

Historische Anmerkungen zur Sternfleckenhypothese

(nach einem Artikel aus dem Jahre 1996)

E. H. Geyer

1 Einführung

Die Beobachtungsphänomenologien an Sternen vom Spektraltyp später als F5 in unterschiedlichen Spektralbereichen, angefangen von den Röntgenstrahlungs- bis zu den Radiowellenbereichen, haben es seit etwa 40 Jahren zur Gewissheit werden lassen, daß eine Reihe von Einzelsternen und vor allem Komponenten in Doppelsternsystemen photosphärisch-chromosphärisch-koronale Aktivitäten ähnlich der Sonne aufweisen, diese jedoch in ihrer Stärke um ein vielfaches übertreffen. Dies führte dazu, die seit dem 17. Jahrhundert ausgesprochene Sternfleckenhypothese zur Erklärung des zyklischen Lichtwechsels veränderlicher Sterne wieder aufleben zu lassen. Seit etwa 1925 war sie gänzlich aus der Mode gekommen, nachdem die Pulsationstheorie zur Erklärung der Licht- und der Radialgeschwindigkeitsänderungen der kurz- und langperiodischen Cepheiden zum Durchbruch verholfen wurde (Shapley, 1914; Eddington, 1917; Baade, 1926; Bottlinger, 1927).

Die ersten Anfänge einer Wiedererweckung der Fleckenhypothesen (Rotation eines Sterns mit ungleicher Helligkeitsverteilung und zyklischer Fleckenbildung) ist ab etwa 1950 durch die verfeinerten photoelektrischen und spektroskopischen Beobachtungsmethoden induziert worden:

Die Entdeckung mehrerer „Flare-Sterne“ (UV-Ceti-Sterne) von sehr spätem Spektraltyp, die in ihren kurzzeitigen Helligkeitsausbrüchen stark den solaren chromosphärischen „Flares“ ähneln (Lippincott, 1952; Huruhata, 1952; Unsöld, 1955). Weiterhin zeigten die nunmehr sehr genauen photometrischen Messungen, vor allem an Bedeckungsveränderlichen, Unregelmäßigkeiten in deren Lichtkurven (O'Connell-Mergenthaler Effekt) und Veränderungen derselben (Kron, 1947,1950,1952; Mergenthaler, 1950; O'Connell, 1951; Unsöld, 1955; Binnendijk, 1960,1970; Hall, 1972,1976; Geyer 1976a,b).

Die systematischen, sich über 25 Jahre erstreckenden, spektroskopischen Untersuchungen der Call-H & K doppelten Linienumkehr durch O. C. Wilson (*1909), deren Entdeckung 1913 in Sternen von spätem Spektraltyp auf G. Eberhard (1867 - 1940) und K. Schwarzschild (1873 - 1916) zurückgeht, führten sowohl zur Entdeckung des Wilson-Bappu-Effektes (Wilson and Bappu, 1957), wie auch der Auffindung kurzperiodischer und langzyklischer Variationen der Äquivalentbreiten der H-K-Linien an einer Vielzahl von Hauptreihensternen vom Spektraltyp später F5 (Wilson, 1978).

Damit wurden die chromosphärischen Aktivitäten von Einzelsterne analog jenen der Sonne bezügliche ihrer Rotation und 'Fleckenzyklen' bewiesen. Die etwa gleichzeitige Entwicklung der solaren/stellaren magneto-hydrodynamischen Dynamotheorie lieferte die theoretische Untermauerung dieser Beobachtungseffekte (Parker, 1955; Steenbeck, Krause, Rädler, 1966).

2 Die Anfänge der Fleckenhypothese

Die erste in Europa verbürgte Entdeckung eines veränderlichen Sterns - o Ceti (Mira) - der nicht den eruptiven Veränderlichen (Novae etc.) zuzurechnen ist, geschah 1596

durch den friesischen Pfarrer D. Fabricius (1564 - 1617). Da das Objekt nach etwa 3 Monaten sich der Sichtbarkeit dem unbewaffneten Auge entzogen hatte, wurde dieser Entdeckung von Seiten der damaligen Astronomen keiner besonderen Aufmerksamkeit bedacht. Sie ist 1604 von J. Kepler (1571 - 1630) anlässlich des Aufleuchtens der nach ihm benannten Supernova von diesem nur kurz erwähnt worden. Fabricius selbst sah das Objekt an der gleichen Position nochmals zu Beginn des Jahres 1609 (siehe Schönfeld, 1866), ohne jedoch ernsthaft Konsequenzen zu ziehen und es im kommenden Herbst/Winter weiter zu verfolgen.

Erst der Niederländer J.F. Holwarda bemerkte 1638 die wiederkehrende Veränderlichkeit von α Ceti. 1667 stellte sodann I. Bouillau (1605 - 1694) den zyklischen Helligkeitsverlauf von nahezu 11 Monaten fest. Dieser schlug auch als Erklärung für das zyklische Wiederauftauchen des Sterns und dem unterschiedlich langem Verweilen im Maximum bzw. Minimum des Lichtwechsels erstmals ein Flecken-Modell vor: Der Stern rotiere und wende während der Rotationsperiode dem Beobachter unterschiedlich helle Hemisphären zu. Dieser Modellvorstellung war bereits die Entdeckung der Sonnenrotation vorangegangen. Um 1611/1613 schlossen J. Fabricius (1587 - 1615), der Sohn des Entdeckers von α Ceti, sowie unabhängig Ch. Scheiner (1573 - 1650) auf die Sonnenrotation an Hand der Wanderung der Flecken auf der Sonnenscheibe.

Auch als im 17. und 18. Jahrhundert weitere Veränderliche mit periodischem Lichtwechsel gefunden wurden - bis 1799 sind insgesamt 11 veränderliche Sterne bekannt gewesen, darunter neben α Ceti noch 4 weitere Mira Sterne (Kirch 1687: χ Cygni; Maraldi 1704: R Hydrae; Koch 1782: R Leonis; Pigott 1795: R Scuti), 2 Bedeckungsveränderliche (Montanani 1669: β Persei = Algol; Goodricke 1784: β Lyra), 2 Cepheiden (Pigott 1784: 17 Aquilae; Goodricke 1784: β Cephei), 1 semiregulärer Variabler (Herschel 1795: β Herculis) 1 R Corona Borealis Typ (Pigott 1795: R Coronae Borealis) - blieb das Interesse von Seiten der Astronomen gering.

Auch J. Goodricke (1764 - 1786), der den kurzperiodischen Helligkeitsverlauf von Algol ($P = 2.867$ Tage) bestimmte (sowie auch jene von β Cephei und β Lyrae), konnte nicht mit seinen Entdeckungen das Interesse der Astronomen wecken, obwohl er mit zwei sehr präzisen physikalischen Modellvorstellungen den Lichtkurvenverlauf zu interpretieren versuchte: Entweder Bedeckungslichtwechsel und/oder Fleckenhypothese (Goodricke, 1783). Er schreibt:

"I should imagine that the cause of this variation could hardly be accounted for otherwise than either by the interposition of a large body revolving around Algol, or some kind of motion of its own, whereby part of its body covered with Spots or such-like matter, is periodically turned towards the earth."

3 Die Entwicklung der Fleckenhypothese im 19. Jahrhundert

Die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts brachte die Wende für das Interesse an den veränderlichen Sternen, nachdem 1816 zuerst W. Olbers (1758 - 1840) und vor allem dann 1844 F. W. Argelander (1799 - 1875) in seiner "Aufforderung an die Freunde der Astronomie" für das intensive Studium der Veränderlichen eingetreten waren. Hierin legte er die beobachtungsmäßigen Grundlagen für die rationelle photometrische Messung der Variablen mit Hilfe der Stufenschätzmethode. Der 1866 von E. Schönfeld

(1828 - 1891) herausgegebene "Catalog von veränderlichen Sternen" enthält bereits 119 Eintragungen.

Es war zunächst vor allem der Autorität eines W. Olbers zu verdanken gewesen, der sich in einer Arbeit (Olbers, 1816) des Mirasterns χ Cygni annahm und dabei die Schwankungen der Lichtwechselperiode feststellte. Erstmals wurden von ihm die bis dahin bekannt gewordenen Variablen in fünf Klassen eingeteilt:

"1) Die eigentlich sog. neuen Sterne (Stellae Novae)

2) Sterne, die periodisch wiederkehren, nachdem, sie auf einige Zeit ganz verschwunden sind, nämlich o Ceti, χ Cygni

3) Sterne, die immer eine mehr oder weniger periodische Lichtwandlung zeigen, ohne je ganz zu verschwinden, als Algol, β Lyrae, β Cephei

4) Sterne, die einige Zeit einen Lichtwandel gezeigt haben, jetzt aber unveränderlich sind, als der Stern P Cygni

5) Sterne, die beständig nach und nach an Licht ab- oder zunehmen, z. B. κ Draconis."

Als physikalisches Modell zur Erklärung des Lichtwechsels der Klasse 3 greift er die Fleckenhypothese auf, indem er bemerkt:

"Übrigens ist die Erklärung dieses periodischen Lichtwandels durch die Rotation dieser Sterne um ihre Achse und eine verschiedene Lichtstärke der einzelnen Theile ihrer Oberflächen zu natürlich, um nicht als höchst wahrscheinlich angenommen zu werden." Sodann fährt er bezüglich der Gruppe 2 fort: "In wiefern die bei der 3. Klasse angenommene Erklärung auch auf die Sterne der zweiten Klasse passen kann, ist noch nicht so ganz ausgemacht. Wenigstens reicht man mit der Voraussetzung einer Rotation und einer teilweise dunklen und hellen Oberfläche noch bei weitem nicht aus, die Erscheinungen, die sie darbieten, vollständig zu erklären."

Offensichtlich bezieht er sich dabei auf eine kurz vorher publizierte Arbeit (Wurm, 1816), in der als physikalisches Modell für o Ceti von einer "aufbrechende Fleckenrinde" gesprochen wird.

Dies ist insofern interessant, als 1865 J.C.F. Zöllner (1834 - 1882), der als Begründer der Astrophysik anzusehen ist, in seinen Vorstellungen über die Entwicklung der Weltkörper fünf Phasen vorschlug unter Anlehnung an geologische Erscheinungen:

"1. die Phase des glühend-gasförmigen Zustandes;

2. die Periode des glühend- flüssigen Zustandes;

3. die Phase der Schlackenbildung und der Entstehung einer erkaltenden, nichtleuchtenden Oberfläche;

4. die Eruptionsperiode, wobei die Schlackenoberfläche zeitweilig aufbricht und die heiße innere Glutmasse sichtbar wird;

5. die Endphase der vollständigen Erkaltung."

Da 1843 von H. Schwabe (1789 - 1875) der Sonnenfleckenzyklus entdeckt und dieser ab 1856 durch R. Wolf (1816 - 1893) zu 11.1 Jahren genauer bestimmt wurde, bringt Zöllner gerade die Phasen 3 & 4 seines Entwicklungsschemas mit den Algol-, β Cephei- und Mira-Veränderlichen in Zusammenhang mit seiner "Schlackentheorie". Seine theoretischen Überlegungen, wie auch die experimentell-photometrischen Untersuchungen mit Hilfe des von ihm konstruierten Photometers (Zöllner, 1861), die

er an einer kleinen drehbaren, mit hellen und dunklen Gebieten bestrichenen und von der Sonne beschienenen Kugel anstellte, lassen ihn als den eigentlichen wissenschaftlichen Vater der Sternfleckenhypothese erscheinen. So schreibt auch 1889 H. von Seeliger (1849 - 1924):

"Diese Erklärung Zöllners ist so natürlich, sie ist dabei so allgemein und allen Beobachtungsergebnissen entsprechend, daß durch sie der forschende Verstand vollständig befriedigt wird. Man ist deshalb berechtigt, alle anderen Erklärungen abzuweisen, wenn nicht, was in speziellen Fällen denkbar wäre, andere Verhältnisse das Gegenteil verlangen."

Ebenso schreibt im gleichen Jahr J. Harting in der bei Seeliger angefertigten Dissertation: *"Überhaupt glaube ich, daß man gut tut, vorläufig allen Erscheinungen von veränderlichen Sternen die Zöllnersche Theorie, als die bestbegründete, zu supponieren"*.

Die mathematisch-theoretische Untermauerung ist 1881 in einer fundamentalen, aber bis in unsere Zeit wenig beachteten Arbeit durch H. Bruns (1848 - 1919) erfolgt. Veranlassung dazu war eine 1880 publizierte Arbeit von E. Pickering (1846 - 1919), der die 1870 von Schönfeld veröffentlichte Lichtkurve von Algol nach der Goodricke'schen Doppelstern- Hypothese (Bedeckungslichtwechsel durch einen dunklen Begleiter) erstmals analysierte. Die Doppelsternnatur von Algol wurde aber erst 1889 von H. C. Vogel (1841 - 1907) spektroskopisch nachgewiesen. Pickering leitete erstmals schon recht plausible Werte (im Vergleich zu den heutigen Systemelementen) für das Radienverhältnis der beiden Komponenten und die Bahnneigung ab. Der geringe Abstand der beiden Komponenten ließ Bruns an dieser Modellvorstellung zweifeln und er greift zur Erklärung des Lichtwechsels auf die Fleckenhypothese zurück, indem er von folgender Fragestellung ausgeht:

Gegeben sei ein sphärischer Stern von ungleichförmiger Flächenhelligkeitsverteilung, der gleichförmig um eine raumfeste, zur Beobachtungsrichtung geneigte Achse rotiert. Gesucht wird die Lichtkurve, also der zeitliche Verlauf der vom Beobachter wahrgenommenen Helligkeitsveränderung.

Das Ergebnis der Bruns'schen mathematischen Analyse dieser Problemstellung drückt er folgendermaßen aus:

"Es ist immer, und zwar auf unendlich viele Weisen möglich, die Bestimmungsstücke (gemeint sind die räumliche Lage der Rotationsachse in Bezug auf den Beobachter, sowie die unsymmetrische Helligkeitsverteilung der Photosphäre) so zu wählen, daß die resultierende Helligkeitskurve sich innerhalb vorgeschriebener, beliebig enger Grenzen einer beobachteten, stetigen und periodischen Lichtkurve anschließt".

Bruns hat allgemeine Annahmen über die Helligkeitsfunktion an den Photosphären der Veränderlichen zugelassen, also auch negative Werte, was physikalisch sinnlos ist. Demnach ist nach obiger Aussage nicht bewiesen, daß jeder periodische Lichtwechsel durch die Fleckentheorie erklärt werden kann.

Unabhängig von Bruns hat 1906 H. N. Russell (1877 - 1957), der vermutlich die Untersuchungen von Bruns nicht kannte, in einer ebenfalls bis heute kaum beachteten Arbeit mit dem Titel "On the Light-Variations of Asteroids and Satellites" das Problem der Lichtkurvenklärung veränderlicher Sterne durch die Fleckenhypothese rotierender konvexer Körper mathematisch und mehr vom physikalischen Standpunkt

aus behandelt. Seine Ableitungen sind nahezu identisch mit jenen von Bruns. Er verallgemeinert das Problem, indem er nicht nur sphärische, sondern allgemein konvexe Körper mit und ohne Atmosphären in seinen Ableitungen einschloß sowie die physikalische Bedingung über die positive Flächenhelligkeitsverteilung auf den Oberflächen der Körper. Seine Untersuchungen bestätigen die obig genannten Aussagen von Bruns und er fährt fort:

"We may now consider the inverse problem: Given the observed light curves of a body, to determine the position of its axis of rotation and the character of its surface. In the case of a star this problem, is indeterminate. All that we can know about the inclination of the axis of rotation to the line of sight is that it is not zero, if the star is variable, provided that the variability is to be explained by the stars rotation. Even if we knew the value of inclination we could not hope to find out much about the form or spottedness of the star's surface.... It is only when we may start with a much less generalized hypothesis (e.g., the eclipse theory for Algol variables) that we can hope to gain much information about the surface conditions of variable stars".

In einer 1919 von P. Guthnik (1879 - 1947) publizierten Arbeit über "Künstliche Lichtkurven" wurden die theoretischen Ergebnisse von Bruns und Russell experimentell nachvollzogen, indem er die Zöllnersehe Versuchsanordnung einer rotierenden und mit künstlichem Licht beleuchteten kleinen Kugel mit den unterschiedlichsten Oberflächenstrukturen lichtelektrisch photometrierte.

Einen Zusammenhang zwischen den Lichtkurven langperiodischer Veränderlicher und den R. Wolf'schen Häufigkeitskurven der Sonnenflecke versuchte 1907/8 H.H. Turner (1861 - 1930) an Hand des Koeffizientenvergleichs der nach Fourier-Reihen entwickelten Licht- bzw. Häufigkeitskurven. Dies dürfte wohl der letzte Versuch gewesen sein, die Lichtkurven der β -Cephei-Sterne und der langperiodischen Veränderlichen nur durch die Fleckenhypothese allein zu erklären. Allein die Wellenlängenabhängigkeit der Lichtwechselamplituden, die erstmals von Schwarzschild (1899) an dem Cepheiden 77 Aquilae gefunden und richtig als Temperaturvariation gedeutet wurde, widersprachen der Interpretation durch die Fleckenhypothese.

4 Kritisches Nachwort

Es ist bedauerlich, daß in fast allen Wissenschaftsbereichen Erkenntnisse und Problemlösungen vorangegangener Generationen vergessen und, wenn überhaupt, nochmals wiederentdeckt bzw. nachvollzogen werden, ohne sich auf Vorgängerkwissen zu beziehen oder stützen zu wollen. Bezüglich der Sternfleckenhypothese sind nach deren Wiedererweckung bis in unsere Tage immer wieder Fleckenmodelle und Helligkeitsverteilungen an den Oberflächen von kurz- bzw. längerperiodischen RS-Canis-Venaticorum- und BY-Draconis-Sternen aus Lichtkurvenvariationen und 'Dopplerimaging' Untersuchungen angegeben worden, ohne die grundsätzliche Vieldeutigkeit der Interpretation nach Bruns und Russell in Betracht zu ziehen. Bereits 1982 hat Z. Kopal (1914 - 1993) auf diesen Umstand hingewiesen, aber er ist 'ein Rufer in der Wüste' geblieben.

Argelander, F.W.: 1844, Schumachers Jahrbuch für 1844, p. 122-255
Baade, W.: 1926, Astron. Nachr. 228,359
Binnendijk, L.: 1960, Astron.J. 65,358
Binnendijk, L.: 1970, Vistas in Astronomy 12,217
Bottlinger, K.F.: 1928, Astron. Nachr. 232,3
Boulliau, I.: 1667, Ad Astronomos Monita Duo, Paris
Bruns, H.: 1882, Monatsberichte für 1881 d. Preussischen Akademie d. Wissensch. zu Berlin
Eberhard, G. and Schwarzschild, K.: 1913, Astrophys. J. 38,292
Eddington, A.S.: 1917, Observatory 40,290
Eddington, A.S.: 1928 (1926), Der innere Aufbau der Sterne (The Internal Constitution of the Stars), Springer Verlag, p.219
Emden, R.: 1907, Gaskugeln, Taubner Verlag
Geyer, E.H.: 1976a,b, Int. Astron. Union Symp. No.73, 313; Int. Astron. Union Colloq. No.29-Contributed Papers, p.315
Goodricke, J.: 1783, Phil.Trans.73,474
Guthnik, P.: 1919, Astron. Nachr. 209,1
Hall, D.S.: 1972, Publ. Astron. Soc. Pacific 84,323
Hall, D.S.: 1976, Int. Astron. Union Colloqu. No. 29 - Invited Papers, p.287
Harting, J.: 1889, Diss. München
Huruhata, M.: 1952, Publ. Astron. Soc. Pacific 64,200
Kopal, Z.: 1982, Astrophys. Space Sci. 87,149
Kron, G.E.: 1947, Publ. Astron. Soc. Pacific 59,261
Kron, G.E.: 1950a, Astron. J. 55,69
Kron, G.E.: 1950b, PASP-Leaflet No.257
Kron, G.E.: 1952, Astrophys. J. 115,301
Lippincott, S.L.: 1952, Astrophys. J. 115,582
Mergenthaler, J.: 1950, Contr. Wroclaw (Breslau) Astron. Obs. No.4
O'Connell, D.J.K.: 1951, Riverview College Obs. Publ. 2,85
Olbers, W.: 1816, Zeitschr. f. Astronomie 2,181
Parker, E.N.: 1955, Astrophys. J. 122,293
Pickering, E.: 1880, Proc. American Academy Arts & Science 16,1
Russell, H.N.: 1906, Astrophys. J. 24,1
Schwabe, H.: 1843, Astr. Nachr. Nr.495
Schönfeld, E.: 1866, Catalog von veränderlichen Sternen, Jahresb. Verein f. Naturkunde Mannheim 32,21
Schönfeld, E.: 1870, Jahresb. Verein f. Naturkunde Mannheim 36,70
Schwarzschild, K.: 1900, Publ.v.Kuffner'schen Sternw. Wien V,C125
von Seeliger, H.: 1889, Himmel und Erde 1,332
Shapley, H.: 1914, Astrophys. J. 40,448
Steenbeck, M., Krause, F., Rädler, K.H.: Z. Naturforsch. 21a,369
Turner, H.H.: 1907/1908, Mon.Not. Roy. Astr. Soc. 67,332; 68,482
Unsöld, A.: 1955, Physik d. Sternatmosphären, 2.Aufl., Springer Verlag Heidelberg, p. 606
Vogel, H.C.: 1890, Astron. Nachr. 123,289
Wilson, O.C.: 1978, Astrophys. J. 226,379
Wilson, O.C. and Bappu, M.K.V.: 1957, Astrophys. J. 125,661
Wolf, R.: 1856-1893, Astron. Mitt. Zürich Nr. 1 - 86
Wurm, ?.: 1816, Zeitschr. f. Astronomie 1,267

Zöllner, J.C.F.: 1865, Photometrische Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die physische Beschaffenheit der Himmelskörper; W. Engelmann Verlag Leipzig, p.239 ff, p.252

Zusätzliche und ausführliche Hinweise und Darlegungen zur Sternfleckenhypothese und Theorie finden sich bei

Schiller, K.: 1923, Einführung in das Studium der veränderlichen Sterne, J.A. Barth Verlag Leipzig

Stein, J.: 1924, Die Veränderlichen Sterne 2.13d. (Specula, Astronomica Vaticana VI), Herder Verlag Freiburg