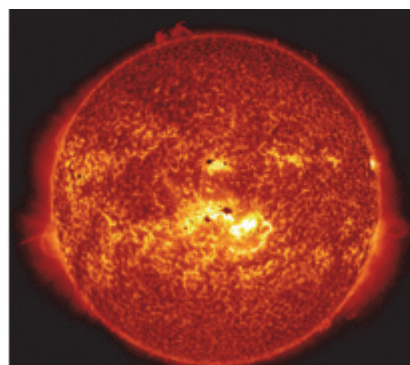


## Sonnenflecken – physikalischer Hintergrund (1)

Anfang des 17. Jahrhunderts gelangen dem Engländer Thomas Harriot, dem Niederländer Johannes Fabricius, Galileo Galilei und dem Jesuiten Christoph Scheiner unabhängig voneinander die Entdeckung der sogenannten Sonnenflecken. Ihre Interpretationen reichten von Wolken auf der Sonne über brennende Schlackehaufen bis hin zu die Sonne umkreisende Planeten. Erst im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts gelang es, eine wissenschaftliche Interpretation dieses Phänomens der sogenannten aktiven Sonne zu geben.

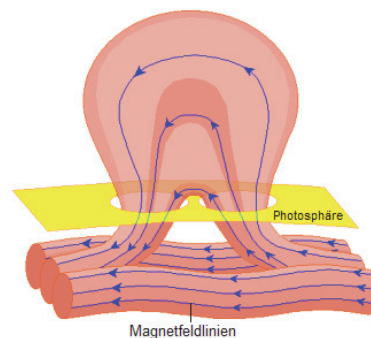


NASA/SDO/Goddard Space Flight Center (<https://svs.gsfc.nasa.gov/11136>)

Größere Sonnenflecken weisen eine innere Struktur auf. So bezeichnet man den dunklen Kern als Umbra (ca. 18000 km Durchmesser) und den helleren Mantel als Penumbra (ca. 37000 km Durchmesser). Die Schwärze der Flecken ist lediglich auf den Kontrast in Bezug zur Sonnenoberfläche zu erklären. Diese besitzt mit ca. 6000 K eine höhere Temperatur als die Penumbra, ca. 5000 K, und die Umbra, ca. 4000 K. Nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz ist die thermisch abgestrahlte Leistung jedoch proportional zur vierten Potenz der Temperatur, sodass die starken Unterschiede bezüglich der Leuchtkraft der Flecken auf die unterschiedlichen Temperaturen zurückgeführt werden können.

Die eigentliche Ursache der Sonnenflecken ist aber in dem Vorhandensein starker lokaler Magnetfelder zu suchen. Aufgrund eines mehrkomponentigen Strömungs- und Magnetfeldes im Inneren der Sonne kommt es zur Ausbildung parallel zu den Breitenkreisen verlaufender Schläuche magnetischer Feldlinien (toroidale Feldlinien). Diese gelangen an die Sonnenoberfläche und werden dort aufgeschnitten, so dass die offenen Enden eines solchen Feldschlauches senkrecht zur Sonnenoberfläche erscheinen und eine bipolare Fleckengruppe bilden. Diese bipolare Fleckengruppe besitzt dann einen Nord- und einen Südpol.

Durch den Verlauf der magnetischen Feldlinien im Bereich der Flecken kommt es weiterhin zu einer Störung des konvektiven Energiestroms aus dem Inneren der Sonne an die Oberfläche. Damit reduziert sich die Temperatur der Sonnenoberfläche in diesem Bereich, so dass es hier zu einer verringerten Strahlungsleistung kommt und die oben beschriebene Schwärzung, also der sichtbare Teil der Sonnenflecken, entsteht.



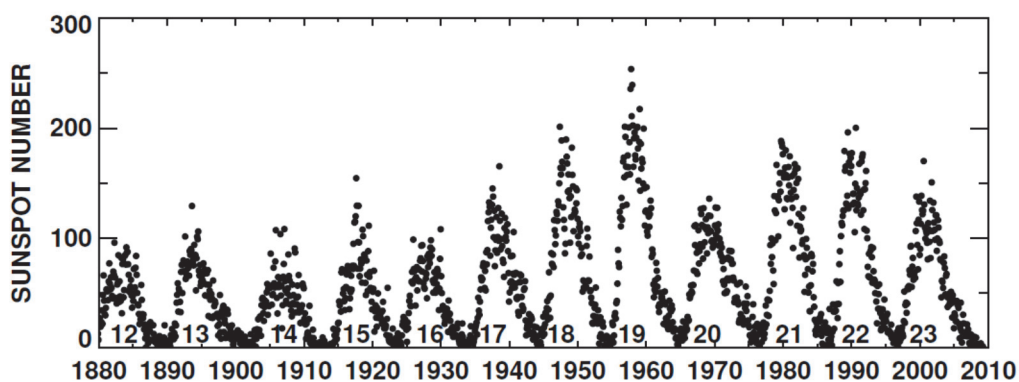
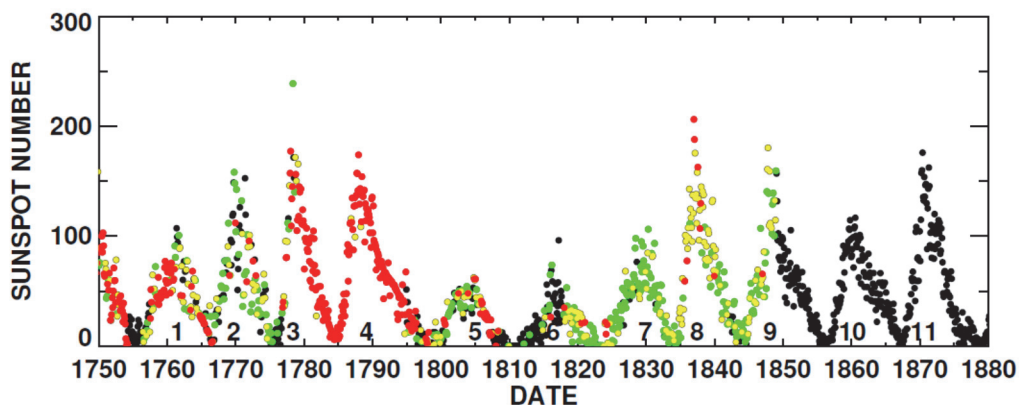
Sonnenflecken treten in der Regel in Gruppen auf, wobei der bipolare Fleck optisch dominiert. Eine Beobachtung einer solchen Fleckengruppen über mehrere Tage zeigt eine relative Bewegung der Gruppe zur Sonnenscheibe. Diese Bewegung ist jedoch nur scheinbar. Tatsächlich ist sie auf die Rotation der Sonne um ihre Nord- Südachse zurückzuführen. Durch die Beobachtung der Flecken konnte eine Rotationsdauer der Sonne von 25,4 Tagen ermittelt werden. Hierbei ist die Rotationsachse der Sonne um  $7^\circ 15'$  gegen die Ekliptik geneigt.

Wie der Apotheker H. Schwabe bereits Mitte des 19. Jahrhunderts zeigen konnte, wechselt die Anzahl der Flecken auf der Sonne mit einer im Durchschnitt 11jährigen Periode (Schwabe-Zyklus, die Dauer eines Zyklus schwankt zwischen 9 und 13,6 Jahren). Diese sogenannten Aktivitätszyklen werden fortlaufend gezählt. Willkürlich wurde der Zyklus von 1755 bis 1766 als erster Zyklus festgelegt, sodass wir heute den 24. Zyklus der Sonne beobachten können. Gelegentlich tauchen auch längere inaktive Zeiträume auf. Zuletzt konnten in der Zeit von 1645 bis 1715, also kurz nach der Entdeckung der Sonnenflecken, nur sehr wenige Flecken gezählt werden (Maunder-Minimum).

## Sonnenflecken – physikalischer Hintergrund (2)

Einen Überblick über die zeitabhängige Anzahl der Sonnenflecken gibt folgendes Bild. Hier ist die monatlich gemittelte Sonnenfleckenanzahl gegen die Jahreszahl aufgetragen. Die Anzahl der Flecken ergibt sich aus der Summe der individuellen Flecken  $f$  und der Anzahl der Fleckengruppen  $g$  multipliziert mit zehn:  $SN = f + 10g$

Da in einer Fleckengruppe durchschnittlich zehn Sonnenflecken vorliegen, ist diese Methode praktikabel und liefert hinreichend genaue Ergebnisse auch unter schlechten Beobachtungsbedingungen.



Unter Berücksichtigung der teleskopischen Beobachtungen seit 1610 zeigt sich damit die bereits oben formulierte mittlere Zykluslänge von  $T = 11$  Jahren. Neben diesem Grundzyklus der Sonnenaktivität deutet sich ein weiterer Fleckenzklus mit einer Dauer von rund 80 bis 100 Jahren an. Dieser lange Zyklus wird nach seinem Entdecker W. Gleissberg auch als Gleissberg-Zyklus bezeichnet. Eine genauere Bestimmung ist erst nach Ablauf von einer größeren Zahl langer Zyklen möglich. Zurzeit befinden wir uns im dritten Gleissberg-Zyklus.

Die zeitliche Entwicklung der oben genannten physikalischen Aspekte der Entstehung der Sonnenflecken kann mit der Theorie eines solaren Dynamos erklärt werden: So beruht der Aktivitätszyklus der Sonne darauf, dass im Inneren der Sonne das Wasserstoffplasma einer Konvektion unterliegt, welche zusammen mit der (differentiellen) Rotation der Sonne zu einer periodischen Änderung des gesamten Strömungs- und Magnetfeldes führt. Diese Periode ist nach zweimal 11 Jahren wieder an ihrem Ausgangspunkt angelangt. Ein vollständiger Sonnenzyklus ist demnach also erst nach ungefähr 22 Jahren abgeschlossen (Hale-Zyklus). Eine Erklärung des Gleissberg-Zyklus mit seinen 80 bis 100 Jahren ist hiermit allerdings nicht möglich. Eine Erklärung dieses periodischen Vorgangs steht noch aus.

### Daten

D.H. Hathaway, NASA Marshall Space Flight Center, Solar Physics, The Sunspot Cycle  
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml> Zugriff: Oktober 2017

### Literatur

- D. Beckmann, Astrophysik, 1. Auflage, C.C. Buchner 2011;
- A. Unsöld, B. Baschek, Der neue Kosmos, 7. Auflage, Springer 2005
- K. Reinsch, R. Beck, H. Hilbrecht, P. Völker, Die Sonne beobachten, Sterne und Weltraum 1999
- D.H. Hathaway, The Solar Cycle, Living Rev. Solar Phys., 7, (2010), 1