

Fleckentanz

Natalie Fischer

Unsere Sonne ist keineswegs eine langweilig leuchtende Kugel am Himmel, vielmehr muss man sie sich wie einen Topf blubbernder Suppe vorstellen, aus der es hier und da auch schon mal gewaltig herausspritzt. Aber die Sonne hat noch mehr Phänomene zu bieten: Sonnenflecken. Alle 11 Jahre werden sie sehr zahlreich und prägen das sichtbare Bild der Sonne über Monate, manchmal Jahre hinweg. Doch nie haben die Menschen auf der Erde deswegen eine Änderung in der Helligkeit der Sonne wahrgenommen – dafür sind die Flecken nun doch zu klein. Dies kann bei anderen Sternen aber ganz anders sein, wie der folgende SuW-Beitrag zeigt. Zwei Amateurastronomen haben den Doppelstern GSC 2038.0293 über mehrere Jahre hinweg beobachtet, seine Helligkeit gemessen und tatsächlich gezeigt, dass der Sterne gewaltige Sternenfleckenbereiche entwickelt, die die Helligkeit des Doppelsterns messbar herabsetzen. Wir werden zusammen mit den Schülern auf den Spuren der beiden Astronomen wandern und am Ende selbst aus den Rohdaten des über das Internet zugänglichen Himmelsüberwachungssystems bzw. Messdaten der Autoren selbst eine Lichtkurve des Doppelsterns erstellen und interpretieren.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Astropraxis, Sterne	Sonnenflecken , Sternflecken , Lichtkurven
Fächerverknüpfung	Astro-Mathematik	Polynom-Fitting, grafische Lösungen
Lehre allgemein	Kompetenzen (Fachwissen, Fachmethoden, Kommunikation), Lehr-/Sozialformen, Unterrichtsmittel	Lösen von Aufgaben am Computer , Messreihenanalyse , Lesen von Fachtexten , Schlussfolgern, Gruppenarbeit , Übungsblatt, Messdaten

Von der Sonne zu den Sternen

Es ist 22:30 Uhr. Vier Studenten der Physik sitzen seit zwei Stunden im MPI für Astronomie in Bonn über einem Berg von Beobachtungsprotokollen und sortieren die verschiedenen Positionsdaten von Sonnenflecken auseinander und zueinander. „Ich bin schon bei Fleck Nr. 50“, sagt einer der Vier, „und wenn die Sonne so weitermacht, dann ist sie in den nächsten Wochen schwarz!“ Die anderen drei nicken mit ihren Köpfen, solch ähnliche Gedanken haben sie schon bei der letzten Rotation gehabt...

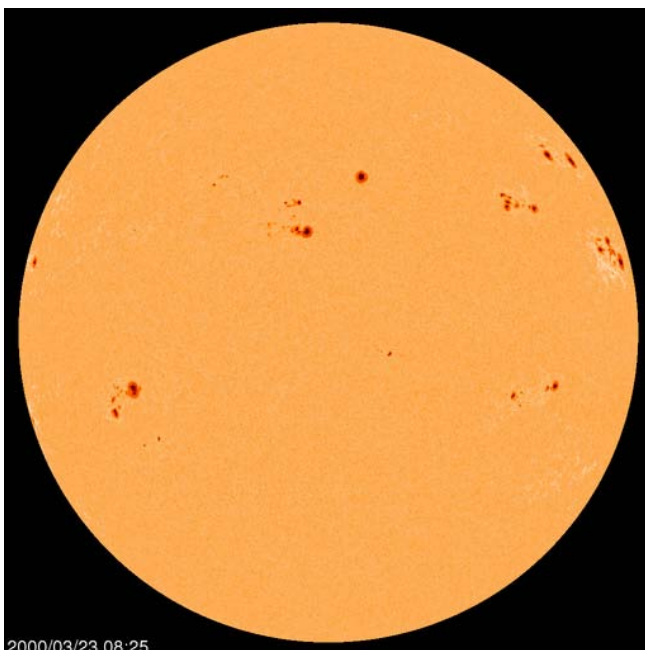


Abbildung 1: Die Sonnenoberfläche mit großen Fleckengruppen während des Maximums. Quelle: http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/REPROCES/SING/Completed/2000/mdiqr/20000323/20000323_08_25_mdiqr_512.jpg

Diese Szene hat sich vor etwa 20 Jahren tatsächlich so abgespielt. Damals gehörten alle vier Studenten zu einer Amateurastronomiegruppe der VdS (Vereinigung deutscher Sternfreunde), die sich mit dem Thema „Sonne“ auseinandersetzte. Ihre Aufgabe bestand darin, aus den von verschiedenen Amateurastronomen aus Deutschland, Holland und Japan gemessenen Positionen der Sonnenflecken eine Karte der Sonne zu erstellen. Und jetzt war der Sonnenfleckenzyklus auf seinem Höhepunkt, die meisten Beobachter hatten weit über 50 Sonnenfleckengruppen identifiziert.

Dass die Sonne Sonnenflecken hat, gehört nicht unbedingt zum Allgemeinwissen, vor allem, weil sie nicht ohne Weiteres mit bloßem Auge zu erkennen sind. Aber etwa alle 11 Jahre lassen sich auf der Sonne sehr viele Flecken bzw. Fleckengruppen beobachten und es können auch so große dabei sein, dass diese von der Erde ohne Einsatz eines Fernglases oder Teleskopes zu erkennen sind. **Aber Achtung: die Beobachtung der Sonne ist nicht ungefährlich und darf nur mit ausreichend geschützten Augen vorgenommen werden (Sonnenfinsternisbrillen oder spezielle Folie für Teleskope)!**

Zurück zu unseren vier Studenten und ihrer Arbeit: Im Sonnenfleckenmaximum ist die Sonne tatsächlich so voller Sonnenflecken, dass man meint, sie müsse doch jetzt dunkler am Himmel erscheinen. In Wirklichkeit liegt die Bedeckung der sichtbaren Sonnenfläche durch Sonnenflecken aber nur im einstelligen Promillebereich. Erstaunlicherweise nimmt die Helligkeit der Sonne im Sonnenfleckenmaximum sogar zu! Dies resultiert daraus, dass sich rund um die Sonnenflecken sog. Fackelgebiete ausbilden, die die Sonne heller erscheinen lassen und die Lichtabschwächung durch die Flecken überkompensieren.

Aber es gibt Sterne, die tatsächlich durch Sternflecken dunkler werden...

Da Sterne so weit entfernt sind, können wir auf ihnen selbst keine Oberflächendetails erkennen, aber ihr Licht verrät uns doch vieles. Manches überrascht uns sogar, wie im vorliegenden Beitrag: Die zwei (Amateur)-Astronomen Klaus Bernhard und Peter Frank (im weiteren Verlauf des Textes kurz „SuW-Autoren“ genannt) maßen die Lichtkurve des aktiven Doppelsternes GSC 2038.0293, welches sich im nördlichen Teil des Sternbildes Schlange, nahe der Nördlichen Krone befindet (siehe SuW-Beitrag). Sie fanden dabei Hinweise auf eine periodische Abdunkelung der Sternoberfläche, die sich in der Lichtkurve als ein weitgestrecktes und im Laufe der Jahre veränderliches Minimum darstellte. Sie schlussfolgerten, dass es sich dabei um ein Phänomen handeln muss, das wir von der Sonne kennen: dunkle Flecken – Sternflecken!

Von der Idee zum Ergebnis

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Wie schon erwähnt treten bei unserer Sonne Sonnenflecken mit einer Periode von 11 Jahren auf, eine Abdunkelung der Sonne ist aber kaum messbar. Bei schnell rotierenden Sternen (hier 11h53m im Vergleich zur Sonne mit ca. 25d) können aber gut 20 bis 30% der sichtbaren Hemisphäre von Sternflecken bedeckt!

Aufgabe für die Schüler: Lesen Sie den SuW-Beitrag genau durch. Was werden für Gründe genannt, dass schnell rotierende Sterne zu einer vermehrten Fleckenhäufigkeit neigen?

Aufgrund ihrer Messergebnisse folgerten die beiden SuW-Autoren, dass ihr Doppelstern ebenfalls periodisch auftretende Flecken hervorbringt und zwar in einem – zu Sonne eher kurzem – Aktivitätszeitraum von 5,5 Jahren.

Wie kann man diese Hypothese beweisen und wie kommt man nun zu solchen Zahlen?

Im Folgenden sollen die Schüler unter Anleitung den Weg der beiden Autoren nachgehen (siehe auch den SuW-Beitrag) und dann selbständig fortsetzen:

Los geht's:

Grundlage dieses Projektes sind die Beobachtungen: das Licht des Doppelsterns wird aufgefangen und dessen Helligkeit in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet. Es entstehen – bedingt durch die endliche Nacht – Ausschnitte aus dem Leben des Systems. Diese Mosaiksteinchen gilt es jetzt zusammensetzen...

1. Betrachtung und erste Bearbeitung der gemessenen Lichtkurven

Sind die Messwerte nicht allzu lückenhaft, so lassen sich Besonderheiten einer solchen Lichtkurve erkennen, vor allem wenn diese sich wiederholen oder sogar zyklisch – d.h. im gleichen zeitlichen Abstand voneinander – auftreten. Im vorliegenden Fall erkannten die beiden Autoren, dass das zentrale Minimum der Lichtkurve dieses Doppelsternes periodisch auftrat – dies ist für Doppelsterne typisch und ergibt sich einfach aus der Überdeckung der zwei leuchtenden Himmelskörper, wenn diese umeinander rotieren.

Um weitere Aussagen zu treffen, musste nun die Datenbasis verbessert werden. Zum einen wurde auf Daten des Himmelsüberwachungssystem ASAS und andere zurückgegriffen, die diesen Stern tatsächlich regelmäßig beobachtet und zum andern gibt es einen statistischen Trick: man faltet die Kurve zeitlich nahe beieinanderliegender Messzeitpunkte auf eine einheitliche Länge, und zwar auf ein Zeitintervall von der Länge der Umlaufzeit des Doppelsternsystems (Periode). Dieses Intervall wird auf 1 normiert und (hier willkürlich) von -0,25 bis 0,75 aufgetragen, mit dem zentralen Minimum bei 0,0. Messpunkte gleicher „Phase“ liegen nun beieinander, auch wenn sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurden.

Die Ergebnisse sind in dieser Abbildung einander gegenübergestellt.

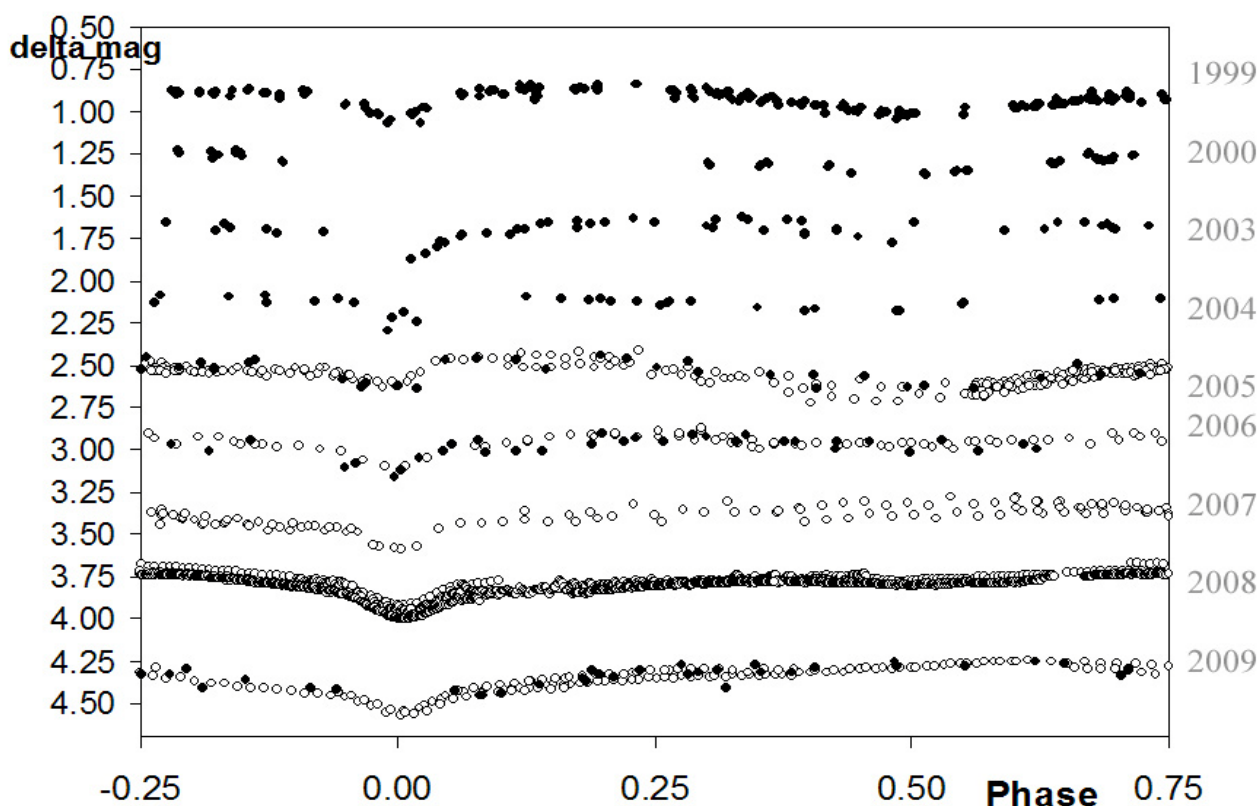


Abbildung 2: Lichtkurve des Sterns GSC 2038.0293 in den Jahren 1999 bis 2009, gefaltet auf eine Periode von ca. 0,495409 Tagen. Die Daten stammen aus dem ROTSE-I Himmelsüberwachungssystem (Jahre 1999-2000, ausgefüllte Kreise), ASAS-3 (Jahre 2003-2009 ohne 2007, ausgefüllte Kreise) und Beobachtungen der SuW-Autoren selbst (Jahre 2005-2009, Kreise mit hellem Hintergrund). Es wurden jeweils alle Messdaten eines Jahres zu einer Kurve zusammengefasst und im Abstand von 0,5 mag zur nächsten aufgetragen. (Quelle: mit freundlicher Genehmigung der SuW-Autoren)

2. Die erste Auswertung

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Frage an die Schüler: Was zeigen die verschiedenen Kurven?

Zu erkennen ist:

1. Das zentrale Minimum bei 0.00 ist in allen Jahren gleich groß.
2. Im Bereich der Phase 0,35-0,65 ist die Amplitude (= Tiefe) des zweiten, aber ziemlich breiten lokalen Minimums in den verschiedenen Jahren unterschiedlich stark ausgeprägt. 2005 ist es am deutlichsten zu erkennen, die absolute Amplitude entspricht etwa 0.2 mag.

Frage an die Schüler: Welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus ziehen?

Das zentrale Minimum wird durch die Überdeckung zweier sich umkreisender Sterne ausgelöst. Es wiederholt sich daher bei jedem Umlauf an der gleichen Stelle bzw. zur gleichen Zeit/Phase.

Die Natur des zweiten Minimums muss eine andere sein. Vielleicht ist sie auch periodisch mit einer anderen Zeitskala?

Konsequenz: Das zweite Minimum muss besser untersucht werden!

3. Weitere Auswertung der Lichtkurven

Für eine genauere Betrachtung der physikalischen Anordnung und Rotation der beiden Sterne umeinander sei an dieser Stelle auf den original SuW-Artikel verwiesen. Berechnungen mit dem (kostenlosen) Periodensuchprogramm [Period04](#) ergeben eine Umlaufzeit/Phase von 11h 53m (=0,495409 Tagen). Dies ist der Zeitabschnitt, auf den wir die Messwerte hin gefaltet haben.

Die weitere Auswertung:

Das zweite Minimum wird nun näher untersucht: Bei genauem Hinsehen lassen sich in den Jahren 1999 und 2005 tiefere Minima als in den anderen Jahren ausmachen. Eine Periodizität von fünf bis sechs Jahren wäre möglich...!

Da die Datenlage nicht ganz so schöne Kurven zulässt wie bei den jeweiligen zentralen Minima greifen wir auch hier in die mathematische Trickkiste:

Das Ziel: Die Amplituden aller breiten Minima sollen bestimmt und verglichen werden. Dies kann grafisch geschehen (ist aber recht ungenau) oder durch ein polynomisches Fitting: Dabei wird ein Polynom n-ten Grades durch die Messpunkte gelegt und dessen Koeffizienten aus den Messwerten errechnet. Dies lässt sich mit Hilfe eines Computers oder Taschenrechners durchführen. Wichtig ist, dass nur die Bereiche des jeweils zu untersuchenden Minimums in die Berechnung einfließt, sonst wird es zu ungenau. Auch Tabellenkalkulationsprogramme (z.B. Excel) bieten diese Funktion. Die Berechnung der jeweiligen Minimumsamplitude ergibt sich daraus durch einfache Abfrage.

Die SuW-Autoren erhielten nun das folgende Diagramm:

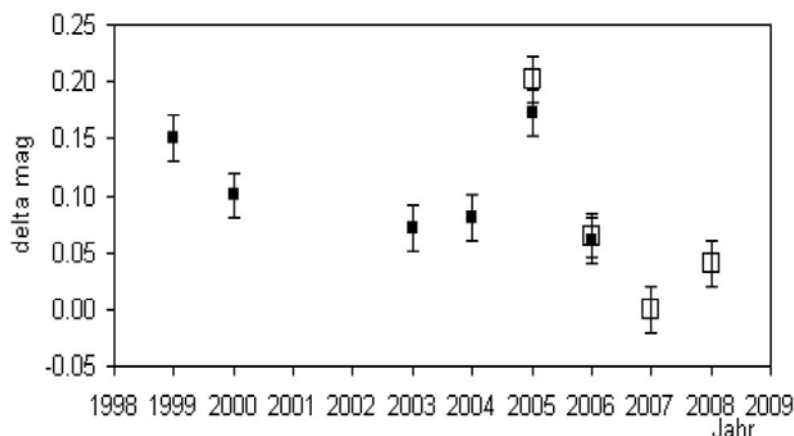


Abbildung 3: Entwicklung der Amplituden der durch Sternflecken verursachten Helligkeitsabnahme des Sternenlichts (mit Fehlerbalken) (Quelle: BAV Rundbrief Nr.3 (2008) mit freundlicher Genehmigung der SuW-Autoren).

Frage an die Schüler: Was ist zu erkennen?

1. Die Aktivitätsmaxima sind erwartungsgemäß nicht gleich groß: zwei Maxima (bei 1999 und 2005) fallen auf.
2. Die Aktivitätsminima sind auch nicht gleich tief.
3. Der Verdacht, dass sich die Aktivität periodischen verändert, bleibt. Ein bis zwei Messpunkte mehr würden die Datenlage schon deutlicher erscheinen lassen.

Schlussfolgerungen:

Wir müssen auf die Daten von 2010 warten!

Um eine mögliche Periodizität nachzuweisen, werden die Amplituden von den SuW-Autoren nochmals einer Analyse unterworfen. Mit dem Programm Period04 (Lenz&Breger, 2005) kommen die Autoren durch eine Fourieranalyse auf den Wert 5,5. Dies bedeutet, dass der Aktivitätszyklus dieses Sternes eine Periode von 5,5 Jahren hat.

Wie lässt sich dies Überprüfen?

Die einfachste und spannendste Methode ist es, neue Messdaten zu erheben und sie mit den Ergebnissen zu vergleichen. Schauen wir uns nämlich die Abbildung 2 an, so würde ein Sternfleckenzyklus von 5,5 Jahren ein weiteres Maximum an Aktivität im Jahr 2010 bedeuten, d.h. die Lichtkurve müsste in diesem Jahr erneut ein tieferes zweites Minimum aufweisen!

Der Aufruf der Autoren „**Messen Sie mit!**“ ist daher wörtlich zu nehmen!

4. Überprüfung der Hypothese

Die nächste Aufgabe für die Schüler lautet also:

Erstellen Sie eine Lichtkurve für das Jahr 2010 mit Hilfe des professionellen Himmelsüberwachungssystemen ASAS. Der Link dorthin (und direkt zu den Lichtkurven unseres Sterns) lautet:

http://www.astrouw.edu.pl/cgi-asas/asas_variable/160248+2520.6,asas3,0,0,500,0,0

Dort erhält man das folgende Diagramm, das die aktuellen Lichtkurven des Doppelsternsystems zeigt.

ASAS 160248+2520.6 Light Curve (asas3)

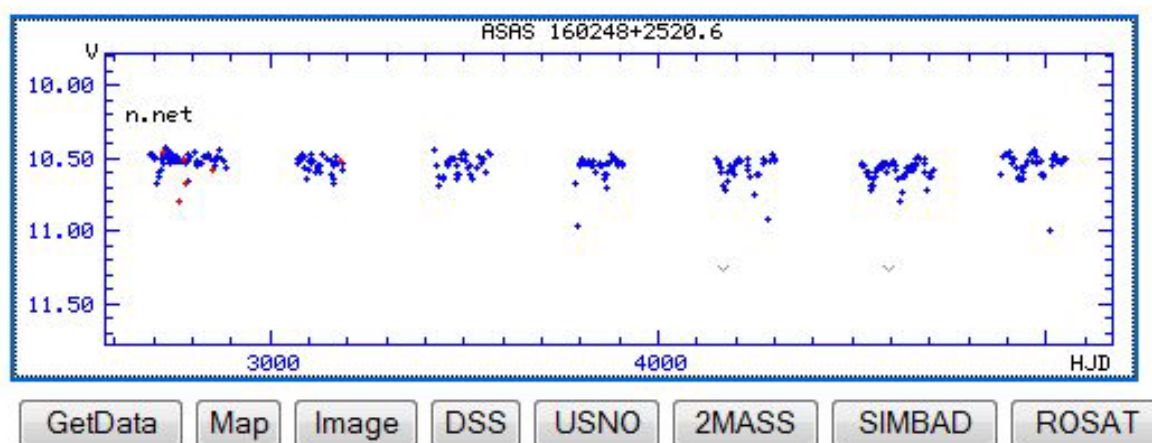


Abbildung 4: Lichtkurven des Sternes GSC 2038.0293 (siehe auch SuW-Beitrag). HJD ist das Heliozentrische Julianische Datum in Tagen (die Zahl 2450000 muss noch dazu addiert werden, um das wahre Julianische Datum zu erhalten). Das Jahr 2009 beginnt bei (245) 4832, das Jahr 2010 bei (245) 5196. (Quelle: siehe Link oben).

Ein Klick auf *GetData* zeigt eine Seite mit den Rohdaten.

```

#nskip_3= 5
#cmag_4= 10.548
#cmer_4= 0.059
#nskip_4= 7
#ra= 16.046717 16:02:48.2
#dec= 25.343927 25:20:38.1
#
# HJD MAG_2 MAG_0 MAG_1 MAG_3 MAG_4 MER_2 MER_0 MER_1 MER_3 MER_4 GRADE FRAME
2689.88410 10.477 10.426 10.489 10.459 10.454 0.030 0.041 0.035 0.029 0.034 A 41013
2694.87592 10.476 10.496 10.472 10.475 10.464 0.027 0.034 0.034 0.030 0.033 A 41866
2696.90163 10.476 10.472 10.465 10.479 10.476 0.023 0.037 0.028 0.026 0.031 A 42202
2698.89378 10.489 10.469 10.527 10.502 10.498 0.029 0.036 0.034 0.032 0.039 A 42617
2702.87804 10.503 10.503 10.477 10.509 10.520 0.022 0.033 0.030 0.025 0.028 A 43375
2709.88287 10.680 10.688 10.666 10.692 10.688 0.024 0.035 0.031 0.027 0.031 A 44674
2711.87903 10.606 10.600 10.623 10.604 10.600 0.024 0.032 0.036 0.028 0.029 A 45044
2713.85857 10.627 10.611 10.628 10.633 10.632 0.022 0.033 0.030 0.024 0.025 A 45412
2717.84561 10.591 10.547 10.584 10.593 10.594 0.026 0.034 0.034 0.030 0.031 A 45944
2720.82978 10.502 10.544 10.496 10.514 10.515 0.028 0.034 0.032 0.028 0.031 A 46373
2722.82610 10.543 10.495 10.539 10.542 10.526 0.037 0.037 0.050 0.039 0.036 D 46756
2724.82528 10.506 10.476 10.505 10.496 10.488 0.025 0.035 0.031 0.026 0.027 A 47142
2726.82080 10.482 10.490 10.481 10.477 10.475 0.025 0.031 0.031 0.026 0.027 A 47542
2728.81555 10.435 10.449 10.424 10.443 10.453 0.025 0.033 0.033 0.029 0.028 A 47934
2730.80780 10.469 10.441 10.483 10.464 10.453 0.022 0.030 0.028 0.024 0.025 A 48340

```

Abbildung 5: *GetData* zeigt die Rohdaten. In der ersten Spalte befindet sich das HJD (vermindert um 245 000) und in der zweiten Spalte die entsprechend gemessenen Helligkeiten. Wichtig sind die Daten für das Jahr 2009, dem entspricht das HJD von 4832-5196.

Interessant für uns sind nur die ersten beiden Spalten: der Messzeitpunkt (HJD) und die Helligkeit (Mag). *HJD* heißt heliozentrisch korrigiertes Julianisches Datum. Da durch den Umlauf der Erde um die Sonne die Erde einem zu beobachtenden Objekt mal näher und mal ferner ist (dies macht bei einem Lichtsignal bis zu ± 8 Minuten aus), verwendet man für genaue Rechnungen das heliozentrisch korrigierte Julianische Datum, das den Zeitpunkt der Messungen für den Ort der Sonne (=heliozentrisch) berechnet. Die Einheit ist der Tag. *Mag* ist die Bezeichnung für die Helligkeit gemessen in Magnituden.

Würde man nur diese Daten gegeneinander auftragen, so wäre die Grafik nicht sehr aussagefähig: die Messzeitpunkte liegen viel zu weit auseinander, um eine Rotationsperiode von ca. 0,5d aufzulösen! Daher müssen wir sie auf dieses Intervall falten, dessen Breite wir auf 1 normieren.

Vorgehensweise:

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Die Tabelle wird in einen Editor kopiert, alle unnötigen Daten werden gelöscht. Dann werden die zwei Spalten (Spalte 1 und 2) in ein Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel) importiert und bearbeitet: Dazu werden die Messzeitangaben durch die Periode 0,495409 geteilt. Die Nachkommastellen geben jetzt die Lage des Messpunktes im Intervall von 0 bis 1 an. Durch Verschieben der Grafik derart, dass das zentrale Minimum bei 0.00 liegt und die Intervallgrenzen bei -0.25 und +0.75, erhalten wir die gewohnte Ansicht der Lichtkurve (siehe auch *Messreihe 2010 (ausgewertet mit Bildern).xls*).

Leider sind die Daten der aktuellen Beobachtungssaison 2010 des Fleckensterns bis jetzt (Stand: Mai 2010) noch nicht in ASAS enthalten (HJD 245 5196). Es ist aber zu hoffen, dass dies bald passiert.

Glücklicherweise stellt uns Herr Frank, einer der beiden SuW-Autoren, seine selbst beobachteten Lichtkurven aus 2010 zur Verfügung! (Siehe *Messdaten 2010a.txt*, *Messdaten 2010b.txt*, *Messdaten 2010c.txt*, *Messdaten 2010d.txt*). Die Vorgehensweise ist identisch.

Aufgabe für die Schüler (Gruppenarbeit):

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Erstellen Sie aus den vier einzelnen Messreihen 2010 je eine gefaltete Kurve nach obigem Muster. Erstellen Sie im Anschluss daran eine Gesamtgrafik für das (bisherige) Jahr 2010. Vergleichen Sie die Ergebnisse und interpretieren Sie sie. Eine ausführliche Lösung inklusive Anleitung und Abbildungen finden Sie in der Datei *Messreihe 2010 (ausgewertet mit Bildern).xls*.

Bestätigt sich die Vermutung, dass die Sternenflecken einen Zyklus von 5,5 Jahren durchlaufen?

5. Das Ergebnis

Die bisherige Lichtkurve 2010 zeigt eindeutig ein zweites breites Minimum. Die Hypothese, dass die Sternflecken mit einer Periode von etwa 5,5 Jahren auftreten, ist untermauert.

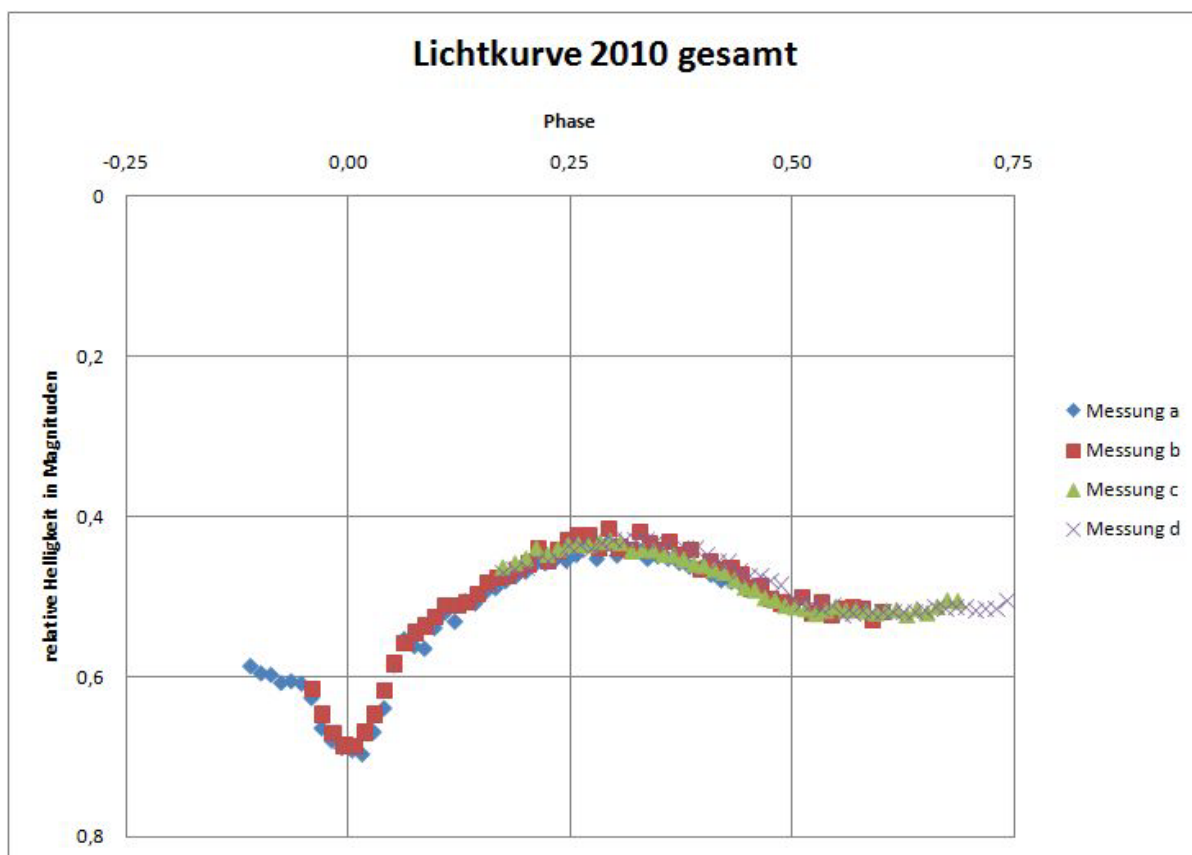


Abbildung 6: Überlagerung der vier gefalteten Kurven (Messungen 2010a-d). Das Ergebnis ist eindeutig: es kommt zu einem weiteren breiten Minimum im Jahr 2010! (Quelle: N.Fischer)

Ein paar Gedanken zum Schluss

Dieses Beobachtungsprojekt eignet sich vor allem als Langzeitprojekt. So könnte z.B. in jedem Jahr ein Physikkurs die Daten vorausgegangenen Kalenderjahres aus dem ASAS-Datenspeicher herunterladen und auswerten. So gäbe es für jeden Physik-Kurs die Möglichkeit, auf dem Wissen des Jahrgangs zuvor aufzubauen und es zu ergänzen.

Da das ASAS ein sog. „LowCost“-Projekt ist, kann es leider auch mal zu Ausfällen kommen. Auch ist nicht bekannt, wie lange dieses Projekt noch weiter betrieben wird. Aber so lange es aktiv ist, sollte man es nutzen. Beide SuW-Autoren haben aber auch hier wieder ihre Hilfe angeboten.

Weiterführende Links

Die **Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (BAV)** ist der Zusammenschluss von rund 200 Amateur- und Berufs-Astronomen überwiegend aus dem deutschsprachigen Raum, die sich besonders für veränderliche Sterne interessieren:

<http://www.bav-astro.de/>

Artikel der beiden Autoren über Ihre Messungen (Information Bulletin On Variable Stars No. 5719):

<http://www.konkoly.hu/cgi-bin/IBVS?5719>

Periodensuchprogramm Period04:

<http://www.univie.ac.at/tops/period04/>

Binary Maker 3.0

<http://www.binarymaker.com/>

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle sehr herzlich bei den SuW-Autoren des Original-Artikels bedanken: Herrn Klaus Bernhard und Herrn Peter Frank. Vielen Dank für den spannenden SuW-Artikel, die inhaltliche Unterstützung, die Abbildungen 2 und 3 und die Messdaten.

Beide Autoren stehen für Rückfragen gerne zur Verfügung, ebenso die Autorin dieses Beitrags.

Klaus Bernhard: klaus.bernhard@liwest.at

Peter Frank: frank.velden@t-online.de

Natalie Fischer: Natalie@Fischer-Walldorf.de