

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor 150 Jahren, im Oktober des Jahres 1859, erblickte die *Spektralanalyse* das Licht der Welt. Es waren die dunklen Linien im Sonnenspektrum, fehlende Farben, die die Herren Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen in Heidelberg dazu brachten, eine chemische Analysemethode zu entwickeln, die an Empfindlichkeit alles zuvor bekannte in den Schatten stellen sollte. Kirchhoff wusste von der Bedeutung der Entdeckung. Schlagartig war die alte Astronomie, die sich vornehmlich mit den Positionen der Gestirne und deren Änderung befasst hatte, so gut wie passé. Es war die Sternstunde der Astrophysik! Durch sie wurde die Astronomie wirklich zur „Sternkunde“. 15 Jahre später nahm die erste Sternwarte, die sich ausschließlich dieser neuen Forschungsrichtung widmete, das Astrophysikalische Observatorium in Potsdam, die Arbeit auf. (Erst neuerdings ist, dem technischen Fortschritt geschuldet, eine gewisse Rückbesinnung auf die „alte“ Positionsastronomie zu beobachten, was mit dem Start von GAIA seinen sichtbarlichen Ausdruck finden wird.)

Dieses Jahr der Astronomie hat es wirklich in sich: Man kann sich vor Jubiläen kaum retten! Vor 50 Jahren bekamen wir die erdabgewandte Seite des Mondes zu sehen. Darauf hatten die Menschen Millionen von Jahren verzichten müssen. Am 7. Oktober 1959 war es damit vorbei: Lunik 3 flog um den Mond und funkte 29 Fotos der Mondrückseite zur Erde. Viel war nicht darauf zu erkennen, aber dass sich des Mondes Rückseite deutlich von seiner Vorderseite unterscheidet – es fehlen die charakteristischen „Meere“ – wurde offenkundig.

Einen farbenfrohen Herbst wünscht Ihnen

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Oktober

Am 6. Oktober geht der schnellfüßige Merkur mal wieder kurz auf maximale Distanz zur Sonne. 18° ist er dann von ihr entfernt. Das sollte ausreichen, des

Eilenden vor Sonnenaufgang als Objekt nullter Größe in der Morgendämmerung gewahr zu werden. Dass er eilt, macht sich dann nicht so bemerkbar. Er eilt ja von uns hinweg. Außerdem ist die Jahreszeit günstig: Die Ekliptik ragt im Herbst steil in den Morgenhimmel.

Venus verlässt die dunkle Nacht und zieht sich ab der zweiten Monatshälfte in die Dämmerung zurück. Sie wird immer voller, aber auch kleiner. Obere Konjunktion (Vollvenus) ist Anfang nächsten Jahres.

Mars gewinnt stetig an Sichtbarkeit. Jupiter hingegen verliert die seine. Dafür ist Saturn im Kommen! In den Morgenstunden des 8. Oktober sieht man ihn nahe dem Merkur. Am 13. Oktober gleitet er südlich an der Venus vorbei. Am 16. Oktober gesellt sich der Mond zu Merkur, Venus und Saturn. Wenn das kein Grund ist, einmal früh aufzustehen.

Spektralanalyse

Das Licht der Sterne ist ein Farbgemisch. Mittels eines Glasprismas oder eines Beugungsgitters werden die farblichen Bestandteile entsprechend der Schwingungsfrequenz, sprich der Photonenenergie, zu einem farbigen Band geordnet. Regentröpfchen wirken wie Prismen. Steht die Sonne tief und sind die Umstände günstig, bekommen wir einen Regenbogen zu Gesicht. Die Reihung der Spektralfarben endet nicht im Roten oder im Violetten. Sie setzt sich, dem Auge unsichtbar, fort. Im Prinzip ins Unendliche. Schon Friedrich Wilhelm Herschel fiel auf, dass jenseits des sichtbaren Sonnenrots etwas ist, was die Quecksilbersäule eines Thermometers ansteigen lässt – infrarote Wärmestrahlung. Und was jenseits des Violett kommt, das Ultraviolett (UV), verursacht unter Umständen schlimmen Sonnenbrand.

Das Auge allerdings, in seinem Bestreben, einen Weißabgleich zu machen – ein weißes Blatt Papier sollte auch bei Abendrot weiß erscheinen –, rollt das sichtbare Teilstück des Bandes der Spektralfarben, eine Oktave vom ganzen Wellenspektrum, flugs zu einem Farbkreis zusammen, wozu es eine „Spektral“farbe erfindet, die in der Natur als solche gar nicht vorkommt, den Purpur. Dank des „Tricks“, Rot und Violett zu verbinden, was physikalisch Unsinn ist, aber sinnesbiologisch Sinn macht, bekommt jede Spektralfarbe seine Komplementärfarbe zugeordnet (mit der zusammen, also additiv, sich Weiß ergibt). Unter Zugrundelegung einer erprobten Hypothese über die Buntheit des Umfelds, in dem wir uns bewegen, erzeugt die Netzhaut weitflächig komplementäre Farbenreize (die sich in nichts von

„wirklichen“ unterscheiden), wodurch sich erst ein von der Beleuchtung unabhängiges, farbgetreues Abbild der Wirklichkeit ergibt. (Dass Komplementärfarbe in der Netzhaut produziert wird, sieht man mit *geschlossenen* Augen nach einem starken Lichtreiz.)

Jeder Körper strahlt entsprechend seiner Temperatur. Lückenlos, man sagt *kontinuierlich*, ist nur das Spektrum eines Körpers, der sich im Temperatur- und Strahlungsgleichgewicht mit der Umgebung befindet, von dieser also genau so viel an Strahlungsenergie empfängt, wie er an sie abgibt. Bei der Sonne und den Sternen ist dies zum Glück nicht der Fall. Die Gestirne strahlen viel mehr in den Weltraum ab, als sie von diesem bekommen. (Das hängt u. a. mit dessen Expansion zusammen.) Ihr Spektrum weicht deshalb von dem Planckschen Spektrum einer Wärmequelle im Strahlungsgleichgewicht ab. Ein Schwarzkörper- oder Planckspektrum ist derart eigenschaftslos, dass es durch eine einzige Zahlenangabe vollständig charakterisiert wird: die Temperatur. Eine Welt im Gleichgewicht wäre langweilig (und brächte auch nichts Interessantes hervor). Sichtbarlicher Ausdruck für das Fließgleichgewicht in Sonne und Sternen sind für den Astrophysiker die dunklen Linien im Sonnenspektrum, fehlende Farben bei bestimmten Frequenzen, die 1802 dem Engländer William Hyde Wollaston (1766–1828) auffielen, sieben an der Zahl. Zwölf Jahre später hatte der Münchner Joseph von Fraunhofer (1787–1826) schon 567 dieser Linien akribisch vermessen und katalogisiert. Er benutzte sie bei seinen Untersuchungen zur Lichtbrechung als Wellenlängenmarken. Die stärksten Fraunhoferlinien werden auch heute noch mit lateinischen Buchstaben bezeichnet, wie z. B. die beiden D-Linien (D_1 und D_2) des Natriums oder die H- und K-Linie des ionisierten Kalziums. Die Gesamtanzahl der vermessenen Linien im Sonnenlicht dürfte in die Zehntausende gehen. Viele Linien haben übrigens nichts mit der Sonne zu tun. Sie sind tellurische Linien und werden dem Sonnenlicht erst beim Durchgang durch die Erdatmosphäre aufgeprägt. So gehen gleich die ersten beiden Fraunhoferlinien, die Linien A und B im Roten, auf das Konto des irdischen Sauerstoffs.

Wie Fraunhofer bereits bemerkt hatte, lässt das Licht einer Kerzenflamme, durch ein Spektroskop in seine farblichen Bestandteile zerlegt, exakt bei den Wellenlängen (genauer den Frequenzen) der beiden solaren D-Linien ebenfalls ein Linienpaar erkennen, diesmal aber in Emission, hell vor dunklem Hintergrund. Die „Bunsen’sche Lampe“ ersetzte bald die Kerze. Nun ging es steil aufwärts mit der Spektralanalyse. Das Eigenleuchten der heißen Flamme des Bunsenbrenners ist gering und stört nicht mehr die spektroskopische

Beobachtung. Kirchhoff nun ließ Sonnenlicht, bevor es in seinen Spektralapparat fiel, durch die Flamme eines Bunsenbrenners hindurchtreten, in die er Kochsalzkriställchen einbrachte. Je nach Stärke des Sonnenlichtes konnte er die beiden D-Linien im Sonnenspektrum in Emission (wenig Sonnenlicht) bzw. Absorption (also als dunkle Linie) bei viel Sonnenlicht sehen, oder gar gänzlich zum Verschwinden bringen. Ja, die Sonnenlinien wurden sogar noch dunkler, betrachtet durch die Flamme. Damit war alles klar. Kochsalz enthält Natrium. Die gelben D-Linien rühren vom Natrium her, das demnach in der Sonnenatmosphäre vorkommen muss! Plötzlich hatten die Chemiker nicht nur eine hochempfindliche Analysemethode zur Hand, die Astronomen konnten nun allein aus der spektralen Zusammensetzung des Sternenlichts auf die chemische Zusammensetzung und den physischen Zustand der Himmelskörper schließen! (Außerdem ist aus der *Linienverschiebung* die Radialgeschwindigkeit ablesbar, mit der sich ein Himmelskörper von uns entfernt oder sich uns nähert.)

Aus dem Fehlen einer Lithiumlinie im Sonnenspektrum schloss Kirchhoff beispielsweise zu Recht, dass Lithium auf der Sonne selten oder gar nicht vorkommt. Dass das ein Problem für die Forschung werden sollte, konnte er nicht ahnen. Lithium wird in Spuren im Urknall produziert, existiert noch auf jungen Sternen und fehlt auf älteren.

Wie kommt es zu den Linien im Spektrum der Sonne oder eines Sterns? Schuld sind die Atome bzw. Ionen in der Hülle. Diese geraten, begegnet ihnen ein Lichtteilchen mit der richtigen Schwingungsfrequenz, in Resonanz. Das Photon verschwindet, dafür schwingt's jetzt im Atom bzw. Ion. Allerdings nicht lange. Nach einer hundertmillionstel Sekunde oder so wird genau so ein Photon ausgesandt, wie das, was kurz zuvor absorbiert wurde, aber diesmal in eine x-beliebige Richtung. (Das absorbierte Photon hatte eine Vorzugsrichtung: Es kam mit einer etwas höheren Wahrscheinlichkeit aus tieferen Schichten der Atmosphäre als von weiter draußen. Diese kleine Unsymmetrie ist wichtig, ansonsten bliebe ja alles beim alten.) Wegen des Resonanzeffektes ist die Atmosphäre für Strahlung gewisser Frequenzen undurchsichtiger als bei anderen Frequenzen, die nahebei liegen (im Kontinuum), aber eben nicht zu Resonanzen führen. In einer Resonanz, sprich in einer Fraunhoferlinie, blicken wir nicht so tief in eine Atmosphäre hinein wie daneben, also im Kontinuum. Da die Temperatur nach außen abfällt, erlauben die dunklen Linien eine Tiefensondierung. Ist die Absorption stark, stammt das Restlicht aus kühlen Regionen, ist die Absorption schwach, schauen wir in tiefer ge-

legene heiße Schichten. Deshalb heben sich die Absorptionslinien dunkel vor hellem Hintergrund ab. In der Tiefe ist es heiß und die Strahlung entsprechend intensiv. Ohne Temperaturgradient keine Linien! Dieser aber ist eine Folge der Abstrahlung. Strahlung fließt immer vom Heißeren zum Kühleren. Die Linien sind wirklich ein Geschenk des Fließgleichgewichts. Nur weil sich der Kosmos nicht in einem ausgeglichenen Zustand befindet – hier heiße Sterne, dort kalter Weltenraum –, kann man die chemische Zusammensetzung einer Sternatmosphären anhand des Spektrums entschlüsseln.

Welche Linien man sieht und in welcher Stärke, hängt nicht nur von der Menge des verursachenden chemischen Elements ab, sondern auch von den Anregungsbedingungen. Beispiel Wasserstoff. Wasserstoff ist mit Abstand das häufigste Element im Kosmos. Dennoch macht es sich im sichtbaren Sonnenspektrum kaum durch Linien bemerkbar. Der Grund: Die im Optischen gelegenen Linien des Wasserstoff, die Balmerlinien, tauchen erst bei deutlich höheren Temperaturen auf. In heißeren Sternen (A-Sternen) dominieren die Balmerlinien sehr wohl das Linienspektrum. Auch bei der Sonne gibt es Wasserstofflinien, die Lyman-Linien. Doch die liegen im fernen Ultraviolett, im „Raketen“-UV.

Die Spektralanalyse bescherte uns viele neue Elemente. Kirchhoff und Bunsen selbst entdeckten 1861 im Dürkheimer Mineralwasser das Cäsium und das Rubidium. Beide Alkalimetalle sind benannt nach der Farbe ihrer charakteristischen Spektrallinie: himmelsblau bzw. dunkelrot! Ein Tropfen in die Flamme eines Bunsenbrenners genügte für den spektralanalytischen Nachweis. Um 7,5 g Cäsiumchlorid und 9 g Rubidiumchlorid wirklich darzustellen, mussten sie danach allerdings 44 200 Liter Mineralwasser aufarbeiten!

Das Helium („Sonnenstoff“) wurde gar zuerst auf der Sonne gefunden. Das war 1868. Solares Helium ist (im wesentlichen) primordial. Es entstand in den ersten Minuten des Universums als Kernumwandlungen noch überall stattfanden. (Dank der primordialen Heliumproduktion überlebten die Neutronen. Sie retteten sich ins Helium und Deuterium. Ansonsten wären sie eine Viertelstunde später zerfallen gewesen.) Erst viel später (1895) wurde man gewahr, dass es Helium auch auf Erden gibt, als Zerfallsprodukt des Urans. Mit „Koronium“ (wegen seines Vorkommens in der Sonnenkorona) und „Nebulium“ (in interstellaren leuchtenden Gasnebeln) hatte man indes Pech. Das waren keine neuen Elemente, vielmehr altbekannte, nämlich Eisen und Sauerstoff, allerdings in ungewohnten Zuständen. Eine Koroniumlinie geht beispielsweise zurück auf 13-fach (!) ionisiertes Eisen.

Übrigens, in den USA soll es den Bunsen-Brenner-Tag geben. Der wird alljährlich am 31. März begangen, dem Geburtstag von Bunsen, vermutlich von Chemikern. (Ich bin mir nicht sicher, ob das nicht ein vorgezogener Aprilscherz ist. Im Internet steht gar vieles ...)