

Die Atmosphäre der Sonne

Autor(en): **Habermayr, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **42 (1984)**

Heft 205

PDF erstellt am: **27.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899306>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Atmosphäre der Sonne

H. HABERMAYR

Die mittlere Temperatur der Photosphäre (Lichtschicht), also der Sonnenoberfläche, hat man mit 5770 Kelvin bestimmt (Null K. = 273,15°C). Dass man von einer mittleren Temperatur sprechen muss, liegt auf der Hand. Überlegen wir: Wo beginnt überhaupt die Oberfläche dieser Gaskugel? Die Gase werden nach aussen immer dünner. Gucken wir in die Mitte der Sonnenscheibe, so sehen wir in tiefere, heissere Schichten als an ihrem Rand. Gerade aber diese äusseren Schichten verfließen in die stark verdünnte Sonnenatmosphäre.

Man findet im Sonnenspektrum zum überwiegenden Teil dunkle Spektrallinien, also Absorptionslinien. Das heisst: Auf der Sonne muss eine Gasschicht vorhanden sein, die kühler als die lichtaussendende Photosphäre ist, und sie wird dazu noch etwa aus den gleichen Elementen wie diese zusammengesetzt sein. Diese kühlere Schicht, deren geringste Temperatur «nur» noch etwa 4200 Grad beträgt, gehört zur äussersten Photosphäre. Sie ist nur dünn, denn nach wenigen hundert Kilometern steigt die Temperatur rasch wieder an.

Was passiert nun in dieser Schicht mit den einzelnen Wellenlängen des Lichts, wieso entstehen hier Absorptionslinien? Nehmen wir als Beispiel das Licht des Wasserstoffs (es sind natürlich noch viele andere Elemente vorhanden). Ein Wasserstoffatom der heisseren Schicht sendet relativ energiereiche (Licht-)Strahlung aus. Diese Strahlung wird, falls sie auf ein Wasserstoffatom in der kühleren Schicht trifft, dieses mit Energie «füttern», d.h. es wird angeregt. Ein angeregtes Atom sendet, wenn sein Elektron auf die Normalbahn zurückfällt, seinerseits wieder Strahlung aus. Diese Strahlungsemission findet nach allen Seiten hin statt. Das hat natürlich zur Folge, dass nur noch ein kleiner Teil der Strahlung in den Wellenlängen des Wasserstoffs z.B. die Erde trifft, d.h. die Linien des Wasserstoffs (und die der anderen Elemente, deren Strahlung durch diese Schicht hindurch muss) werden gegenüber dem kontinuierlichen Spektrum gedämpft.

Die Temperatur der Gase ausserhalb der äussersten Photosphäre steigt schnell wieder an. Diese folgende Schicht bezeichnet man als die sogenannte Chromosphäre oder Farbschicht. Sie erstreckt sich etwa 2000–10 000 Kilometer in den Raum, ihre mittlere Höhe kann man mit etwa 7000 Kilometern veranschlagen. – Es ist übrigens auch nicht falsch, wenn man die kühlere Schicht wenigstens teilweise der Chromosphäre zurechnet. Die Temperatur erreicht in der äusseren Schicht der Chromosphäre etwa 10 000 Grad.

Diese Schicht um die Sonne kann man nicht ohne weiteres beobachten. Warum sieht man sie denn nicht, wenn sie doch ganz beträchtlich heisser als die Sonnenoberfläche ist? Das liegt vor allem daran, dass hier die Gase hoch verdünnt sind, was wiederum zur Folge hat, dass die dagegen dichtere Photosphäre mit ihrer Leuchtdichte die Chromosphäre überstrahlt. Allerdings muss man auf den Anblick dieser recht dünnen Hülle nicht ganz verzichten, so wird sie z.B. bei einer totalen Sonnenfinsternis sichtbar. (In Mitteleuropa wird es erst 1999 wieder eine totale Sonnenfinsternis geben).

Die Chromosphäre erscheint (bei einer Sonnenfinsternis) als rötlicher schmaler Saum um die Sonne. Im Fernrohr zeigt

sie indessen an ihrem äusseren Rand eine sogenannte Gasstruktur, d.h. ihr Rand ist nicht scharf begrenzt, sondern ausgefranst, gezackt. Diese wie Flämmchen aussehenden Gebilde nennt man Spiculae. Ein «Flämmchen» oder Spiculum ist aber immerhin etwa 1000 Kilometer breit und reicht oft bis etwa 10 000 Kilometer in den Raum hinaus. Die Chromosphäre ist in Wirklichkeit ein sehr komplexes Gebilde aus aufwärts und aber auch abwärts gerichteten Gasströmen.

Es gibt übrigens noch eine Möglichkeit, die Chromosphäre auch unabhängig von Sonnenfinsternissen zu beobachten. Dazu bringt man am Teleskop Filter an, die nur einen sehr schmalen Wellenlängenbereich durchlassen, d.h. man beobachtet die Sonne im monochromatischen (einfarbigem) Licht, z.B. im Licht einer Wasserstofflinie. Auf diese Weise kann man die Chromosphäre nicht nur am Sonnenrand, sondern auf der ganzen Sonnenoberfläche untersuchen. Beobachtet man z.B. im Licht der sogenannten H- α -Linie des Wasserstoffs, so dringt man etwa $\frac{3}{4}$ oder auf etwa 3000 Kilometer über der Photosphäre in die Chromosphäre ein. Der Grund liegt in der Tatsache, dass man hier in einer dunklen Linie beobachtet. Die Absorption findet wie erwähnt unmittelbar über der Photosphäre statt, d.h. die Sicht auf diese Sphäre wird abgeschirmt. Die weniger leuchtdichten Zonen der Chromosphäre emittieren dagegen in der gleichen Wellenlänge wieder Strahlung und mit diesem Licht kann man die chromosphärischen Schichten erblicken.

Da sich die H- α -Linie im roten Bereich des Spektrums befindet (6563 Ångström = 656,3 nm), erscheint die Sonne im H- α -Filter in einem tiefen Rot. Die Sonnenoberfläche, oder besser die Chromosphäre, zeigt in diesem Licht ein eindruckliches, recht turbulentes Aussehen. Man erkennt etwa eine kontrastreiche grobkörnige Schicht, die sogenannte Supergranulation, die von den Spiculae herrührt. Vielfach sind zahlreiche helle, ausgeprägte chromosphärische Fackeln zu erkennen. Es sind Fackeln, die von der Photosphäre in die Chromosphäre hineinreichen. Dagegen sind nicht alle photosphärischen Flecken durch die verbleibende Schicht der Chromosphäre zu erkennen. Es sind nur die grösseren, die auch im H- α -Licht sichtbar sind.

Hauptsächlich in der aktiven Phase der Sonne kann man mit Hilfe des H- α -Filters in unmittelbarer Umgebung der Sonnenflecken, gleichgültig ob sie im Filter sichtbar sind oder nicht, gelegentlich ein plötzliches sehr helles Aufleuchten der Gase in einem meist relativ engbegrenzten Gebiet beobachten. Wir haben es hier mit einer chromosphärischen Eruption, auch Flare genannt, zu tun. Es gibt Eruptionen, die anfänglich auf einem engen Gebiet aufleuchten, um sich in Sekundenschnelle über ein grösseres Gebiet auszubreiten. Die Gebiete der Chromosphäre, die eruptionsverdächtig sind, zeigen meist ein turbulentes, vielfach spiralisches Aussehen.

Ein Flare entwickelt sich immer sehr rasch, manchmal innerhalb Sekunden oder wenigen Minuten. In den meisten Fällen ist der Spuk bald wieder vorbei, d.h. er dauert nur wenige Minuten. Bisweilen haben die Flares eine Lebensdauer von einer bis zu mehreren Stunden.

Eruptionen sind ausserordentlich energiereiche Ausbrüche. Eine grosse Eruption setzt zum Beispiel eine solch im-

mense Energie frei, die den gesamten Energieumsatz der Menschheit seit ihrem Bestehen bis heute um das mehrere Hundertfache übertrifft. Bei einem solchen Ausbruch wird nebst der Strahlung im Bereich des sichtbaren und des ultravioletten Lichtes auch weiche und kurzzeitig die noch kurzwelligere harte Röntgenstrahlung emittiert. Grosse Eruptionen senden sogar die extrem kurzwelligen hochenergetischen Gammastrahlen, also die gleichen Strahlen, wie sie im Sonneninnern bei der Kernumwandlung erzeugt werden, aus. Die freigesetzte Energie starker Ausbrüche ist tatsächlich fähig, kurzzeitig Kernreaktionen herbeizuführen.

Manchmal kommt es nahe am Rand der Flares zu Materieauswürfen, den sogenannten Spritzprotuberanzen oder Surges. Diese leuchtenden Gasmassen können eine Länge von 100 000 Kilometern haben und sie schießen mit einer Geschwindigkeit etwa 500 Kilometern pro Sekunde in die Höhe, um sich schliesslich aufzulösen oder wieder zurückzufallen. Ein Surges ist immer radial vom nächstliegenden (Haupt-) Fleck weggerichtet. Diese Erscheinung kann von einigen Minuten bis zu einigen Stunden dauern.

Trifft die energiereiche Strahlung der Flares, etwa vom harten Röntgenbereich, auf die Erde, so treten in der Ionosphäre Störungen auf. In diesem Zusammenhang kann der Radio-Kurzwellenverkehr bis zum gänzlichen Ausfall gestört werden, da die ungestörte Ionosphäre für die Kurzwellen als Reflexionsschicht dient, die gestörte Ionosphäre diese Radiowellen aber in den Weltraum durchlässt.

Starke Eruptionen erzeugen aber nicht nur elektromagnetische Strahlung, sie senden auch eine Korpuskular-(Teilchen-)Strahlung aus, bestehend aus Kernteilchen von Atomen sowie Elektronen. Solche Plasma-«Wolken» rasen mit einer Geschwindigkeit von 2000 Kilometern pro Sekunde durch den Raum. Sie treffen die Erde, falls sie in ihre Richtung geschleudert werden, in etwa 24 Stunden. Magnetische Stürme und Polarlichter sind dann die Folgen.

Es stellt sich nun die Frage, wie oder durch was diese Eruptionen ausgelöst werden. Man kann sie bis heute allerdings noch nicht mit absoluter Sicherheit beantworten. Es scheint aber, dass die starken Magnetfelder der Flecken eine massgebliche Rolle spielen. Magnetfelder besitzen einen Drall einer bestimmten Richtung. Der Drall eines anderen Feldes kann nun entgegengesetzt sein. Greift nun ein Feld einer bestimmten Drehrichtung auf ein solches mit entgegengesetzter Richtung über, so vernichten sie sich unter Abgabe einer gewaltigen Energie gegenseitig.

Ausserhalb der Chromosphäre ist freilich die Sonnenatmosphäre noch lange nicht zu Ende. Die Sonne wird von der sogenannten Korona umgeben, die ebenfalls nur bei totalen Sonnenfinsternissen zu sehen ist. Nur ihren innersten Teil kann man auch ausserhalb von Finsternissen in geeigneten Teleskopen (Koronographen), ebenfalls im monochromatischen Licht, zusätzlich zur Chromosphäre sichtbar machen. Allerdings müssen sich solche Fernrohre in höhergelegenen Gebieten der Erde befinden, da die unterste Atmosphäre zu viel Streulicht verursacht. Neuerdings werden solche Einrichtungen auch ausserhalb der störenden Erdatmosphäre in Raumstationen erfolgreich verwendet.

Die Korona besteht aus ausserordentlich hoch verdünnten «Gasen» und sie erstreckt sich weit in den Raum hinaus. Bei Sonnenfinsternissen beobachtet man sie mit blossen Auge bis zu etwa dreifachem Sonnenscheibendurchmesser. Weiter aussen ist sie so stark verdünnt, dass sie nur mit geeigneten Fernrohren unter Zuhilfenahme der Photographie kenntlich gemacht werden kann.

Die prachtvoll anzusehende, gewaltige, weiss erscheinende «zarte» Hülle verändert ihr Aussehen immer wieder. So hat sie ein jeweils charakteristisches Aussehen zur Zeit der «ruhigen» Sonne, also im Fleckenminimum, wie in deren aktivem Stadium. Im ersten Fall ist ihre Ausdehnung in der Äquatorebene der Sonne viel grösser als in der Gegend um die Pole, im zweiten Fall dagegen ist sie nach allen Richtungen gleichmässig ausgedehnt. Man darf sich die Korona aber nicht etwa als strukturlosen feinen Nebel vorstellen, sie weist strahlenartige Verdichtungen auf, nicht zuletzt in den Polargegenden, eine Folge des solaren Magnetismus.

Man kann öfters, und vermehrt in der aktiven Phase der Sonne, rote flammen- oder bogenartige Gebilde beobachten, die am Sonnenrand weit in die Korona hinein sichtbar sind. Man nennt diese Erscheinungen Protuberanzen. Auch sie sind – falls vorhanden – bei totalen Sonnenfinsternissen oder im monochromatischen Licht des Wasserstoffs zu sehen. Im H- α -Filter erblickt man sie auch als langgezogene dunkle Filamente auf die Sonnenoberfläche projiziert.

Was sind Protuberanzen? Sie sind vor allem nicht mit Eruptionen zu verwechseln. Meist bilden sie sich oder besser gesagt kondensieren sie in der inneren Korona. Sie haben sehr verschiedenartige Formen, manchmal sehen sie wie glühende Nebelfetzen aus, andere sind bogenförmig, wobei sie sich sozusagen auf die Chromosphäre aufstützen, oder sie ragen ambossähnlich aus der Chromosphäre – sie gleichen dann etwa irdischen Gewitterwolken, nur wirken sie feiner, durchsichtiger. Allerdings sind diese glühenden Sonnenwolken etwas grösser als die irdischen: oft reichen sie gegen 40 000 Kilometer in den (Korona-)Raum hinaus.

Es gibt ruhende und aktive Protuberanzen. Betrachtet man z.B. eine auf die Sonnenoberfläche projizierte ruhende Protuberanze, so kann man sie gut ausmessen. Sie kann eine Länge bis zu 200 000 Kilometern und eine Dicke von etwa 5000 Kilometern aufweisen, wobei die durchschnittliche Höhe, wie erwähnt, etwa 40 000 Kilometer beträgt. In der aktiven Phase der Sonne kann man nicht selten Protuberanzen beobachten, die bis zu 200 000 Kilometer in die Korona hinein ragen. Die Lebensdauer der ruhenden Protuberanzen kann einige Monate betragen, bis sie sich auflösen. Es ist nun nicht etwa so, dass in diesen Protuberanzen nichts geschieht, im Gegenteil, laufend strömen die Gase gegen die Sonnenoberfläche ab. Ihren länger dauernden Bestand verdanken sie der ständig stattfindenden Kondensation. Aktive Protuberanzen verändern ihr Aussehen schon innert Minuten bis Stunden und sie zeigen vielfach eine Bogenstruktur. Man beobachtet sie vorwiegend in der aktiven Zeit der Sonne.

Seltener beobachtet man eruptive Protuberanzen, Protuberanzen, die aber nicht mit den Surges zu verwechseln sind. Eine eruptive Protuberanz kann sich dann bilden, wenn sie sich über einem aktiven Fleck oder einer Fleckengruppe befindet. Sie schießt dann buchstäblich in die Korona empor, und bisweilen wird ihre Geschwindigkeit so gross, dass sie nicht mehr auf die Sonne zurückfallen kann. Solche Protuberanzen rasen dann mit über 618 Kilometern pro Sekunde (Entweichgeschwindigkeit auf der Sonnenoberfläche) in den Weltraum und entschwinden für immer.

Die Temperatur der Protuberanzen liegt zwischen 4000 und 6000 Grad. Wenn man die Protuberanzen (und auch die Chromosphäre) im monochromatischen Licht des Wasserstoffs beobachten kann, so ist es logisch, dass sie vorwiegend aus Wasserstoff bestehen, denn es kann ja nicht etwas in diesem Licht leuchten, wenn nicht Wasserstoffatome dieses Licht erzeugen.

Was ist nun die Ursache für die Entstehung der Protuberanzen? Sie entstehen immer in Verbindung mit den Sonnenflecken. Genauer sind es die Magnetfelder der Flecken, die Protuberanzen entstehen lassen. Es sind auch die Richtungen der Magnetfeldlinien, die für die Form der Protuberanzen verantwortlich sind.

Wie erwähnt, befindet sich in der äussersten Photosphäre eine Schicht relativ kühlen Gases. Weiter aussen steigt die Temperatur rasch auf etwa 10 000 Grad an. Diese Temperatur mutet indessen gerade noch kühl gegenüber derjenigen der Korona an, denn hier steigt sie auf gegen zwei Millionen Grad.

Warum spüren wir auf der Erde von dieser Temperatur praktisch nichts? Das liegt an der hohen Verdünnung der Gase, oder besser des Plasmas, welches die Korona bildet und das schon einem Vakuum gleichkommt. Immerhin macht sich die Korona insofern bemerkbar, als sie uns z.B. Röntgenstrahlung beschert, die allerdings nur in der äusseren Erdatmosphäre oder ganz ausserhalb von ihr (z.B. von Raumschiffen aus) nachweisbar ist. Unsere Atmosphäre schützt uns also vor dieser schädlichen Strahlung. Daneben sendet die Korona, wie auch die übrige Sonnenoberfläche, Radiostrahlung aus. Die von der Sonnenoberfläche ausgehende Strahlung ist thermischen Ursprungs, also bedingt durch die Wärme, dagegen ist die aus der Korona stammende nicht-thermischen Ursprungs. Hier ist die Eigenschaft des Plasmas dafür verantwortlich, d.h. sie hat ein Eigenleuchten, bedingt durch die ionisierten Atome. Auch mit den verschiedenartigen Ausbrüchen auf der Photosphäre und der Chromosphäre ist immer Radiostrahlung verbunden. Diese «Sendetätigkeit» hängt mit den freien und schnellen Elektronen zusammen.

Die meisten hellen Linien im Sonnenspektrum stammen zum Teil von der Chromosphäre, vor allem aber auch von der Korona. Wie kommt es aber zu den hohen Temperaturen von Chromosphäre und Korona, wenn sich doch zwischen ihnen und der Sonnenoberfläche sozusagen eine Isolierschicht, also eine verhältnismässig kühle Schicht befindet? Die hellen Linien sind ein Indiz für die hohen Temperaturen ausserhalb der Photosphäre. Es ist ganz ausgeschlossen, dass die Strahlung der Photosphäre die äussere Atmosphäre durch die küh-

le Schicht hindurch durch eine Zufuhr von Wärme aufheizen kann. Das würde gegen das entsprechende Naturgesetz verstossen.

Es gibt eine Erklärung für dieses Phänomen: Es könnte der durch die Konvektion an der Oberfläche der Photosphäre erzeugte gewaltige Lärm verantwortlich sein. Man hat sich überlegt, dass die Schallwellen die äusseren Schichten der Sonne auf die hohen Temperaturen aufheizen könnten. Möglicherweise spielt aber auch das solare Magnetfeld für die Aufheizung der Korona eine entscheidende Rolle. Die Sonne verliert, bedingt durch die Wasserstoff-Kernfusion, in jeder Sekunde vier Millionen Tonnen Materie. Aus der Korona strömen aber ausserdem – bedingt durch ihre hohe Temperatur und die daraus resultierende hohe Geschwindigkeit der Partikel – dauernd Teilchen, hauptsächlich Wasserstoff- und Heliumkerne (Ionen), in den Weltraum. Diesen sogenannten Plasmastrom nennt man Sonnenwind. Die Geschwindigkeit dieses «Windes» beträgt in der Entfernung der Erde immer noch etwa 1 440 000 Kilometer pro Stunde. Heisst das, dass im Weltraum ein Super-Orkan herrscht? Keineswegs, ein Raumschiff z.B. spürt von diesem Wind überhaupt nichts. Warum? Ein Kubikzentimeter Luft enthält einige Trillionen Atome, das gleiche Volumen Sonnenwind (in Erdentfernung) nur ungefähr fünf, was einem praktisch leeren Raum entspricht. Rechnet man zurück auf die Sonne (Korona), so macht das einige hundert Millionen Kerne, die pro Sekunde aus einem Quadratmeter ausströmen. Das ist verglichen mit unserer Luftdichte, immer noch sehr wenig. Bei einer Oberfläche der Sonne von etwa 61 000 Trillionen Quadratcentimetern beträgt die auf diese Weise verlorene Masse ungefähr eine Million Tonnen pro Sekunde.

Adresse des Autors:

Herbert Habermayr, Urania-Sternwarte, 8001 Zürich.

Privatadresse:

Roswiesenstrasse 3, 8051 Zürich.

Literatur:

H. SCHEFFLER/H. ELSÄSSER: Physik der Sonne und der Sterne.
RUD. KIPPENHAHN: 100 Milliarden Sonnen.

Buchbesprechung

Die Sonne: Planetarium der Stadt Wien und Österreichischer Astronomischer Verein. Seminarpapiere des 12. Sternfreunde-Seminars 1984. 152 Seiten A4. Zu beziehen beim Astronomischen Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, zum Preis von öS 190.— zuzüglich öS 16.— Porto (Ausland internationale Antwortscheine für DM 3.—).

Der Österreichische Astronomische Verein wurde 1924 gegründet. Zum 60. Jubiläum veranstaltete der Verein ein Sternfreunde-Seminar über die Sonne, das von sehr vielen Hörern besucht wurde. Die dazugehörigen lehrreichen und erweiterten Seminarpapiere liegen nun vor.

Nach einer Auswahl von Literatur über die Sonne und einer Übersicht über die Geschichte der Sonnenforschung werden die Instrumente zur Beobachtung der Sonne im visuellen Spektralbereich vorgestellt. Anschliessend werden in der Form eines Festvortrages die Sonne als Stern und als Gastvortrag die Erscheinungsformen der Sonnenaktivität und die Sonnenüberwachung behandelt. Dieser Teil dürfte vor allem die die Sonne beobachtenden Amateure interessieren.

Weitere Referate behandeln die Skylab-Mission, die Positionsbestimmung auf der Sonne und das Sonnenspektrum, wo auch eine Liste der wichtigsten Absorptionslinien im Sonnenspektrum nicht fehlt. Übrige Vorträge betreffen die Sonne und Erdatmosphäre so-

wie die Geräte zur Sonnenbeobachtung, die in der Wiener Urania-Sternwarte vorhanden sind.

Seminarpapiere 1983 (Doppelsterne), 1982 (Kleinplaneten), 1981 (Mond), 1979 (Astronomische Finsternisse) sind zum Preis von je öS 150.—, jene von 1980 (Kometen) zum Preis von öS 100.— bei der oben angegebenen Adresse erhältlich.

A. TARNUTZER

SONNE

MITTEILUNGSBLATT DER
AMATEUR-SONNENBEOBACHTER

Herausgegeben mit Förderung der VdS;
erscheint 4 x im Jahr.

Berichte über alle Gebiete der Sonnenbeobachtung;
Information kostenlos!

Kontaktadresse:

Peter Völker, c/o Wilhelm-Foerster-Sternwarte, Berlin
Munsterdamm 90, 1000 Berlin 41.