

Liebe Leserin, lieber Leser,

Wieder ist eines Potsdamer Astrophysikers zu gedenken: Vor 100 Jahren, am 11. Mai 1916, starb Karl Schwarzschild (geb. 9. Oktober 1873). Bevor er 1909 zum Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums avancierte, hatte er an Sternwarten in Wien, München und Göttingen Spuren hinterlassen. Der Name Schwarzschild taucht in diversen Zusammenhängen auf: In der Fotografie gibt's den Schwarzschild-Exponenten, in der relativistischen Physik Schwarzschild-Radius und Schwarzschild-Metrik. Stellarstatistiker arbeiten mit Schwarzschild-Verteilungen. Wer den Energietransport in den Sternen studiert, stößt auf das Schwarzschild-Kriterium. 1913 wurde die Aufspaltung von Spektrallinien bei Atomen in starken elektrischen Feldern entdeckt. Schwarzschild fand eine Erklärung im Rahmen der alten (Bohr'schen) Quantenphysik. In dieser Ausgabe des Kosmos-Boten geht es um die sog. „Solar-Stellar Connection“. Zu der hatten 1913 Karl Schwarzschild und Gustav Eberhard (1867–1940) den Grundstein gelegt.

Über das Jahr „1913“ ist kulturwissenschaftlich Lesenswertes¹ geschrieben worden. Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist nachzutragen der Beginn der Erforschung² der Oberflächenaktivität der Sterne. Schwarzschild und Eberhard waren beim Auswerten von Objektivprismenaufnahmen auf eine spektrale „Umkehrung“, eine Kalzium*emission*, inmitten der prominenten Fraunhoferschen Absorptionslinie K in den Spektren vom Aldebaran und σ Geminorum gestoßen. Man wusste, dass so etwas in abgeschwächter Form auch im Sonnenspektrum vorkommt, wobei die Stärke des solaren Kalziumleuchtens im Takte des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus schwankt. Die Idee, spektroskopisch nach Aktivitätszyklen bei anderen Sonnen zu suchen, war geboren. Ihre Umsetzung ließ auf sich warten: 1966, vor einem halben Jahrhundert,

¹Florian Illies: „1913: Der Sommer des Jahrhunderts“.

²Um 1900 hatten die Potsdamer Sternspektroskopiker Gustav Eberhard und Hans Lüdendorff (1873–1941) beim Arktur die Linienumkehr im Zentrum der prominenten K-Linie des einfach ionisierten Kalziums entdeckt.

startete Olin Chaddock Wilson (1909–1994³) mit dem 100-Zöller⁴ (2,5-m-Hooker-Spiegelteleskop) auf dem Mount Wilson eine Langzeitüberwachung von zunächst 91 sonnenähnlichen Sternen⁵ – sein HK-Projekt. Der Mt. Wilson war für Mr. Wilson der rechte Ort für ein solches Unterfangen, befindet sich doch dort auch ein Sonnenobservatorium. Die Solar-Stellar Connection, ein Beispiel funktionierender Synergie in der Forschung, nahm dort ihren Anfang.

Einen wonnigen Mai mit sonnigem 9.-Mai-Nachmittag wünscht
Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Mai

Das Mai-Ereignis ist der Merkurtransit am 9. Mai. Damit es zum Vorübergang vor der Sonnenscheibe kommt, muss die untere Konjunktion zeitlich mit einem Knotendurchgang zusammenfallen. Da die Sonne kein Punkt ist, kommt es auf ein paar Stunden nicht an. 10 Minuten vor 10 Uhr MESZ durchschreitet Merkur, von Norden kommend, die Ekliptik. 3 1/2 Stunden später trifft er auf die Sonnenscheibe. Gegen 17 Uhr MESZ, zum Zeitpunkt der unteren Konjunktion, kommt Merkur mit 5 Bogenminuten der Sonnenmitte am nächsten. Der Durchmarsch vom Ost- zum Westrand der Sonne dauert etwa 7 1/2 Stunden. Das seltene Schauspiel beginnt ca. 1/4 Stunde nach 13 Uhr und endet für Deutschland etwa mit dem Sonnenuntergang. Da Merkur klein (12 Bogensekunden) und die Sonnenscheibe gleißend hell, ist ohne geeignete Technik – empfohlen wird die sichere Sonnenprojektion – nichts vom Winzling Merkur zu sehen. In 3 1/2 Jahren findet der nächste (und hier sichtbare) Merkurtransit statt. Dann beim aufsteigenden Knoten. Am 22. Mai steht Mars der Sonne gegenüber. (12 Tage später der Saturn.) Erdnähe ist am 30. Mai. Jetzt ist der Zeitpunkt günstig, ihn zu beobachten. Er ist hell, -2. Größe, und erreicht einen Durchmesser von 1/3 Bogenminute. Der Dämpfer: Mars (und auch Saturn) treiben sich leider tief im Süden her-

³Wie der Vater der Sternspektroskopie, der Potsdamer Hermann Carl Vogel (1841–1907), fand auch Olin Wilson seine letzte Ruhestätte nahe „seinem“ Fernrohr.

⁴Später wurde der 60-Zöller für die Überwachung der chromosphärischen Aktivität sonnenähnlicher Sterne hergerichtet.

⁵Gemeint sind Sterne, die wie die Sonne, über eine äußere Konvektionszone verfügen, wo also der Energietransport konvektiv erfolgt: heiße Gasblasen steigen auf, kühle ab.

um, bei -22° Deklination. Sie verbringen gerade einmal $8\frac{1}{2}$ Stunden über dem Horizont.

Jupiter beendet in der Nacht vom 9. zum 10. Mai seine diesjährige Oppositionsphase mit einem Moment des Innehaltens. Nach dem Stillstand bewegt er sich astronomisch rechtläufig, also entgegen dem Uhrzeigersinn, durch den Sternenhimmel. Die Rektaszensionswerte nehmen zu.

Chromosphären

Dass Sternspektren dunkle Stellen aufweisen, Absorptions- oder Fraunhoferlinien, die bestimmten chemischen Elementen zuordenbar sind, ist keine große Sache. Ein Stern strahlt Energie ab, weil er heißer ist als der umgebende Weltraum. (Er hebt sich vor dem Hintergrund der 3-K-Strahlung ab.) Für den Energietransport im Inneren gilt das gleiche. Energie strömt spontan vom Heißen zum Kalten. Am heißesten ist der Stern dort, wo die Energie thermonuklear freigesetzt wird. Nach außen fällt die Temperatur. Das gibt dem Energiestrom die Richtung vor. In der Photosphäre, jener Schicht aus der uns die Strahlung unmittelbar erreicht, macht sich die wellenlängenabhängige Undurchsichtigkeit des konkreten Sternmaterials bemerkbar. Einfach ionisiertes Kalzium (Ca^+) ist für Strahlung von $393,4\text{ nm}$ (K) und $396,8\text{ nm}$ (H) nahezu undurchsichtig. Bei diesen Wellenlängen bekommt man nur Licht zu sehen, das aus der obersten Etage der Photosphäre stammt, wo die Temperatur niedrig ist und die Intensität entsprechend gering. Zwischen den beiden violetten Kalziumlinien, von Joseph Fraunhofer (1787–1826) mit den Buchstaben H und K bezeichnet, schaut man hingegen tief in die Sonne hinein. Die Strahlung dort stammt aus heißeren Schichten. Die Strahlungsintensität geht mit der Temperatur und ist deshalb zwischen den Linien höher als in den Linien. Die Linien erscheinen wegen des Temperaturabfalls in der Photosphäre dunkel. (Ohne einen Temperaturgradienten gäbe es keine Spektrallinien, und Astronomen könnten die chemische Zusammensetzung eines Sterns durch Spektralanalyse nicht ermitteln!)

Dass gewisse dunkle Linien helle Linienkerne aufweisen, ist nur so zu verstehen: Oberhalb der kühlen äußeren Photosphäre muss sich *heißeres* Gas befinden! Man kennt das von der Sonne. Die $20\,000$ Grad heiße durchsichtige Gasschicht nennt man Chromosphäre. Das schwache rötliche Leuchten der „Farbhülle“ ist für das Auge nur für Sekunden bei einer totalen Sonnenfinsternis sichtbar, wenn der Mond die helle Sonnenscheibe gerade bedeckt.

Spektroskopisch wurde die Chromosphäre erstmals bei einer Sonnenfinsternis 1868 analysiert. In dem Flash-Spektrum leuchteten viele der bekannten dunklen Linien für Sekunden hell auf. Eine helle Linie allerdings war den Chemikern unbekannt. Man nannte sie D_3 und schrieb sie dem „Sonnenstoff“ zu. Helium wurde erst 1895 auch auf der Erde nachgewiesen, in einem uranhaltigen Mineral. Es entsteht beim radioaktiven Zerfall.

Auch wenn es seltsam anmutet: Die Temperatur steigt oberhalb der Sonnenoberfläche, nachdem sie ein Minimum bei 4000 K durchlaufen hat, wieder an, bis auf Millionen Grad in der Korona. Wie so etwas möglich ist, ist eine der schwierigsten Fragen der Sonnen- und Sternphysik. Nicht, dass Gesetze der Physik verletzt würden, aber eine elektrische Heizung muss her. Wir betreten die Gefilde der Magneto-Hydrodynamik und Plasmaphysik. Die Ströme werden sicherlich nach dem Siemens'schen Dynamoprinzip durch Magnetfelder generiert. Ein technisches Analogon ist ein Wärmekraftwerk. Dort strömt, wie es sich gehört, die Wärme vom Heißen (Heizkessel) zum Kalten (Umwelt) und dennoch kann über eine Turbine, die mit einem Generator verbunden ist, ein gewisser Teil der (ungeordneten) Wärmeenergie in (geordneten) elektrischen Strom verwandelt werden, Strom, mit dem sich außerhalb der Anlage eine Temperatur erzeugen lässt, die jene in ihrem heißesten Teil weit übertrifft! Dank differentieller Rotation und Konvektion im Sonnenmantel fungiert unser Stern wie ein Kraftwerk und kann eine heiße Chromosphäre und eine noch viel heißere Korona unterhalten.

Von der Sonne ist bekannt, dass die chromosphärischen Emissionen, die man auch außerhalb von Sonnenfinsternissen innerhalb dunkler photosphärischer Linien über aktiven Regionen der Sonne nachweisen kann – nur dort „ertrinken“ sie nicht in der Sonne Überhelle –, im Takt des Fleckenzyklus zunehmen und abnehmen. Um dies völlig zu verstehen ist es sicherlich eine gute Idee, bei Sternen, die sich von der Sonne mehr oder weniger unterscheiden, nachzuschauen, ob dort ebenfalls Aktivitätszyklen vorkommen und wodurch ggf. die Periodenlänge etc. bestimmt wird. Diese Statistik wird seit nunmehr einem halben Jahrhundert am Mount Wilson betrieben. Als Maß für die Aktivität dienen die gemessenen Stärken der Emissionslinien in den Kernen dunkler Absorptionslinien. Neben den beiden Ca^+ -Linien, H und K, im violetten Teil des Spektrums sind noch weitere Linien als Aktivitäts-Indikatoren in Gebrauch.

Sternfleckenzyklen

Was das HK-Projekt und seine Nachfolger zutage gefördert haben? Dazu eine Vorbemerkung: Die Crux statistischer Studien (und von Big Data) ist, dass sie Korrelationen (Trends) zutage fördern, aber keine Kausalzusammenhänge. Da ein Sterndynamo eine nicht-lineare, sprich „turbulente“ Angelegenheit ist, war „Einfachheit“ ohnehin nicht zu erwarten. Das Beobachten von Systemen am Rande des Chaos lehrt kaum etwas über die zugrundeliegende Physik. Hinzu kommt, dass sich beim Überschreiten gewisser dimensionsloser Stellgrößen das Arbeitsregime ändert, zyklisches Verhalten beispielsweise in chaotisches umschlägt, was diese Sterne interessant macht. Ohne magnetisch-getriebene Oberflächenaktivität wären sie langweilig.

Letztere beruht, und darüber besteht Konsens, auf dem fragilen Wechselspiel zwischen (differentieller) Rotation und Konvektion. Da die (relative) Tiefe der Konvektionszone zu kühlen Zwergsternen hin zunimmt, ergibt sich folgender Trend: Je kühler ein sonnenähnlicher Stern, desto offener seine chromosphärische Aktivität. Und die Rotation? Junge und schnell⁶ rotierende Sterne sind meist aktiver als alte und nur noch gemächlich sich drehende Sterne. (Auch das liegt auf der Hand: Bei schnellerem Drehen eines Fahrraddynamos gibt dieser auch mehr elektrische Leistung ab.) Zyklische Aktivität wie bei der Sonne findet man vor allem bei mäßig aktiven Sonnen. (Einen Doppelgänger der Sonne, der dieser in jeder Hinsicht gleiche, hat man bislang noch nicht ausfindig gemacht.) Schnelle Rotatoren hingegen neigen zu irregulärem Verhalten. Überraschend war, dass einige Sterne auf niedrigem Aktivitätsniveau dahindümpeln. Der Verdacht liegt nahe, dass sie dies nicht immer tun. Meine Kollegen vom 355 Lj entfernten Alamak würden, hätten sie „jetzt“ unsere Sonne im Visier, diese genau jener Gruppe inaktiver Sterne ohne erkennbaren Aktivitätszyklus zuordnen! Man muss wissen, der 11-Jahre-Zyklus der Sonne setzt zuweilen aus! Vor 355 Jahren war dies der Fall gewesen.

Kaum waren die Sonnenflecken Anfang des 17. Jh. entdeckt, verschwanden sie bereits wieder. Zwischen 1645 und 1715 wurden kaum welche gesichtet. Man spricht vom Maunderminimum, zu Ehren des Ehepaars Annie Russell

⁶Bei dem eingangs erwähnten hyper-aktiven Stern σ Geminorum handelt es sich um einen engen Doppelstern vom RS-Canum-Venaticorum-Typ. Durch Gezeitenreibung rotiert der Hauptstern synchron mit der Umlaufzeit des Begleiters. Dieser hat den Hauptstern mittels Reibung „auf Trab gebracht“! Die aufgezwungene schnelle Rotation macht ihn magnetisch aktiv.

Maunder (1868–1947) und Edward Walter Maunder (1851–1928), die darauf aufmerksam gemacht hatten. Zufälligerweise oder auch nicht herrschte zu dieser Zeit zumindest in Europa, Nordamerika und China die sog. Kleine Eiszeit. Kalte und lange Winter traten gehäuft auf. Die Kunstgeschichte kennt jede Menge Gemälde aus dieser Zeit, die Wintervergnügungen in Holland thematisieren.

Neben dem Maunderminimum gibt es weitere Phasen heruntergefahrener Sonnenaktivität. Das lang andauernde Spörerminimum im 15./16. Jh., benannt nach Friedrich Wilhelm Gustav Spörer (1822–1895), einem Potsdamer Sonnenforscher, ging dem Maunderminimum voraus. Sonnenflecke sind nur ein Indikator für Sonnenaktivität. So ist beispielsweise im Rahmen der solar-terrestrischen Beziehungen die Häufigkeit von Polarlichtern mit der Sonnenfleckenanzahl korreliert. Geht es um die Rekonstruktion der Sonnenaktivität über vergangene Jahrtausende, sind Radioisotope wie ^{14}C oder ^{10}Be interessant. In Zeiten aktiver Sonne ist wegen des dann heftigen magnetisierten Sonnenwindes die kosmische Strahlung aus dem interstellaren Raum, von jenseits der sog. Heliosphäre, geschwächt, was sich in einer verminderten Produktion der erwähnten radioaktiven Isotope in hohen Luftschichten äußert. Die Isotope lagern sich ab, ^{14}C beispielsweise in Baumringen. (Eine präzise Altersbestimmung mittels der Radio-Karbon-Methode setzt wegen der schwankenden Produktionsrate des ^{14}C -Isotops Wissen über die Sonnenaktivität in der Vergangenheit voraus!) Die Beryllium-10 Messungen werden an Eisbohrkernen vorgenommen. Wegen der höheren Halbwertszeit (1,5 Millionen Jahre anstatt 5730 Jahre) des Isotops reichen diese weit in die Vergangenheit zurück.

Man geht davon aus, dass die Sonne 1/6 ihrer Zeit in einem Zustand verminderter Aktivität zubringt. Wann es dazu kommt scheint dem Zufall überlassen zu sein. Der Sonnendynamo arbeitet stochastisch. Der untypische Verlauf der gegenwärtigen Sonnenfleckenentwicklung könnte übrigens ein neues Langzeitminimum ankündigen.

Dass Sonnenaktivität und Winterstrenge korreliert sind – was erstaunlich ist, da kein überzeugender Mechanismus bekannt ist –, gibt zu denken. Auch wenn die momentane globale Erwärmung nicht der Sonne anzulasten ist, Einfluss aufs Klima sollte man ihr nicht absprechen.