

Die Supernovae 2017eaw in NGC 6946 und 2017glx in NGC 6824

Dokumentation zweier "Sternentode" im Rahmen von Jugend-forscht

Markus Kohl

Bei einer astronomischen Jugend-forscht-Arbeit hatten sich zwei meiner Schüler im Jahr 2017 das ehrgeizige Ziel gesetzt, veränderliche Sterne zu untersuchen und deren Helligkeitsverlauf zu dokumentieren. Die damaligen Neunt- bzw. Zehntklässler der Realschule Hauzenberg, Michael Freund und Luis Wittmann, baten mich dazu um meine Betreuung, weil die Idee im Wahlfach Astronomie entstanden war, das ich vor einigen Jahren an der Schule eingeführt habe.

Im folgenden Artikel möchte ich aus Betreuer-Sicht die Inhalte dieses Projekts darstellen.

Als **Übungsobjekt** hatten die beiden auf meinen Rat hin den "Teufelsstern Algol" gewählt. Durch Ermittlung der Fläche der Pixel, die jeweils auf der Aufnahme durch das Sternscheibchen gesättigt erschienen, konnte in einer ersten Näherung die Helligkeitsveränderung in einer Messkurve gut erfasst werden. Hierbei ergab sich die Frage von selbst: Kann man die erprobte Methode so abwandeln, dass damit schwächere Objekte fotometrisch analysiert werden können, wenn sie keine gesättigten Pixel mehr enthalten. Dafür waren natürlich Objekte gesucht.

Das verfeinerte Verfahren wird näher beschrieben in meinem Artikel "Auf Hubble's Spuren: Versuch einer anschaulichen photometrischen Analyse des ersten extragalaktischen Veränderlichen M31-V1" (BAV-Rundbrief 1/2019). Es wird im Folgenden als "Kegelnäherung" bezeichnet und bezieht sowohl die am Sensor angeregte Pixelfläche als auch die Sättigungswerte der Pixel von Messobjekt und Referenzstern in diesem Bereich mit ein.

Zum Glück für die Schüler (und mich) konnten im Jahr 2017 gleich zwei Supernovae parallel mit amateurastronomischen Mitteln aufgenommen und dokumentiert werden.

Die **Supernova 2017eaw** wurde am 14. Mai 2017 von Patrick Wiggins entdeckt. Sie ereignete sich in der Galaxie NGC 6946. Diese Galaxie ist mit bisher 10 dokumentierten Supernovae eine Art Spitzenreiter und wird daher auch "Fireworks Galaxie" genannt. Die Galaxie selbst findet man im Sternbild Cepheus/Schwan. Sie ist etwa 20 Mio. Lichtjahre von unserem Sonnensystem entfernt.

Die Entdeckung der **Supernova 2017glx** erfolgte etwas später, nämlich am 03.09.2017 durch den chinesischen "Supernova-Sucher" Xing Gao. Sie befand sich in der mit 150 Mio. Lichtjahren viel weiter entfernten Galaxie NGC 6824, welche praktischerweise in direkter Himmelsnachbarschaft zu NGC 6946 liegt. So konnten beide Objekte immer unmittelbar nacheinander abgelichtet werden.

Per Remote-Bedienung der Geräte in meiner Gartensternwarte nahmen die Schüler über einen längeren Zeitraum eine große Anzahl von Langzeitbelichtungen der beiden Ereignisse auf und machten sich daran, diese sorgfältig fotometrisch auszuwerten. Von Mai 2017 bis Dezember 2017 kamen gut 56 Stunden Belichtungszeit zustande. In einer gemeinsamen Headset-Konferenz stand ich ihnen dabei bei jedem

Beobachtungstermin gerne zur Verfügung (insbesondere um die korrekte Handhabung der Geräte zu überwachen).

Als Aufnahmegerät diente ein apochromatischer Refraktor (Skywatcher Esprit 150). Dieser ist Eigentum der Sternwarte am Gymnasium Untergriesbach (www.swgu.de). Eine Canon EOS 60d bzw. 60da fing die Photonen auf dem Sensor ein. Bei den Galaxien wurden die Einzelbilder jeweils 900 s bei ISO 400 belichtet und dabei 2 oder mehr Aufnahmen eines Abends gestackt.

In der folgenden Darstellung (Abbildung 1a und b) erkennt man unschwer die Entwicklung der Helligkeiten beider Supernovae:

Abbildung 1a: Entwicklung der Supernova 2017eaw in NGC 6946

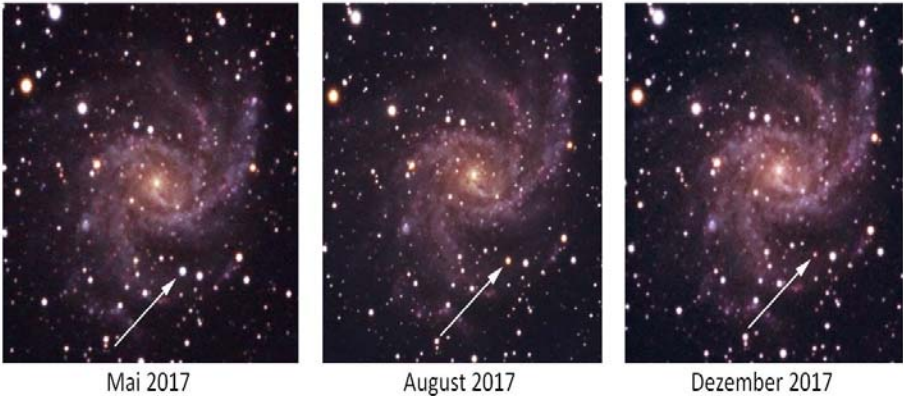


Abb. 1a: Helligkeitsentwicklung SN 2017eaw in NGC 6946

Abbildung 1b: Entwicklung der Supernova 2017glx (oberhalb des Galaxienzentrums von NGC 6824)



Abb. 1b: Helligkeitsentwicklung SN 2017glx in NGC 6824

Abbildung 2 zeigt die mit der "Kegelnäherung" ermittelten Helligkeitskurven chronologisch in ein gemeinsames Diagramm übertragen.

Abbildung 2: Die Helligkeitskurven im Vergleich

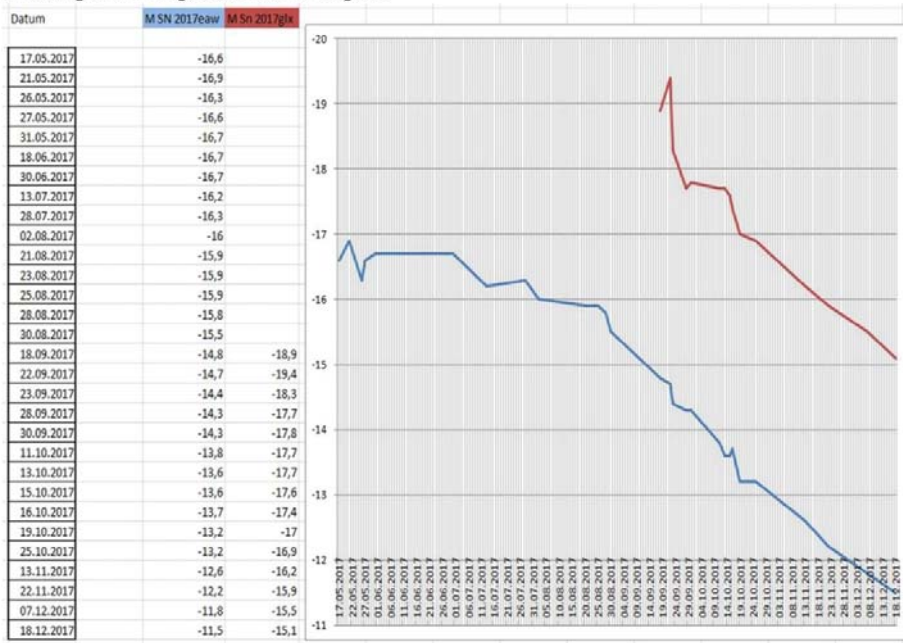


Abb. 2: Helligkeitskurven beider Supernovae im Vergleich

Hieraus ergab sich im Laufe der Arbeit die **Identifizierung des jeweiligen Supernova-Typs** ohne Spektroskopie.

Die Supernova 2017eaw (blaue Kurve) war in den Quellen als **Typ II-p** angegeben: Relativ langsamer Helligkeitsabfall (maximale absolute Helligkeit $M = -16,9$) mit ausgeprägten Phasen annähernd gleich bleibender Gesamthelligkeit, den so genannten "Plateaus". Das bestätigt die Lichtkurve recht gut.

Bei der **SN 2017glx** ergab sich eine Entwicklung, die von deutlich höherer absoluter Helligkeit ($M = -18,9$) viel schneller und abrupter wieder abfiel (rote Kurve). Dies ist typisch für thermonukleare Supernovae vom **Typ I-a**.

Beim Auswerten der ersten Aufnahmesequenzen im Zeitraum mehrerer Wochen haben wir im Zuge einer gemeinsamen Besprechung eher zufällig bei der Supernova 2017eaw eine leichte **Farbänderung** bemerkt. Vom zunächst fast bläulichen Eindruck schien das "Sternchen" sich in Richtung "Rot" zu verfärben. Die Vergleichsbilder des Gesamtzeitraumes (Abb. 1a) zeigen dies eindrucksvoll.

Ein weiteres Ziel der Arbeit wurde es daher, diese Farbänderung mit Messwerten zu erfassen. Die Bestimmung eines **Farbindex-Wertes** gelang bei beiden Supernovae mithilfe der Sättigungswerte der Kamerapixel in RGB unterschiedlich genau. Hierzu wurden in Fitswork mit der Funktion "Pixelwerte auf einer Linie" zunächst die die Absolut-Werte der Sättigungen in R, G und B bestimmt und dann jeweils auf einen

Referenzstern normiert. In Abbildung 3 ist der Vergleich der absoluten Sättigungen der SN 2017eaw für die drei obigen Zeiträume dargestellt:

Abbildung 3: Absolutwerte der Farbsättigung bei SN 2017eaw

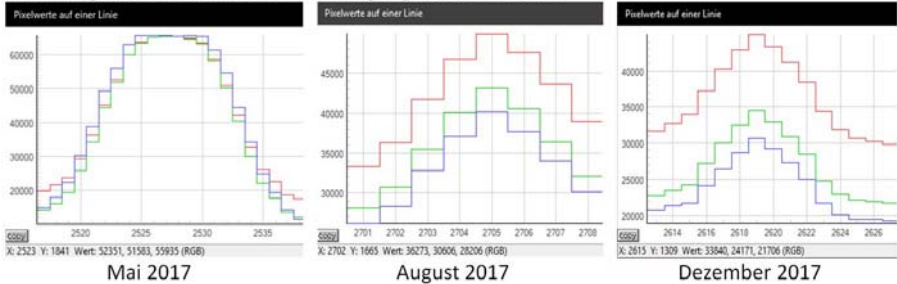


Abb. 3: Sättigungsvergleich für SN 2017eaw in RGB

Mit den RGB-Werten eines ausgewählten Referenzsterns korrigiert und in ein somit "normiertes" Farbindex-Diagramm übertragen, stellte sich die Farbentwicklung wie folgt dar:

Abbildung 4: Farbindex-Diagramme

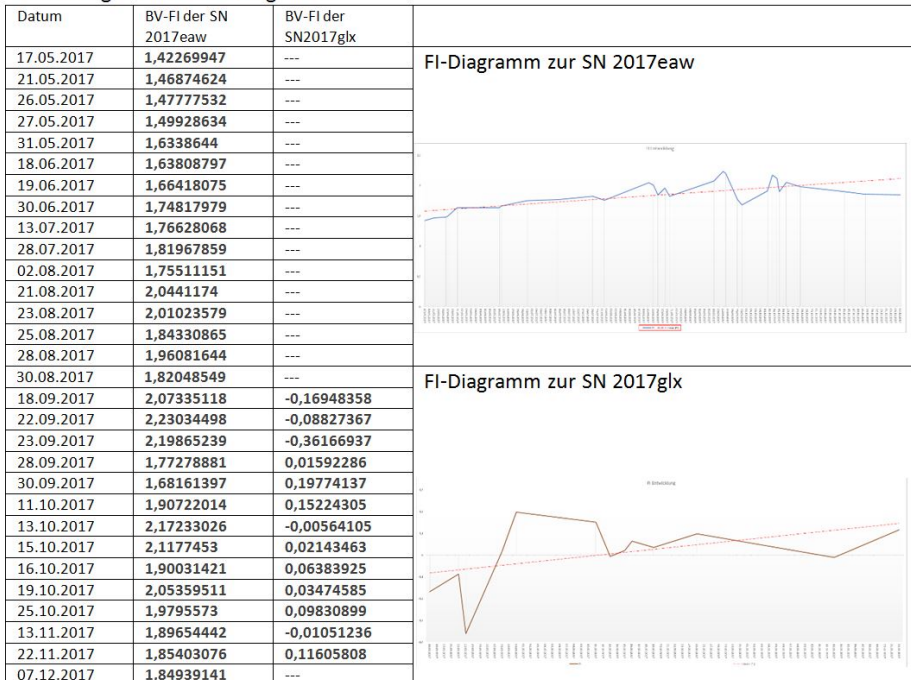


Abb. 4: Farbsättigungsdiagramm beider Supernovae

Abgesehen von Ausreißern durch Messungenauigkeiten ergab sich folgende Tendenz: Bei der Supernova **2017eaw in NGC 6946** hat sich der **Farbindex** von **+1,42** auf **+1,84** erhöht (Auf 2 Stellen gerundet, Schwankungen und höhere Werte dazwischen inbegriffen). Besonders der Wert am Ende lässt sich mit anderen, ähnlich roten Sternen durchaus vergleichen: Beteigeuze BV-FI = +1,85 oder Aldebaran BV-FI = +1,54.

Diese Entwicklung konnte bei der **SN 2017gix** nicht bestätigt werden. Zwar zeigt der Graph tendenziell im Mittel eine Steigerung des FI Wertes von **-0,17** auf **+0,12**, dies ist aber mit Vorsicht zu betrachten. Bei der Auswertung tauchte hier das Problem auf, dass in Aladin und anderen Datenbanken kein nahe liegender verlässlicher Referenzstern mit bekannter Helligkeit in allen drei Bereichen, also R, G und B am Bild gefunden werden konnte. Evtl. sind die völlig abweichenden Werte des FI auch ein Indiz für den sich deutlich unterscheidenden Prozess beim Vorgang der Explosion an sich. Es sind ja zwei grundverschiedene Typen von Supernova.

Augenscheinlich ist mit der Tendenz beiden FI-Kurven (im Rahmen der Messungenauigkeit) bestenfalls die Tatsache dokumentiert, dass die **Rotsättigung** der Pixel der Farb-Kamera durch den Lichteinfall der Supernova (gemäß Empfindlichkeit der Bayer-Matrix) **langsamer abnimmt, als die Sättigung der Blau- bzw. Grün-Werte**.

Vorsichtig formuliert, wäre die plausibelste Erklärung eine **expansionsbedingte Abkühlung**. Grund ist wahrscheinlich die enorme Geschwindigkeit der Ausdehnung der abgestoßenen Gashülle. Dadurch wird das ausgesendete Licht energieärmer und enthält daher weniger Blau- dafür mehr Rotanteil.

Dies ist auch ein Ansatz der **Erklärung der Plateaus** beim Typ II-p:

"Die Existenz von Plateauphasen wird dadurch erklärt, dass die ausgestoßene Masse und damit die Geschwindigkeit der Hülle der Supernova sehr groß ist. Der Rückgang der Helligkeit aufgrund der Abkühlung wird durch die rasche Ausdehnung der Hülle wegen der dadurch vergrößerten Oberfläche kompensiert und die Lichtkurve wird durch ein Plateau beschrieben. Die maximale Helligkeit hängt dabei vom Radius des Vorgängersterns ab, wodurch die große Streuung in den Maximalhelligkeiten der SN II-P erklärt wird." (Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Supernova>)

Mit den Auswertungsergebnissen waren damit sogar vorsichtige Folgerungen möglich, wie z.B. über die weitere Entwicklung oder die tatsächliche Leuchtkraft der Supernovae.

Entscheidende - leider nicht endgültig beantwortete **Frage** war: Haben die Schüler bei der Typ II-p Supernova 2017eaw mit relativ hoher absoluter Ausgangshelligkeit die Entstehung eines **Neutronensterns** beobachtet oder gar eines **Schwarzen Lochs**? Eines von beiden müsste es nach obigen Ergebnissen sein - eine faszinierende aber auch erschreckende Vorstellung. Nach deren Abschätzung im Vergleich der Lichtkurven müsste der Vorläufer-Stern (Progenitor) der SN 2017eaw eine recht hohe Masse gehabt haben. In unten genannten Quellen wird beim Progenitor zum Beispiel von einem "Roten Überriesen" ausgegangen.

Nach der bisher gängigen Meinung ist dagegen beim Typ I-a von dem Sternüberrest (Remnant) meist nichts mehr nachzuweisen, d.h. er wird durch die Heftigkeit beim fast schlagartig einsetzenden Fusionskollaps komplett zerstört. Übrig bleibt oft ein recht

diffus expandierender Gasnebel, wie z.B. der sog. Cirrusnebel im Sternbild Schwan. Dieser soll ein Überrest einer Typ I-Supernova sein.

Probleme und Fehlerquellen ergaben sich für die Schüler insbesondere durch Seeing-Einflüsse sowie durch den bisweilen aufgehellten Himmel durch den Mond. Weiterhin musste ich ihnen beim Auffinden eines geeigneten Referenzsterns behilflich sein. Bei den "Ausreißern" in den Farbindex-Kurven war vor allem die genaue Eingrenzung des Messbereichs um das Sättigungsmaximum in R, G und B ein Problem. Es wurde, ähnlich wie bei der Apertur-Fotometrie, jeweils ein bestimmter Bereich um das Maximum von Referenzstern und Messobjekt ausgelesen, der bei Sternen der 15. Größenklasse je nach Seeing und allgemeiner Lufttransparenz bisweilen etwas ungenau zu definieren war.

Die **viele Zeit** und **Mühe** sowie die akribische Messung und Übertragung der Daten in die jeweiligen Tabellen sowie die selbstkritische Hinterfragung der Ergebnisse und Folgerungen wurde durchaus belohnt: Die Schüler konnten in der Kategorie "Geo- und Raumwissenschaften" beim Regionalwettbewerb in Niederbayern den Regionalsieg erreichen und durften sich beim Landeswettbewerb in Bayern für einen hervorragenden 2. Platz feiern lassen. Nebenbei gesagt waren sie dort die einzigen Realschüler überhaupt auf dem Treppchen, worüber sich nicht nur die beiden Teilnehmer, sondern auch ihr Betreuer sehr freute.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Mündliche/schriftliche Auskünfte an die Schüler und Quellen:

Prof. Dr. Josef M. Gaßner, Landshut / München
Jury beim Regionalwettbewerb Jugend forscht in Passau

Bücher:

Schulbuch: "Astronomie Plus", 1.Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin
Wolfram Winnenborg, "Einführung in die Astronomie", BI-Wissenschaftsverlag, 1990
Erik Wischniewski, "Astronomie in Theorie und Praxis", 7. Auflage, Kaltenkirchen 2016
Lesch/Gaßner, "Urknall, Weltall und das Leben"

Online - Quellen:

www.wikipedia.org
www.rochesterastronomy.org
www.zauberdersterne.wordpress.com
www.spektrum.de
www.swgu.de

Artikel aus dem BAV-Rundbrief:

Markus Kohl, "Auf Hubble's Spuren: Versuch einer anschaulichen photometrischen Analyse des ersten extragalaktischen Veränderlichen M31-V1"

Markus Kohl, Schröck 1, 94051 Hauzenberg, kohl@realschule-hauzenberg.de