
Sonnenaktivität

Wettervorhersage für den Sommer 2014 aus Sicht der stellaren
Astrophysik

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Das elektromagnetische Spektrum	3
2.1.1	Überblick	3
2.1.2	Physik	4
2.1.3	Weiterführendes: (Ein bisschen) Quantenmechanik	4
2.2	Schwarzkörperstrahlung	6
2.2.1	Überblick	6
2.2.2	Physik	6
2.2.3	Weiterführendes: Spektraltypen	7
2.3	Sonnenaktivität	8
2.3.1	Überblick	8
2.3.2	Physik	9
2.3.3	Weiterführendes: Cepheiden	10
3	Diskussion	10
4	Danksagungen	11

1 Einleitung

Die Sonnenaktivität unterliegt periodischen Schwankungen - grob gesprochen strahlt sie mal etwas stärker, dann wieder schwächer, und dann wieder stärker. Die Dauer für einen Zyklus beträgt im Schnitt etwa 11 Jahre. Das letzte Maximum erreichte sie im Jahr 2003, und wenn wir uns zurückerinnern, wurde der Sommer 2003 (zu recht) als Jahrhundertssommer bezeichnet.

Das ist jetzt (2014) 11 Jahre her, und wir können davon ausgehen, dass die Sonnenaktivität in diesem Jahr wieder sehr hoch ist. Dieser Essay wird sich mit der Frage beschäftigen, ob wir deshalb - aus rein astrophysikalischer Sicht - wieder einen ähnlichen Sommer wie 2003 zu erwarten haben.

Dafür brauchen wir zunächst ein bisschen theoretisches Wissen. Ich werde jedes Theoriekapitel wie folgt unterteilen:

- Überblick: Sollte für diejenigen ausreichen, die den Essay mal kurz überfliegen wollen. Ich erläutere kurz die Fakten, ohne auf die physikalischen Details einzugehen.
- Physik: Hier stelle ich die Physik vor, die hinter den im Überblick vorgestellten Fakten steht. Der Abschnitt richtet sich an die, die sich auch für das "warum" interessieren. Hier tauchen auch ab und zu mal Formeln auf, die ich aber erklären werde. Oder nur mal zeige, damit man sie mal gesehen hat.
- Weiterführendes: Diese(r) Abschnitt(e) geht/gehen auf die Anwendung der Theorie auf Fragen ein, die über den Sommer 2014 hinaus gehen. Geeignet für die, die ein bisschen über den Tellerrand hinaus schauen wollen.

- Daniel Fiene

2 Theorie

Bevor ich richtig loslege, noch eine kurze Anmerkung: Ich werde sämtliche Temperaturen in Kelvin angeben:

$$\text{Temperatur in K} = \text{Temperatur in } ^\circ\text{C} + 273.15$$

also z.B.

$$\begin{aligned} 0 \text{ K} &= -273.15^\circ\text{C} \\ 0^\circ\text{C} &= 273.15 \text{ K} \end{aligned}$$

Der Grund dafür ist, dass die Celsius-Skala, aus thermodynamischer Sicht, eine willkürliche Festlegung eines Nullpunkts ist - sie orientiert sich an Schmelz- und Siedepunkt von Wasser, was nur einer von vielen möglichen Stoffen ist. Die Kelvin-Skala dagegen orientiert sich am absoluten Nullpunkt. Kälter geht es nicht¹. Deshalb ist 0K ein geeigneter Nullpunkt.

Eine Konsequenz daraus ist, dass das Doppelte von $1^\circ\text{C} = 274.15\text{K}$ nicht etwa $2^\circ\text{C} = 275.15\text{K}$ sondern $275.15^\circ\text{C} = 548.3\text{K}$ ist.

¹Zumindest nicht mit dem klassischen Begriff von Temperatur als Maß für die Wärmeenergie eines Stoffes, aber das auszuarbeiten, ginge hier zu weit...

2.1 Das elektromagnetische Spektrum

2.1.1 Überblick

Als elektromagnetisches Spektrum bezeichnet man die Gesamtheit aller Wellenlängen von Strahlung, die durch die Wechselwirkung des elektrischen mit dem magnetischen Feld entstehen. Diese beiden Felder sind nämlich derart gekoppelt, dass automatisch eine magnetische Feldstärke entsteht, wenn man die elektrische Feldstärke ändert und andersrum. Bei elektromagnetischen Wellen sind die Veränderungen der Felder exakt so angepasst, dass elektrische und magnetische Feldstärke ständig so zwischen einem Maximalwert und einem Minimalwert hin- und herpendeln, dass sie das jeweils andere Feld mit immer der gleichen Feldstärke erzeugen.

Während die maximale Feldstärke mit der Strahlungsintensität zu tun hat und, ist für das Spektrum die Geschwindigkeit (Frequenz) dieses Pendelns ausschlaggebend, welche in eine Wellenlänge übersetzt werden kann. Allgemein gilt: Eine hohe Frequenz² entspricht einer niedrigen Wellenlänge, eine niedrige Frequenz einer hohen Wellenlänge.

Beispiele dafür, wie man bestimmte Wellenlängen nennt, sind unter Abb. 1 abgebildet.

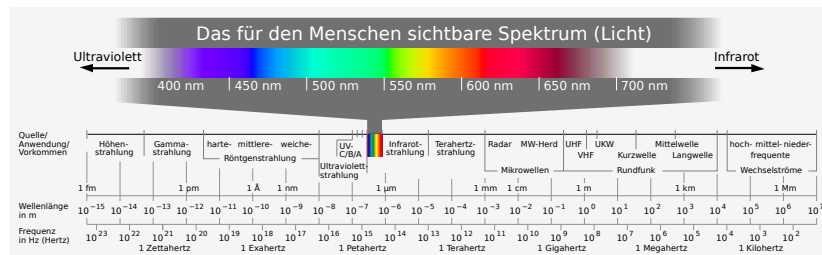


Abbildung 1: Das elektromagnetische Spektrum. Quelle: Wikipedia, Horst Frank / Phrood / Anony

Übrigens werde ich gelegentlich das Licht auch als Teilchen (Photon) beschreiben. Auch wenn Teilchen und Welle auf den ersten Blick wie völlig verschiedene Konzepte erscheinen, werden sie mit Hilfe der Quantenmechanik zu einem einzigen Konzept vereinigt. Dazu mehr im weiterführenden Teil.

²und damit hohe Energie

2.1.2 Physik

Das elektromagnetische Spektrum ist die Gesamtheit aller Wellenlängen von elektromagnetischer Strahlung. Das elektromagnetische Feld wird mit den Maxwell-Gleichungen beschrieben (nur zum angucken):

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{H} &= \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j} \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}$$

Ich werde diese Gleichungen nicht genauer erklären - die lernt man erst im zweiten Semester Physik - aber im Prinzip besagen sie, dass das elektrische Feld (\vec{E} bzw. \vec{D}) an das magnetische Feld (\vec{H} bzw. \vec{B}) koppelt. Wenn man das eine Feld verändert, erzeugt man damit automatisch das andere. Im Vakuum vereinfachen sich die Maxwell-Gleichungen und man gelangt zu Gleichungen für \vec{E} und \vec{B} , die einer Welle entsprechen. Damit wären wir schonmal vom elektromagnetischen Feld zur elektromagnetischen Welle gekommen:

$$E(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(2\pi ft - \frac{2\pi}{\lambda} r) \quad (1)$$

Die Gleichung für das magnetische Feld sieht so ähnlich aus. Hier tauchen zwei neue Variablen auf: Die Wellenlänge λ und die Frequenz f . Beide hängen wie folgt zusammen:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

mit Lichtgeschwindigkeit c . Aus dieser Gleichung folgt insbesondere, dass jede Wellenlänge einer ganz bestimmten Frequenz entspricht. Daher verzichte ich von nun auf die Frequenz und spreche nur noch von Wellenlängen. Übrigens ist die Energie eines Photons (Lichtteilchen, siehe nächster Abschnitt) invers proportional zur Wellenlänge, das heißt: Licht mit kurzer Wellenlänge hat mehr Energie als Licht langer Wellenlänge.

Das elektromagnetische Spektrum ist in Abb. 1 abgebildet. Dort sieht man, unter anderem, dass Phänomene wie Infrarot-, Ultraviolett-, Röntgen-, ... -Strahlung prinzipiell nichts anderes als das sichtbare Licht sind. Der einzige Unterschied ist, dass das menschliche Auge keine Wellenlängen außerhalb des sichtbaren Spektrums wahrnehmen kann.

2.1.3 Weiterführendes: (Ein bisschen) Quantenmechanik

In den vorangegangenen Abschnitten habe ich erwähnt, dass die Konzepte von Wellen und Teilchen, quantenmechanisch gesprochen, das selbe sind. Das mag auf den ersten Blick verwunderlich erscheinen, aber man sollte nicht vergessen, dass "Welle" und "Teilchen" nur Modelle sind, die sich Menschen ausgedacht haben, um das Universum zu beschreiben. Wenn Beobachtungen ergeben, dass die Modelle fehlerhaft sind, ist daran nicht das Universum schuld, sondern das Modell.

In diesem Abschnitt will ich zwei Experimente darstellen, die zusammengenommen zeigen, dass die Modelle von Lichtteilchen und Lichtwelle zu einem neuen Konzept vereinigt werden, dem Lichtquant oder Photon.

Wellen zeigen ein Phänomen, das man Interferenz nennt: Trifft ein Berg der einen Welle auf ein Tal der anderen Welle, so löschen sich die Wellen gegenseitig aus. Trifft ein Berg auf einen Berg oder ein Tal auf ein Tal, so verstärken sich die Wellen gegenseitig (Abb. 2).

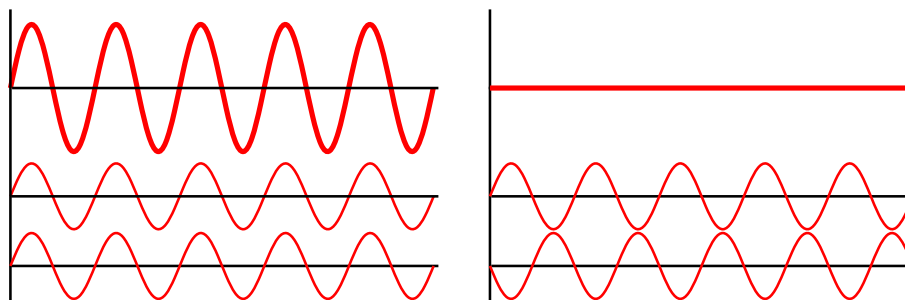


Abbildung 2: Quelle: Wikipedia, Haade, Wjh31, Quibik

Trägt man die Feldanregung (entspricht bei einer Wasserwelle der Höhe der Welle) in einer zweidimensionalen Grafik auf, so ergibt das bei der Interferenz von zwei Punktquellen ein ganz bestimmtes Muster (Abb. 3), das man auch sehen kann, wenn man beispielsweise Laserlicht durch zwei dünne Spalte fallen lässt und das entstehende Interferenzbild auf einem Schirm auffängt.

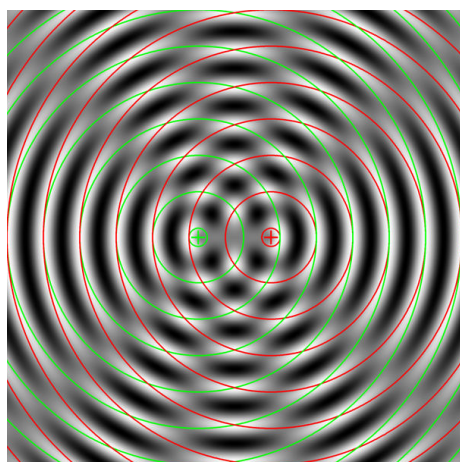


Abbildung 3: Quelle: Wikipedia, Dr. Schorsch

Damit wäre der Wellencharakter des Lichts gezeigt, und diese Beschreibung war über einige Jahrhunderte das vorherrschende Modell für Licht, bis im Jahre 1905 ein junger Physiker mit Namen Albert Einstein den photoelektrischen Effekt beschrieb:

Der Versuch besteht aus einer Metallplatte, auf die Licht fällt, und einem Elektronendetektor. Die Platte ist negativ geladen, der Detektor ist in der Nähe einer positiven Ladung, so dass eventuell vorhandene negative Ladungen (wie zum Beispiel Elektronen) in Richtung des Detektors beschleunigt werden. Lässt man Licht auf die Platte scheinen, so werden durch die Lichtenergie Elektronen aus der Platte gelöst, die dann vom Detektor gemessen werden können.

Allerdings funktioniert das nicht für jedes beliebige Licht. Wählt man für die Platte das richtige Metall, so kann man bei einer Bestrahlung mit rotem Licht keine Elektronen messen, bei der Bestrahlung mit blauem Licht dagegen schon. Gemäß dem Wellenmodell bräuchte man nur die Strahlungsleistung der roten Lampe erhöhen, um Elektronen zu messen, aber da spielt die Platte nicht mit: Auch bei hoher Strahlungsleistung einer roten Lampe werden keine Elektronen aus dem Metall gelöst, bei blauem Licht dagegen reicht schon eine sehr geringe Intensität. Wenn wir uns Abb. 1 ansehen, bemerken wir, dass blaues Licht eine höhere Energie hat als rotes Licht. Wenn wir annehmen, dass sich Licht auch als Teilchen beschreiben kann, ergibt sich daraus Einsteins Lösung der Beobachtung:

Die Elektronen benötigen eine bestimmte Energie, um aus dem Metall gelöst zu werden, die von einem einzigen Lichtteilchen aufgebracht werden muss. Rote Lichtteilchen haben zu wenig Energie, um ein Elektron zu lösen, daher bringt es auch nichts, wenn man viele rote Lichtteilchen auf das Metall schmeißt (entspricht hoher Intensität). Die Energie eines blauen Lichtteilchens dagegen reicht aus.

Diese beiden Modelle zusammengenommen führten zum Welle-Teilchen-Dualismus, der besagt, dass Wellen auf quantenmechanischer Ebene auch als Teilchen beschrieben werden können. Später drehte man diese Aussage um und fand auch für "anerkannte" Teilchen wie Elektronen Interferenzmuster, so dass man heute Elektronen auch als Wellen beschreibt. Daher sind quantenmechanische Objekte "ein bisschen von beidem".

2.2 Schwarzkörperstrahlung

2.2.1 Überblick

Als Schwarzkörperstrahlung bezeichnet man das Phänomen, dass ein Objekt mit einer Temperatur über 0K Strahlungsenergie abgibt - je heißer der Körper ist, desto mehr Energie gibt er ab. Zudem strahlen heißere Körper mit kürzerer Wellenlänge, kühlere Körper mit längerer Wellenlänge. Menschen, mit einer Körpertemperatur von etwa 37° C strahlen beispielsweise hauptsächlich im Infraroten, was der Grund ist, warum man Menschen auf Infrarotkameras gut sehen kann. Bei einige hundert Grad Celsius beginnt der Körper langsam, im sichtbaren Bereich zu strahlen. Zunächst rot, wie beispielsweise Grillkohle, dann gelb, weiß (jetzt sind wir schon bei einigen tausend Grad, beispielsweise der Oberfläche der Sonne) und schließlich blau bis violett (ziemlich heiß).

Der Begriff "Schwarzkörperstrahlung" ist übrigens historisch und hat mit den ersten Modellierungen dieses Phänomens zu tun. Die strahlenden Körper müssen nicht schwarz sein, um Schwarzkörperstrahlung abgeben zu können.

2.2.2 Physik

Auf Mikroskopischer Ebene ist Temperatur nichts anderes als Bewegung - anders gesagt, alle Teilchen innerhalb eines Objekts, das heißer als der absolute Nullpunkt ist, bewegen sich. Diese Teilchen - Elektronen und Atomkerne - sind elektrisch geladen und wechselwirken daher über den Elektromagnetismus miteinander. Dadurch erzeugen diese Körper durch die Bewegung auf mikroskopischer Ebene elektromagnetische Strahlung. Je heißer der Körper ist, umso mehr bewegen sich die Teilchen und umso mehr Strahlung gibt der Körper ab.

Die exakte Formulierung der Verteilung dieser Strahlung auf die verschiedenen Wellenlängen (thermisches Spektrum) war lange Zeit ein Problem, aber einer der ersten durchschlagenden Erfolge der Quantenmechanik zu Beginn des 20. Jahrhunderts war die mit der Quantenmechanik erklärable Strahlungsformel von Max Planck:

$$E = \frac{8\pi h f^3}{c^3} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT} - 1\right)} \quad (3)$$

Wie so ein Spektrum aussieht, ist in Abb. 4 dargestellt.

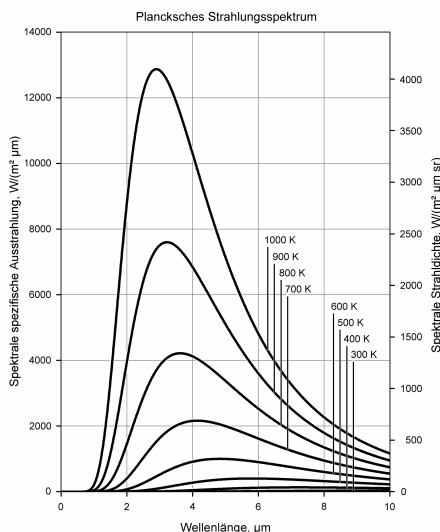


Abbildung 4: Quelle: Wikipedia, Sch

Man sieht nicht nur, dass die gesamte abgegebene Energie mit der Temperatur ansteigt (proportional zu T^4), sondern auch, dass die Wellenlänge, bei der die maximale Strahlungsleistung abgegeben wird, bei höheren Temperaturen immer kürzer wird.

Beispielsweise strahlt ein Mensch mit einer Körpertemperatur von 37°C hauptsächlich im infraroten, die Sonne mit einer Oberflächentemperatur von etwa 5800 K im sichtbaren Bereich, genauer gesagt, im gelb-grünen. Die Strahlung in den restlichen sichtbaren Wellenlängen sorgt dafür, dass sie weiß-gelb leuchtet³.

2.2.3 Weiterführendes: Spektraltypen

Nicht alle Sterne strahlen in dem Wellenlängenbereich, in dem die Sonne strahlt - weniger massereiche Sterne werden im Kern weniger stark durch Gravitation komprimiert, so dass der nukleare Prozess, der solche Sterne anheizt, weniger Leistung erzeugt. Diese Sterne leuchten daher schwächer und strahlen weniger energetisches Licht aus. Ihr Strahlungsmaximum ist im (infra)roten bis orangenen, wodurch sie rot bis orange erscheinen.

³Sie wird zwar gerne als gelb dargestellt, aber eigentlich strahlt sie eher weiß - gelb erscheint sie nur abends oder morgens, wenn sie durch mehr Atmosphäre strahlen muss und das Licht dadurch stärker gestreut wird.

Entsprechend gibt es auch massereichere Sterne, die dementsprechend mehr Leistung erzeugen und stärker leuchten. Sie strahlen bläulich. Die wichtigsten Klassen an Hauptreihensternen sind in Abb. 5 abgebildet.

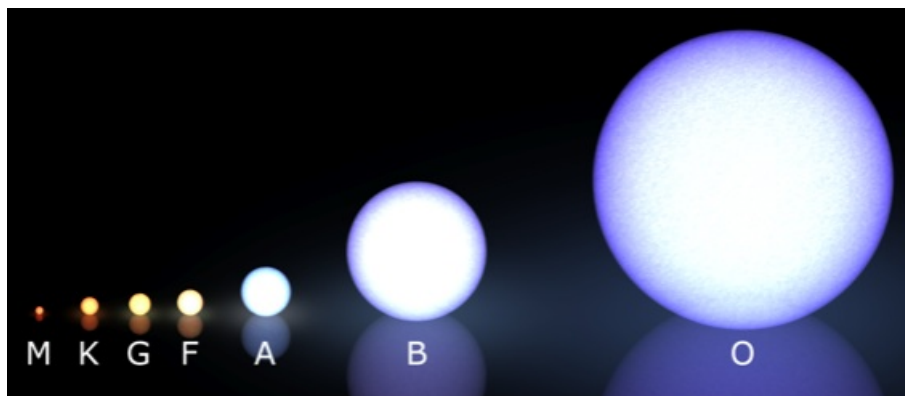


Abbildung 5: Sternklassifikation - die Sonne ist ein G-Typ. Quelle: scienceblogs.com

“Hauptreihenstern” (Typ V) ist eine weitere Klassifikation, in die die meisten Sterne fallen. Sie werden auch “Zwerge” genannt, um sie gegenüber den größeren Sternen mit den einfallsreichen Namen Unterriesen (IV), Riesen (III), hellen Riesen (II), Überriesen (I) und Hyperriesen (0) abzugrenzen. Die leuchtkräftigsten Sterne schaffen locker die 150fache Sonnenmasse, den 250-fachen Sonnenradius und die 5-Millionenfache Leuchtkraft der Sonne. Größer können Sterne beim gegenwärtigen chemischen Entwicklungsstand des Universums nicht werden, da der eigene Strahlungsdruck größere Sterne sofort auseinander reißen würde⁴. Sterne dieser Größenordnung brauchen ihren Brennstoff erheblich schneller auf als kleinere Sterne, so dass ein Hyperriese dieser Größenordnung nur wenige Millionen Jahre lebt (Zum Vergleich: Die Lebensdauer der Sonne wird auf ew 10 Milliarden Jahre geschätzt).

2.3 Sonnenaktivität

2.3.1 Überblick

Wie bereits erwähnt, durchläuft die Sonne etwa elfjährige Zyklen mit variierender Leuchtkraft. Zusätzlich wird die Existenz weiterer, längerer Zyklen vermutet, die die Leuchtkraft in geringerem Maße beeinflussen. Die Gründe hierfür sind noch nicht vollständig erklärt - nennenswerte Modelle schlagen Gezeitenkräfte durch die beiden größten Planeten des Sonnensystems, Jupiter und Saturn vor, andere legen Schockwellen zugrunde, die, ähnlich Erdbeben, durch die Sonne laufen. Auffällig ist, dass die Sonnenaktivität mit der Anzahl der Sonnenflecken im Zusammenhang steht. Das sind Flecken geringerer Temperatur, die sich durch Veränderungen des Magnetfeldes bilden und wieder verschwinden. In Zeiten hoher Sonnenaktivität bilden sich viele Flecken, während in Zeiten geringerer Sonnenaktivität gelegentlich überhaupt keine Flecken sichtbar sind.

Abbildung 6 zeigt ein paar dieser Sonnenflecken.

⁴Im frühen Universum, als es noch weniger schwere Elemente gab, gab es noch erheblich größere Sterne, da der Strahlungsdruck besonders stark auf schwere Elemente wirkt.

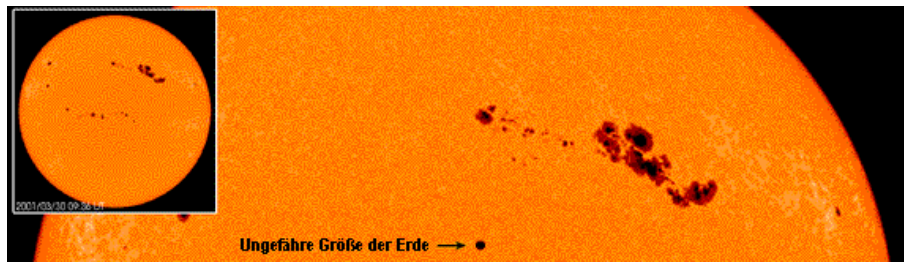


Abbildung 6: Sonnenflecken - Quelle: Wikipedia / NASA

2.3.2 Physik

Wie bereits erwähnt, variiert die Sonne im 11-Jahres-Rhythmus ihre Leuchtkraft, wobei es noch mindestens einen weiteren Zyklus gibt, der dem 11-Jahres-Zyklus überlagert ist.

Der 11-Jahres-Zyklus wird nach seinem Entdecker Schwabe-Zyklus genannt, zusätzlich existiert noch der 22-Jährige Hale-Zyklus.

Weitere vorgeschlagene Zyklen mit Periodenlängen von 87, 210, 2300 und 6000 Jahren werden ebenfalls in Betracht gezogen, aber da die Sonnenzyklen überhaupt erst seit der Mitte des 18. Jahrhunderts bekannt sind und gemessen werden, ist die Datenlage bei diesen langen Abständen eher schwach.

Überhaupt war diese eigentlich relativ frühe Entdeckung nur möglich, da zusätzlich zur (relativ kleinen) Änderung der Leuchtkraft noch eine besser sichtbare Größe variiert: Die Anzahl der Sonnenflecken. Diese wurden zwar schon vorher beobachtet, aber erst im frühen 17. Jahrhundert als solche erkannt. Die systematische Aufzeichnung begann erst etwa 1610.

Sonnenflecken sind Flecken mit geringerer Temperatur, die sich in Zeiten hoher Aktivität auf der Sonnenoberfläche bilden. Diese "geringere Temperatur" ist immer noch im Bereich von 3000-4500 K (Im Vergleich: Der Rest der Sonnenoberfläche hat etwa 5800 K) und strahlt auch einiges an Schwarzkörperstrahlung ab, aber im Vergleich zur heißeren und damit helleren Umgebung sehen diese Flecken eben dunkel aus.

Sie bilden sich, wenn das Magnetfeld der Sonne verwirbelt wird und in den Weltraum "ausbricht". Dies geht üblicherweise mit koronalen Massenauswürfen her - Auswürfen von Material der Sonne in den Umgebenden Weltraum. Wenn einer dieser Auswürfe die Erde trifft, kann es durch Wechselwirkungen mit dem Erdmagnetfeld zu Polarlichtern und, bei besonders starken Auswürfen, zu Problemen mit der Satellitenkommunikation kommen.

Es mag ein wenig verwunderlich erscheinen, dass die Sonne stärker strahlt, wenn viele Flecken mit schwächerer Leuchtkraft vorhanden sind. Allerdings ist nur ein kleiner Teil der Sonne von Flecken bedeckt (Siehe Abb. 6), und der Rest der Sonne kann die verminderte Strahlungsleistung mit erhöhter Strahlungsleistung mehr als nur kompensieren. Außerdem beträgt die durchschnittliche Strahlungsleistung der Sonne, die auf der Erde empfangen wird, $1361 \frac{kW}{m^2}$, die Strahlungsleistung beim Aktivitätsmaximum gerade mal $1362 \frac{kW}{m^2}$.

Obwohl die Variation in der Sonnenaktivität damit nur im Bereich von 0.1% liegt, hat sie auf der Erde Auswirkungen. Zwischen 1645 und 1715 wurden nahezu keine Sonnenflecken beobachtet - kurioserweise nur ein paar Jahre nach Be-

ginn der systematischen Aufzeichnung. Diese Zeit, auch als Maunder-Minimum bezeichnet, wird gelegentlich als Mini-Eiszeit bezeichnet, da in diesem Zeitraum die Winter besonders hart waren.

Der Grund für die Zyklen ist übrigens noch nicht vollständig geklärt, man vermutet Gezeiteneffekte von Jupiter und Saturn, den beiden größten und schwersten Planeten des Sonnensystems, oder seismische Wellen, die die Sonne durchlaufen.

2.3.3 Weiterführendes: Cepheiden

Eine besonders drastische Version von Schwankungen in der stellaren Aktivität beobachtet man bei einigen Sternen. Diese Sterne - variable, blaue Sterne mit durchschnittlich recht hoher Leuchtkraft - werden auch Cepheiden genannt.

Das gegenwärtig vertretene Modell erklärt die Schwankungen wie folgt:

Im Stern existiert eine Schicht mit temperaturabhängiger optischer Durchlässigkeit.

Wird diese Schicht heiß, so wird sie optisch weniger durchlässig. Daraus folgt, dass sie das Licht aus dem Sterninneren aufstaut und durch den Strahlungsdruck nach außen getragen wird, wodurch der Stern größer wird. Je weiter sie sich vom Kern des Sterns entfernt, desto kühler wird sie. Dadurch kann das Licht entkommen und der Strahlungsdruck nimmt ab. Dadurch fällt die Schicht wieder in Richtung des Sterns, wodurch der Stern kleiner wird und die Schicht wieder aufgeheizt wird. Damit beginnt der Zyklus von vorne.

Bemerkenswert ist, dass die Pulsationsperiode dieser Sterne direkt mit ihrer absoluten Leuchtkraft zusammenhängt - sobald man die Periodendauer gemessen hat, kann man die absolute Leuchtkraft messen und mit der scheinbaren Leuchtkraft vergleichen, die man auf der Erde messen kann. Da die scheinbare Leuchtkraft des Sterns mit dem Quadrat der Entfernung abfällt, folgt aus dem Verhältnis der scheinbaren zur absoluten Leuchtkraft des Sterns der Abstand.

Damit ist die Vermessung von Cepheiden eine anerkannte Methode, um die Entfernung von Sternen zu bestimmen. Da sie leuchtstark sind, sind sie auch über große Entfernungen erkennbar, was weiter zu ihrer Nützlichkeit beiträgt.

Eine bemerkenswerte Entdeckung, die im Zusammenhang mit Cepheiden getroffen wurde, ist die Expansion des Alls, entdeckt von Edwin Hubble im Jahr 1929.

Er vermaß Cepheiden in verschiedenen nahen Galaxien und konnte durch den so gewonnenen Abstand und die Rotverschiebung des Lichts (Wellenlängenänderung durch relative Bewegung) erkennen, dass sich weiter entfernte Galaxien schneller von uns entfernen als nahe Galaxien. Auch wenn sich Hubble mit einigen Parametern verschätzte und dadurch einen falschen Wert für das Alter des Alls erhielt, folgte daraus, dass das All expandiert⁵.

3 Diskussion

Wir haben gesehen, dass die Sonne elfjährigen Schwankungen in ihrer Strahlungsstärke unterliegt. Da das letzte Maximum 2003 war, kann man davon ausgehen, dass wir uns jetzt, 2014, wieder recht nahe an einem Maximum befinden. Allerdings sind die 11 Jahre nur ein Durchschnittswert; ich habe nicht allzu viel zu dem

⁵Dazu gibt es noch einiges zu sagen, aber da dies ziemlich nahe an meinem Hauptforschungsgebiet ist, bremsen ich mich an diesem Punkt, sonst wird das ganze zu lang ;-)

Thema recherchiert, aber die meisten Quellen sagen, dass das Maximum dieses Zyklus' bereits 2013 erreicht war.

Zudem ist die Schwankung in der Sonnenaktivität nur sehr gering, bei etwa 0.1 Prozent. Rechnet man dies in die effektive Temperatur der Erde um, so entspricht das einer Änderung um etwa 0.025 %. Zudem gibt es auf der Erde weitere Einflüsse: Ohne Atmosphäre hätten wir eine eher unangenehme Durchschnittstemperatur von etwa 255 K bzw. -18°C , woran auch die 0.025% erhöhte Aktivität wenig ändert. Die restlichen etwa 33 K bis zur tatsächlichen Durchschnittstemperatur von 15°C werden durch die Atmosphäre, genauer genommen den (natürlichen! Nicht zu verwechseln mit dem vom Menschen verursachten!) Treibhauseffekt verursacht. Dadurch wird die exakte Berechnung der Einflüsse der erhöhten Aktivität auf das Wetter in diesem Sommer schwierig.

Allerdings sollte man im Hinterkopf behalten, dass die hohe Sonnenaktivität dem Sommerwetter zumindest nicht abträglich ist, da das Ausbleiben der Sonnenaktivität vor knapp 350 Jahren schließlich schonmal eine Minieiszeit verursacht hat.

4 Danksagungen

Danke an meine Mutter, die, nach eigenen Aussagen, rumerzählt hat, dass ich gesagt hätte, das Wetter würde in diesem Sommer gut werden. Das musste ich erstmal richtig stellen. Ohne dein Eingreifen hätte ich diesen Essay vielleicht gar nicht geschrieben ;-)