden.



Joseph Fraunhofer in einer Darstellung, die möglicherweise um 1820 entstanden ist.

Selbst die wenigen, die sich diesem „durchstrichelten“ (so nannte es Goethe abschätzig) Phänomen Sonnenspektrum zuwandten, wie etwa auch David Brewster oder Alexander von Humboldt, zweifelten, ob es diese Linien überhaupt real gab, und wenn ja, ob sie ein astrophysikalisches oder irdisches Phänomen darstellten. Johann Wolfgang von Goethe hat es in der Tat eine Zeitlang interessiert. Er erhielt ein handkoloriertes Spektrum 1827 aus der Hand seines wissenschaftlichen Freundes Samuel Thomas Sömmering (der auch Kollege und Freund von Fraunhofer

war). Vielleicht stellten die dunklen Linien darin das „Schattige“ der Farben dar, so versuchte Sömmering das Spektrum Goethe mit dessen eigener Theorie schmackhaft zu machen. Das gelang letztlich nicht. Die Farbzerlegung nach Newton war Goethe grundsätzlich suspekt.

Andere Naturforscher wie die Briten David Brewster, John Herschel oder Gabriel Stokes verzweifelten bei dem Versuch, die ähnlichen, aber hellen Linien in Flammenspektren mit den dunklen Fraunhofer-Linien in Zusammenhang zu bringen. Die Doppellinie im Gelben schien allgegenwärtig zu sein. Natrium konnte doch aber nicht Teil jedes Stoffes sein! Die ungeheure Empfindlichkeit der neuen Messmethode zeigte eben kleinste Verunreinigungen. Das schien damals unglaublich. Fixsternspektren andererseits konnte (fast) niemand vor 1860 beobachten. Ihr sehr schwaches Punktlicht erforderte größere Teleskope, sehr gutes Prismenglas und spezielle Hilfsmittel (beispielsweise Zylinderlinsen). Selbst dann waren nur wenige Linien grob sichtbar, wie Fraunhofer bewiesen hatte.

Die Astronomie der Zeit übrigens wollte solcherart neuartige mathematisch nicht behandelbare Forschung gar nicht. Bewegung von Lichtpunkten am Himmel und ihre himmelsmechanische Erklärung war allein gültiges Dogma. Das galt für das gesamte 19. Jahrhundert, selbst noch nach der Auflösung des mysteriösen Rätsels der Spektrallinien durch den Physiker Gustav Robert Kirchhoff zusammen mit dem Chemiker Robert Bunsen ab 1859. Sie entlarvten die Linien als eine Art Strichcode der chemischen Elemente in der oberen Sonnenatmosphäre. Es dauerte weitere Jahrzehnte, bis sich daraus eine neue Astrophysik entwickelte. In Deutschland widmeten sich noch in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts nur wenige

Observatorien der Spektralanalyse. Auch in Chemie, Physik und Technik begann die Spektroskopie erst nach 1900 ihren Siegeszug, als die Atomphysik erste quantitative Antworten lieferte.

Spektroskopie war sicher eine Grenzüberschreitung zwischen vielen Disziplinen. Sie überforderte das wissenschaftliche Spezialdenken des 19. Jahrhunderts, insbesondere bei den getrennten Disziplinen Chemie, Physik und Astronomie. Umso verständlicher, dass gerade Außenseiter wie der Autodidakt und optische Techniker Fraunhofer Neues in Gang setzen konnten. Die Zerlegung von Sternenlicht war für die damalige Astronomie eigentlich häretisch.

Und da wagte sich Fraunhofer auch noch auf ein neues, rein physikalisches und dazu noch ungesichertes Gebiet, die umstrittene Wellenoptik. Auch die „Schönheit“ der Farben sprach ihn an. Schon seine handkolorierten Spektren sind Objekte der Grenzüberschreitung,

hin zu einer ästhetischen Bildwelt des Himmels. Sie sind aber auch Objekte der Grenzüberschreitung zwischen Physik und Physiologie durch die erstmalige Messung der Empfindlichkeitskurve des Auges im Sonnenlichtspektrum. Damit erhielten diese Objekte eine „Aura“, die über die unmittelbare wissenschaftliche Bedeutung als optisches Phänomen hinausging. Stattdessen waren sie Ausdruck eines neuen, rätselhaften Codes, einer neuartigen Sprache der Wissenschaft. Die völlig ungewohnte Sicht der Wirklichkeit mag der tiefere Grund für die schwierige Aufnahme der Linienspektren in der wissenschaftlichen Welt des 19. Jahrhunderts gewesen sein.

Joseph Fraunhofer selbst war es nicht vergönnt, sich noch stärker mit optisch-wissenschaftlicher Forschung neben oder sogar statt seiner technischen Aufgaben zu beschäftigen. Er starb bereits 1826 im Alter von nur 39 Jahren an Lungentuberkulose.

### Weiterführende Literatur

- *J. Teichmann*, *Der Geheimcode der Sterne – eine neue Landschaft des Himmels und die Geburt der Astrophysik*, Deutsches Museum München (2016)
- *K. Hentschel*, *Mapping the Spectrum*, Oxford University Press, Oxford, New York (2002)
- *W. McGucken*, *Nineteenth-Century Spectroscopy. Development of the Understanding of Spectra, 1802 – 1897*, Hopkins, Baltimore (1969)

### DER AUTOR

**Jürgen Teichmann** studierte Physik in Münster und München und wurde 1972 in Geschichte der Physik promoviert.



Er habilitierte sich 1987 und wurde 1993 Professor an der Universität München. Ab 1970 war er Mitarbeiter am Forschungsinstitut des Deutschen Museums München und wurde später Direktor der Hauptabteilung Bildung. Teichmanns Arbeitsgebiete sind u. a. Geschichte der Elektrizität, Festkörperphysik und Astronomie sowie die Rekonstruktion historischer Experimente.