

Liebe Leserin, lieber Leser,

ohne Magnetfeld wäre die Sonne langweilig. Sie hätte keine kühlen Flecke und keine heiße Korona. Kein magnetisierter Sonnenwind fegte durchs All und schützte die Erde vor der kosmischen Strahlung aus dem interstellaren Raum. Und sie drehte sich viel viel schneller um ihre Achse. All das hat mit dem Sonnendynamo zu tun, einem Wechselfelddynamo. Seinetwegen ist aller elf Jahre besonders viel los auf der Sonne. Von dieser drahtlosen Dynamomaschine, dem Wechselspiel von nicht-starrer (differentieller) Rotation und konvektiver Turbulenz in leitfähigem Sterngas, war schon wiederholt die Rede. Leser des Kosmos-Boten wissen Bescheid. Noch nie die Rede war von dem eigentlich einfacheren Fall eines unveränderlichen Sternmagnetfeldes – man denke an das eines Stabmagneten. So etwas gibt es nämlich auch. Der erste stellare „Permanentmagnet“, 47 Virginis, wurde 1947, vor 60 Jahren, von Horace Welcome Babcock (1912–2003) am 100-Zöller auf dem Mt. Wilson entdeckt. Der Sternwartengründer, George Ellery Hale, hatte drei Jahrzehnte zuvor seiner Hoffnung Ausdruck gegeben, es möge mit dem Hooker-Teskop gelingen, Magnetfelder auch auf anderen Sternen, nicht nur auf der Sonne, zu messen. (Hale hatte 1908 magnetische Felder in Sonnenflecken nachgewiesen gehabt.) Dieser Wunsch erfüllte sich. Da war Hale aber bereits tot. Der berühmteste Vertreter eines magnetischen Sterns, 53 Camelopardalis, wurde vor 50 Jahren aufgefunden – am Mt.-Wilson, von Babcock. (Wie man inzwischen weiß, hat dieser Magnet wenig Ähnlichkeit mit dem eines Stabmagneten, außer, dass er halt *permanent* ist.) Bevor dieses Jahr zu Ende geht, sollten daher die magnetischen Ap-Sterne, sie zählen zu den chemisch peculiaren (CP) Sternen, einen Newsletter wert sein. Ein gewisses „lokales“ Interesse sei nicht verschwiegen. Potsdamer Sternphysikern hat es seit jeher auch dieser permanente Typ magnetisierter Sterne angetan.

Und noch etwas in ureigener Sache: Es geht um nichts weniger als den Erhalt des Sternenhimmels. Stern- und Naturfreunde beklagen die zunehmende „Lichtverschmutzung“. Ein Bekannter machte mich nun auf die folgende Petitionsseite des Deutschen Bundestages aufmerksam. Vielleicht schauen Sie

da mal hin. Wäre doch gut, fände auch die Lichtverschmutzung den Weg ins öffentliche Bewusstsein.

Eine frohe Weihnachtszeit, verbunden mit dem Wunsch, Sie auch 2008 als geduldigen Newsletter-Leser halten zu können, verbleibt

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Dezember

Der Dezember steht im Zeichen des Mars. Marsopposition ist am Heiligen Abend gegen 21 Uhr. Seine größte Erdnähe erreicht Mars bereits in der ersten Morgenstunde des 19. Dezember. Er ist dann 4,9 Lichtminuten oder 88,2 Millionen Kilometer von uns entfernt und übertrifft den Sirius, den hellsten Stern des Fixsternhimmels, an Helligkeit. Im August 2003 schaffte es der Mars, uns auf 55,8 Millionen Kilometer nahe zu kommen. Das Marsscheibchen wird also diesmal gerade einmal 15,9 Bogensekunden groß sein. Einen kleinen Trost gibt es: In Winternächten stehen Ekliptikbewohner hoch am Nachthimmel, so dass die Sichtbarkeitsbedingungen für uns Europäer diesmal günstiger als im Sommer des Marsjahres 2003 sein werden.

Nicht bloß der Mars steht am 24. Dezember der Sonne gegenüber, auch der Mond. Vollmond ist in den Morgenstunden des 24. Und tatsächlich verschwindet der Mars für eine Weile hinterm Mond, jedenfalls für mich Potsdamer. Beginn der Bedeckung ist in Potsdam 4 Uhr 42, das Ende 5 Uhr 11. Südlich der Linie Dülmen (Westf.)-Schweinfurt-Regensburg-Graz verfehlt der Mond den Mars. Die im Südwesten haben also mehr Mars diesen Monat.

Eine Bedeckung unsichtbarer Art ereignet sich am 23. Dezember: Jupiter marschiert hinter der Sonnenscheibe „vor“ bei.

Saturn wird immer besser. Gegen Jahresende geht er bereits gegen 21 Uhr auf. Für ihn beginnt am 20. Dezember die Oppositionsphase. Er wird für einen Moment zu einem „Fixstern“, bevor er sich dann rückläufig bezüglich der Sterne (also im Uhrzeigersinn) auf seinen Oppositionspunkt zubewegt, den Punkt, wo er der Sonne am 24. Februar 2008 gegenüber stehen wird. Saturn erscheint uns übrigens immer größer als der Mars zu seiner diesjährigen Opposition. Saturn ist halt ein Riesenplanet. Er übertrifft den Mars (am Äquator) um das 18-fache.

Die Venus bleibt Morgenstern, auch wenn sie sich seit Ende Oktober scheinbar wieder der Sonne nähert.

Wintersanfang ist am 22. Dezember 8 Minuten nach 7 Uhr. Die Sonne hat dann für Bewohner der Nordhalbkugel ihren tiefsten Punkt im Jahreslauf erreicht. Danach arbeitet sie sich wieder nach oben und die Tage werden länger.

Magnetische Sterne

Am Anfang war der Irrtum. Man ahnte, dass Magnetfelder etwas mit Rotation zu tun haben und dachte sich, man könne bei schnellrotierenden Sternen, also heißen („frühen“) Hauptreihensternen am ehesten fündig werden. Vor Augen hatte man die Sonne, die Gott-sei-Dank gemächlich nur sich dreht und nur über ein schwaches allgemeines Feld von wenigen Gauss verfügt. Eine schneller rotierende Sonne sollte über ein entsprechend stärkeres globales Magnetfeld verfügen. Das ging Horace Babcock im Kopf herum, als er darüber nachsann, Magnetfelder auf schnell rotierenden Sternen zu messen. Dass er Erfolg haben sollte, beweist aber nicht, dass die Idee (das Hochrechnen des Sonnenfalls) im Falle seiner „frühen“ Sterne richtig war. Bei denen ist alles ganz anders.

Nachgewiesen werden Magnetfelder mit Hilfe des Zeeman-Effektes, d. h. durch die magnetische Aufspaltung (sprich die Aufhebung der quantenmechanischen Entartung ab den p-Orbitalen) oder zumindest Aufweitung von Spektrallinien. Allerdings führt die Rotation zu rotationsbedingter Verbreiterung, worin der Magnet-Effekt damals schlicht unterging. Doch dies ließ sich vermeiden, indem man sich Sterne vorknöpfte, deren Rotationsachse auf den Betrachter zu weist oder von ihm weg.

Horace Babcock, ein begnadeter Instrumentenbauer, hatte die Idee, Spektralpolarimetrie an Sternen zu betreiben. Licht hat ja nicht nur Intensität und Wellenlänge (Energie) – die Abhängigkeit des einen vom anderen ist das Spektrum –, sondern auch eine Polarisationsrichtung. Bei reiner Wärmestrahlung sind diese individuellen Schwingungsebenen willkürlich verteilt und deshalb unwichtig. Entstehen die Linien allerdings in magnetischen Atomen, die sich in einem globalen Magnetfeld orientieren, sollten sich die Polarisations Ebenen nicht wegmitteln. Das Magnetfeld sorgt sozusagen für eine Vorzugsrichtung, die es sonst nicht gäbe. Kurz, das Licht magnetischer Sterne sollte polarisiert sein. (Die Komponenten einer aufgespaltenen Spektrallinie

sind unterschiedlich polarisiert, wodurch die Zeeman-Aufspaltung überhaupt erst messbar wurde.) Das einschränkende Adjektiv „global“ verlangt eine Erklärung. Wir können ja eine Sternoberfläche im allgemeinen nicht direkt auflösen. Viele magnetische Flecken unterschiedlicher Polarität, wie bei der Sonne, mittelten sich einfach weg. Nur Sterne mit Riesenflecken, also eindeutiger Polarität, zeigen einen messbaren Effekt. Babcock nahm sich nun A-Sterne mit scharfen Metalllinien vor. Von denen ist anzunehmen, dass wir zufälligerweise auf deren Rotationspol schauen, andernfalls wären die Linien durch den Dopplereffekt – die Sterne rotieren – breitgeschmiert und verwaschen. Nur bei kaum rotationsverbreiterten Spektrallinien bestand damals die Chance, die subtilen magnetischen Effekte nachzuweisen.

Bei der jungfräulichen „78 Virginis“ hatte Babcock Erfolg. Eine neue Forschungsrichtung ward geboren. Aus unersichtlichem Grund ist jeder zehnte oder so A-Stern hochmagnetisch. Die magnetischen Feldstärken (genauer Flussdichten) erreichen bei einigen Exemplaren Tesla (T). ($1 \text{ T} = 10 \text{ kG} = 10000 \text{ G}$. Das Erdmagnetfeld hat etwa $1/2$ Gauss.) Der Ap-Stern mit dem stärksten Feld, 34 kG, ist GL Lacertae, auch Babcock's Stern genannt, ein Sternchen 9. Größe in der Eidechse. Der bekannteste „Magnetische“ dürfte Alioth (ε UMa) sein, der hellste Stern seines Sternbilds (obgleich der offiziell nur ein „ ε “ ist), ein Deichsel- bzw. Schwanzstern – je nachdem, ob man vom Großen Wagen oder der Großen Bärin spricht.

Wenige Monate nach der spektralpolarimetrischen Untersuchung an 78 Vir fand Babcock einen weiteren Magnetstern in der Jungfrau. Bei dem schien sich das Feld sogar aller 9,3 Tage umzupolen. Die Erklärung folgte 1950: Das Magnetfeld – damals stellte man sich einen reinen Dipol wie bei einem Stabmagneten vor – ist gegen die Rotationsachse geneigt. Das Modell „schiefer Rotator“ eroberte den Markt. Da mag es schon vorkommen, dass man im Laufe einer Rotation abwechselnd den magnetischen Nordpol und den Südpol zu Gesicht bekommt. Damit geriet im Nachhinein die ursprüngliche Idee, die die Suche nach magnetischen Sternen ausgelöst hatte, ins Wanken. Wenn das Magnetfeld quer zur Rotationsachse liegen kann, ist die angenommene Proportionalität von Drehimpuls und magnetischem Moment im Eimer. Das Erstaunlichste: mit der Umdrehungsperiode schwanken auch die Linienstärken gewisser chemischer Elemente. Die Sternoberfläche ist chemisch fleckig. Die Linien des einfach ionisierten Europium (Eu II) variieren deutlich gegenläufig zu denen des einfach ionisierten Chroms (Cr II). Mit anderen Worten, es gibt riesige Gebiete, wo Europium (ein Element der Seltenen Erden!) angereichert

ist, und wiederum andere Gebiete, die eine Überhäufigkeit von Chrom zeigen. Das „Sortieren“ besorgt irgendwie das Magnetfeld in Zusammenarbeit mit Schwerkraft (inkl. Fliehkraft) und Strahlungsdruck (Photolevitation). Durch die Linienvariation war man überhaupt auf HR 125248 aufmerksam geworden, bevor man seines starken und scheinbar schwankenden Magnetfeldes gewahr wurde. Diese Spektrumveränderlichen laufen unter den Namen α^2 Canum Venaticorum Sterne (α^2 CVn) und sind allesamt Ap-Sterne. Das „p“ hinter dem „A“ steht für *peculiar*, ein unspezifischer Verweis auf spektrale Besonderheiten, d. h. abnormale Linienstärken. Die metallischen Flecken machen sich selbst im Gesamtlicht bemerkbar, durch eine periodische Helligkeitsschwankung von einigen hundertstel Größenklassen.

Wie passt das alles zusammen: das starke Permanentmagnetfeld und die ungleichmäßige Verteilung gewisser chemischer Elemente (Si, Sr, Cr, Eu, ...) an der Sternoberfläche? Woher das magnetische Feld?

Mit oder ohne Dynamo?

Im einfachsten Falle ist das magnetische Feld ein Relikt der Sternentstehung. Selbst wenn die Ursprungswolke eines Sterns nur schwach magnetisiert war, beim gravitativen Zusammenbruch wird das eingefrorene Magnetfeld mitgerissen und komprimiert. Allerdings gibt es ein Problem. Lange bevor die Kernprozesse zünden, durchläuft ein Proto-Stern eine kurze Phase, wo er voll-konvektiv ist. Für ein „fossiles“ Magnetfeld dürfte dies tödlich sein. Das Feld wird von der konvektiven Turbulenz kleingemalen und zerstört. Und selbst wenn es die Turbulenzen des Anfangs überstehen sollte, muss das Magnetfeld, um zu überdauern, eine stabile Konfiguration einnehmen.

Auf der anderen Seite verfügen A-Sterne im Gegensatz zu sonnenähnlichen Sternen über einen kleinen konvektiven Kern. Im Verein mit Rotation kann diese Kernkonvektion durchaus einen Dynamo treiben. Allerdings muss das solcherart generierte magnetische Feld, um beobachtbar zu sein, bis zur Oberfläche durchdringen.

Bezüglich einer stabilen Magnetkonfiguration hat es vor drei Jahren einen bemerkenswerten Fortschritt gegeben. Bis dato kannte man nur instabile Lösungen. Nun haben Garching-Forscher durch Computersimulationen (Quelle: MPA) der zeitlichen Entwicklung magnetischer Felder in hochleitfähigen Plasmen herausgefunden, dass es tatsächlich (zumindest bei nicht-rotierenden

Sternen) eine quasi stabile Endkonfiguration zu geben scheint, in der das Feld lässig Jahrmilliarden überdauern kann und die zudem unabhängig vom Anfangszustand des Feldes eingenommen wird. Sowohl ein Dipolfeld wie auch ein Gürtelfeld sind für sich instabil. Ein Gürtelfeld im Verein mit einem Dipol tut's aber, d. h., das Gürtelfeld muss irgendwie verdrillt sein! Das ist der Trick. Verdrillte Felder können nicht sterben, bzw. sie sterben wegen des geringen Ohmschen Verlusts nur sehr langsam. Das ist eine wichtige Erkenntnis, die wir da dem Computer verdanken, betrifft sie doch nicht nur Ap-Sterne. Sie wirft auch Licht auf die ungleich stärkeren Magnetfelder in gewissen weißen Zwergen und Neutronensternen („Magnetare“).

Sternflecken

Zu den chemischen Besonderheiten. Natürlich enthalten Ap-Sterne nicht mehr Europium, Chrom oder Strontium als normale Sterne. Deren (millionenfache!) Überhäufigkeit muss vorgetäuscht sein. Diese Elemente sind aus tieferen Regionen nach oben gedrückt worden und sammeln sich nun an der Oberfläche an den Stellen an, an denen ihnen dies das Magnetfeld irgendwie erlaubt. (Allerdings scheint es auch fleckige Sternoberflächen bei nicht-magnetischen Sternen zu geben.) Ich kann hier unmöglich auf das „Irgendwie“, d. h. die diffizilen Mechanismen eingehen, die diese „Entmischung“ bewirkt haben könnten, ich möchte vielmehr schließen mit beeindruckenden Bildern.

Auch wenn eingangs die Rotation eines magnetischen Sterns als Hindernis dargestellt wurde, den Zeeman-Effekt in Sternspektren überhaupt zu messen, kann man ihr *inzwischen* durchaus eine positive Seite abgewinnen. Immerhin sind seit den Babcockschen Pioniertaten Jahrzehnte ins Land gegangen. Aufgrund des veränderlichen Profils von Neodym-Linien, kann beispielsweise verfolgt werden, wie, durch die Sternrotation bedingt, ein Neodymfleck an dem einen Sternenrand auftaucht und nach einer Weile an dem anderen Rand wieder verschwindet. Die Geschwindigkeit, mit der ein solcher Fleck auf uns zukommt bzw. sich von uns entfernt, ist aus dem Linienprofil ablesbar (Dopplereffekt!) und enthält eine Information über „geographische“ Länge und Breite des Sternflecks. Gerade durch das Ausnutzen der Rotation – dank ihrer sehen wir den Stern (jedenfalls nacheinander) von fast allen Seiten – gelingt es, im Computer regelrechte Karten der Oberflächenverteilung der chemischen Elemente zu berechnen. Und nicht nur das. Auch

das magnetische Feld selbst kann inzwischen drei-dimensional aus spektral hochaufgelösten spektralpolarimetrischen Messungen mit hohem Signal-zu-Rausch-Verhältnis rekonstruiert werden. (Da das Magnetfeld die Elementverteilung mitbestimmt, ist das eine nicht ohne das andere lösbar.) Das *Doppler-Imaging* beschert uns damit Bilder (Quelle: Homepage von Dr. Oleg Kochukhov) von Sternoberflächen, die wir selbst im größten Fernrohr immer nur als breitgeschmierte Lichtpünktchen (wegen der Luftunruhe) sehen und niemals auflösen könnten. (Die Idee, die Luftunruhe durch *adaptive* Optik zu beruhigen, soll auch auf Babcock zurückgehen. Der Visionär hatte 1953 bereits gesehen, was heutzutage gang und gäbe ist.)

Auch wenn noch nicht jedes Detail einer solchen Rekonstruktion verbürgt ist – das Lösen *inverser* Probleme erfordert Zusatzannahmen – die Computerbilder von fleckigen Sternen, vermitteln erstmals einen Eindruck von der Lage und Größe von Sternflecken (Quelle: AIP) und das nicht nur im Falle der chemisch pekulieren Ap-Sterne.