

# Fotometrie von Supernovae am Beispiel von SN 2014J in M 82

Otmar Nickel

**Abstract:** *The photometry of supernovae with small telescopes may be influenced strongly by the galaxy background. In the case of SN 2014J this influence could be shown by correcting the SN magnitudes with the galaxy background on a pre-SN image of M 82. On V-filtered images the corrected SN brightness was significantly lower than that measured with concentric ring background at aperture diameters of more than 15". There was only little dependence of the corrected magnitudes on aperture from 10" to 30". With B-filter the corrected SN brightness was lower for all usable apertures.*

Bei der Fotometrie von Supernovae spielt nicht nur die Hintergrund-Helligkeit des Nachthimmels eine Rolle, sondern auch der Hintergrund der dazugehörigen Galaxie. Bei der Apertur-Fotometrie wird der Hintergrund normalerweise durch eine zum Stern konzentrische Ring-Blende berücksichtigt. Da die Helligkeit des Nachthimmels, zumindest innerhalb der Messfelder, ziemlich konstant ist, ist dies normalerweise eine sehr genaue Methode. Sofern jedoch der Hintergrund sehr inhomogen ist, wie innerhalb einer Galaxie, können sich deutliche Messfehler ergeben. Genau genommen müsste man bei einer Supernova die Hintergrund-Helligkeit auf einem Bild der Galaxie vor der Supernova-Explosion bestimmen und dann subtrahieren. Im Fall von SN 2014J konnte ich das einmal durchspielen, da ich M 82 im April 2012 mit annähernd gleicher Kamera/Teleskop-Kombination (25-cm-Newton, f=1250 mm, CCD-Kamera ST7E mit RGB-, bzw. BV-Filter, Pixelgröße 1,45", 5 - 10 x 2 min Belichtung) aufgenommen hatte.

Für die Messungen der Stern- und Hintergrund-Apertur verwendete ich meine eigene Software „Fitsmag“ [1], die auch von meiner Webseite [2] heruntergeladen werden kann. Die Aperturen sind dabei quadratisch statt kreisförmig, wie bei den üblichen Programmen, was aber bei den Messergebnissen keinen wesentlichen Unterschied macht. Der Vorteil von Fitsmag ist, dass man die Apertur des Hintergrund-Messfeldes entweder konzentrisch zum Stern-Messfeld wählen kann oder alternativ als beliebig positionierbares Messfeld, das die gleiche Größe wie das Stern-Messfeld besitzt. In diesem Fall setzt man das Hintergrund-Messfeld in die Nähe des Sterns an eine Position, in der keine Störung durch Sterne vorliegt.

Diese Methode kann auch dazu verwendet werden, um die Helligkeit eines Messfeldes innerhalb einer Galaxie zu bestimmen. Dazu setzt man die Hintergrund-Apertur an eine Position außerhalb der Galaxie, wie in Abb. 1 am Beispiel von M82 zu sehen ist. Die Apertur des zu messenden Feldes ist an die gleiche Position wie für die Supernova gesetzt, Abb. 2 zeigt das entsprechende Bild mit der Supernova. Die Größe der Apertur betrug dabei jeweils 25" x 25". Das Hintergrund-Messfeld für die Messung des Galaxien-Feldes (Feld 1) wurde relativ weit außerhalb der Galaxie positioniert. Als Vergleichssterne wurde der Stern rechts unten (Messfeld 2) mit  $m_v=11,16$ ,  $m_b=12,25$  mag gewählt (laut AAVSO-Fotometrie-Tabelle). Dabei ergibt sich  $m_v=12,03$  mag und  $m_b=13,05$  mag für das gewählte Messfeld.

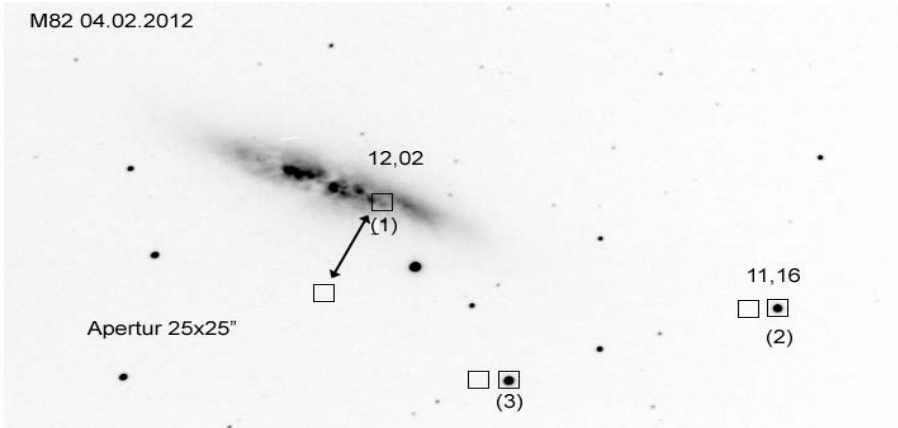


Abbildung 1: Fotometrie des Galaxien-Hintergrunds an der Position der SN, Aufnahme vom 4.2.2012 mit f=1250 mm, ST7E, G-Filter, Bel. 10 x 2 min

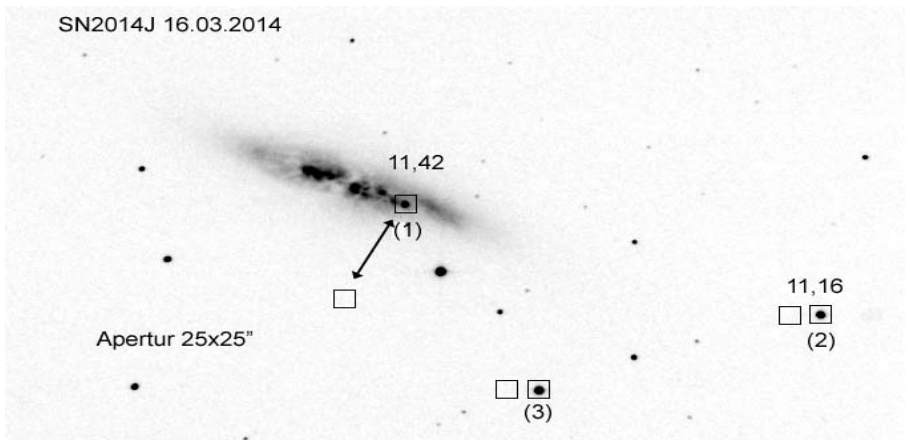


Abbildung 1: Fotometrie von Supernova + Galaxie-Hintergrund, Aufnahme vom 16.3.2014 mit f=1250 mm, ST7E, V-Filter, Bel. 5 x 2 min

Die mit gleicher Methode gemessenen Magnituden von SN2014J betragen  $m_v=11,43$  mag, bzw.  $m_b=12,88$  mag, ohne Korrektur des Galaxien-Hintergrunds (Abb. 2).

Für die Subtraktion der Hintergrund-Helligkeit müssen zuerst die (logarithmischen) Magnituden in lineare Intensitätswerte umgerechnet werden:

$$I=I_0 \cdot 10^{-0,4m} \quad (I_0 = \text{scheinbare Intensität eines Sterns mit 0 mag})$$

Die korrigierte Intensität einer Supernova errechnet sich aus der Differenz der gemessenen SN-Helligkeit  $I_2$  ( $m_2$ ) minus der Hintergrund-Intensität  $I_1$  ( $m_1$ ):

$$I_{SN} = I_2 - I_1 = I_0 (10^{-0,4m_2} - 10^{-0,4m_1})$$

Die SN-Helligkeit in Magnituden ergibt sich aus:  $m_{SN} = -2,5 \log (10^{-0,4m_2} - 10^{-0,4m_1})$

Mit den gemessenen V-Magnituden  $m_2=11,43$  mag und  $m_1=12,03$  mag ergibt sich:

$$I_{SN} = I_0 \cdot (26,79 - 15,42) \cdot 10^{-6} = I_0 \cdot 11,37 \cdot 10^{-6}$$

Wieder in Magnituden umgerechnet, ergibt sich:

$m = -2,5 \log (I_{SN}) = 12,36$  mag, also immerhin eine Differenz von fast 1 mag gegenüber dem Wert für SN+Galaxie.

Das gleiche Verfahren hatte ich auch mit Aperturen von 7x7 bis 30x30" durchgeführt. Als Hintergrund-Helligkeit der Galaxie ergaben sich Werte von 14,34 mag bis 11,61 mag (siehe Tabelle 1) mit einem Fehler von <0,01mag (Signal/Rauschen>100). Die korrigierten SN-Helligkeiten (vom 16.03.2014) lagen bei 12,33 mag bis 12,40 mag.

**Tabelle 1:** Abhängigkeit der gemessenen bzw. berechneten Magnituden ( $m_v$ ) von der Apertur (SN-Helligkeit vom 16.03.2014)

Apertur (Bogensek.)	7,2	10,1	13	16	18,8	21,7	24,6	27,5	30,4
Hintergrund (mag)	14,34	13,73	13,24	12,86	12,53	12,24	12,03	11,8	11,61
SN+Hintergrund (mag)	12,23	12,12	11,98	11,84	11,7	11,55	11,43	11,29	11,16
SN berechnet (mag)	12,4	12,4	12,38	12,38	12,37	12,36	12,36	12,36	12,33

Man könnte auch versuchen, die Hintergrund-Magnituden aus der (katalogisierten) Flächenhelligkeit der Galaxie zu berechnen, jedoch ergibt sich daraus ein Wert, der über die gesamte Fläche gemittelt ist. Bei M 82 beträgt die Flächenhelligkeit 12,5 mag/Quadratbogenminute; auf eine Fläche von z.B. 10 x 10" umgerechnet ergäbe sich eine Helligkeit von 16,39 mag.

Wenn man mit der üblichen Methode der konzentrischen Blenden vergleicht, ergibt sich folgendes: Abb. 3 zeigt die Messung mit einer inneren Apertur von 25 x 25" mit einem konzentrischen Hintergrund-Messfeld von 35 x 35". Dabei ergibt sich eine SN-Helligkeit  $m_v=12,15$  mag, das ist um 0,2 mag höher als die korrigierte Helligkeit bei gleicher Apertur. Wenn man die gemessenen Werte gegen die verwendete Apertur aufträgt, erhält man eine Kurve, die bereits bei 15 Bogensekunden stark ansteigt (siehe Abb. 4). Die entsprechenden Werte für die Korrektur aus dem SN-freien Bild

schwanken dagegen nur geringfügig (Mittelwert 12,37 mag  $\pm$  0,02 mag). Bei einer Apertur von 7 - 13" ergibt sich mit der üblichen Methode ein mit der Prä-SN-Korrektur übereinstimmender Wert. Bei einer zu kleinen Apertur werden die Sternscheibchen nicht mehr voll erfasst; die Apertur sollte mindestens etwa das 4 - 5fache der Halbwertsbreite betragen [3], bei meiner Kamera wären das 12 - 15" bei gutem Seeing. Bei einer zu großen Apertur wird der Galaxien-Hintergrund nicht richtig erfasst, in diesem Fall (zumindest bei SN2014J) wird die Hintergrund-Helligkeit unterschätzt, die SN-Helligkeit daher überschätzt.

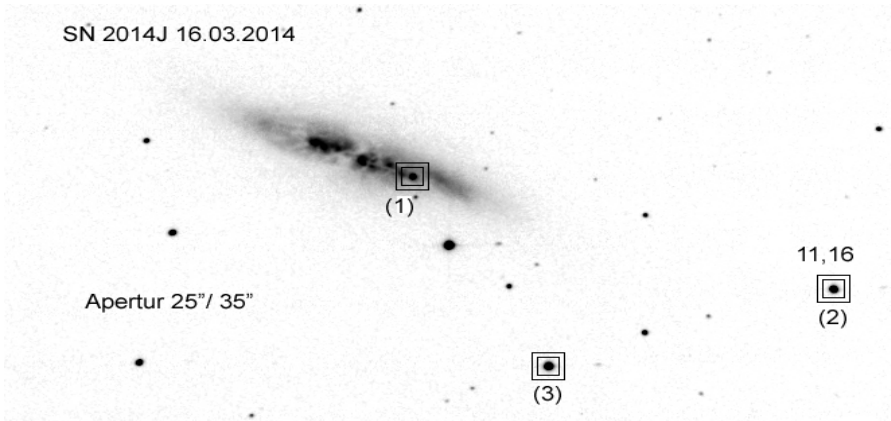


Abbildung 2: Fotometrie der Supernova mit konzentrischer Hintergrund-Apertur, Aufnahme vom 16.3.2014 mit f=1250 mm, ST7E, V-Filter

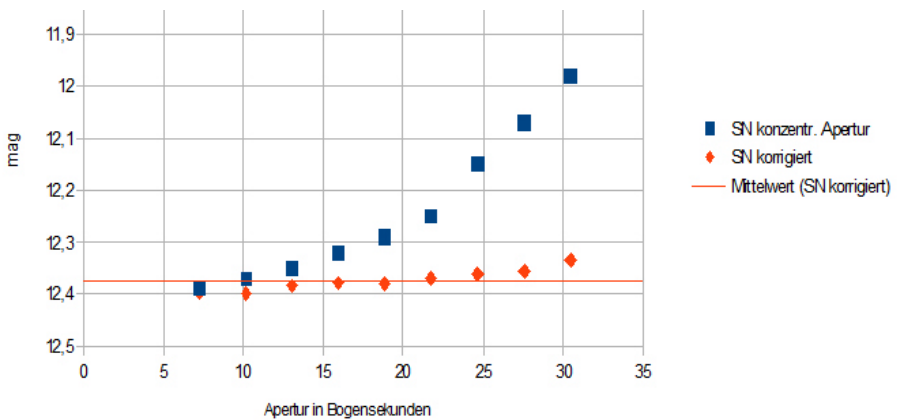


Abbildung 3: Abhängigkeit der SN-Helligkeiten (V) von der Apertur

Bei der Messung der B-Helligkeit ist der Effekt noch wesentlich deutlicher (Abb. 5). Hier ergibt sich bereits bei 10" Apertur eine Differenz von 0,2 mag. Der Fehler bei der Messmethode mit konzentrischen Blenden ist umso ausgeprägter, je näher die gemessene Helligkeit an die Hintergrund-Helligkeit der Galaxie herankommt. Bei M82 ergibt sich bereits bei einer Apertur von 10" Durchmesser eine Hintergrund-Helligkeit von  $m_v=13,7$  mag, bzw.  $m_b=14,79$  mag. Bei der Prä-SN-Background-Methode steigt der Messfehler ebenfalls mit größerer Apertur an, jedoch in geringerem Maße.

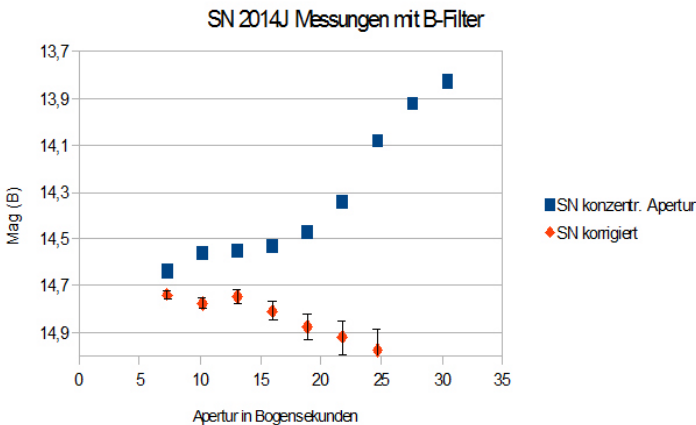


Abbildung 4: Abhängigkeit der SN-Helligkeiten (B) von der Apertur

#### Lichtkurve von SN2014J im März 2014:

Glücklicherweise waren die Wetterverhältnisse im März 2014 sehr günstig, sodass ich in insgesamt 20 Nächten Aufnahmen mit meinem Teleskop in Mainz-Ebersheim erstellen konnte. Abb. 6 und 7 zeigen die dabei erhaltenen Lichtkurven für V und B, die mit beiden Methoden (mit einer Aperturbreite von 13") erhalten wurden. Die mit den verschiedenen Methoden berechneten V-Magnituden unterscheiden sich im gesamten Zeitraum nur geringfügig, mit der Prä-SN-Korrektur ergibt sich eine kleine systematische Abweichung von +0,03 mag; Die B-Magnituden unterscheiden sich deutlich, mit der Prä-SN-Korrektur sind die Werte durchschnittlich um +0,135 mag größer, auch die Steigung der Ausgleichsgeraden ist in diesem Fall deutlich steiler (0,0278 mag/d gegenüber 0,0246 mag/d). Allerdings besitzen die Ergebnisse in diesem Fall auch eine größere Schwankungsbreite.

**Fazit:** Bei Supernovae in hellen Gebieten einer Galaxie können größere Fehler bei der Fotometrie mit der Methode der konzentrischen Blenden auftreten, sofern die Apertur zu groß ist (im Fall von SN2014J >15") und die Hintergrundhelligkeit der Galaxie dadurch unter- oder überschätzt wird. Bei Vorhandensein einer Prä-SN Aufnahme der Galaxie kann die Korrektur bzw. Kontrolle der Messungen wie oben beschrieben durchgeführt werden. Falls das nicht möglich ist, muss die Messung mit einer ausreichend kleinen Apertur durchgeführt werden, wobei die Auflösung der

Aufnahmen entsprechend hoch sein muss (Halbwertsbreite  $< 1/4$  Aperturdurchmesser), damit die Sternscheibchen noch voll erfasst werden.

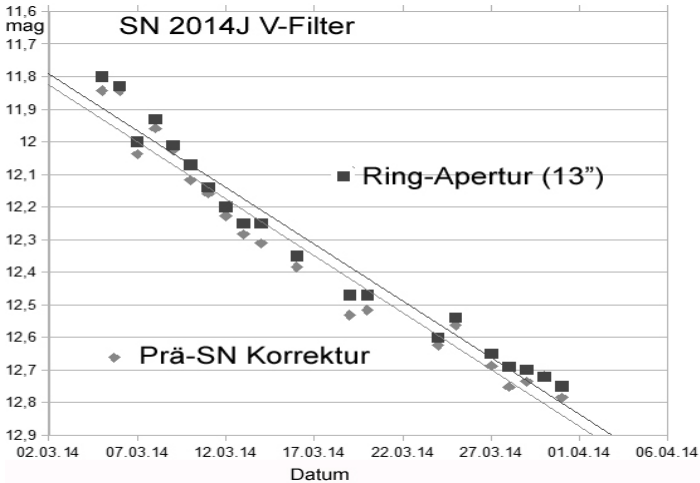


Abbildung 5: Lichtkurve (V) von SN2014J im März 2014

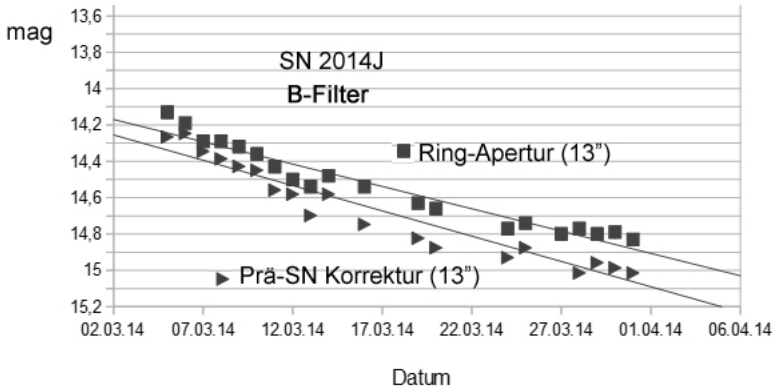


Abbildung 6: Lichtkurve (B) von SN2014J im März 2014

**Referenzen:**

- [1] O. Nickel: Serien-Fotometrie von CCD-Aufnahmen im FITS-Format. Journal für Astronomie 21 (2006), 83-86
- [2] Programm Fitsmag Download: <http://www.staff.uni-mainz.de/nickel/fitsmag.html>
- [3] BAV Einführung in die Beobachtung Veränderlicher Sterne, Kap. 6.2: Beobachtungen mit CCD-Technik. 3. Auflage (2006)