

Wie viele Einzelbilder sollten für eine photometrische Amateurauswertung gestackt werden?

Jörg Spelda

Einführung

Das Zusammenrechnen mehrerer Aufnahmen astronomischer Objekte, auf Deutsch auch Bildüberlagerung oder Stapelung, beziehungsweise auf Englisch Stacking oder Framemerging genannt, ist eine gängige Methode, das Rauschen von Astrofotos zu reduzieren, um mit den so entstandenen Summenbildern eine höhere Qualität der Darstellung zu erzielen (vgl. WISCHNEWSKI 2021, Bd. 1, S. 202 ff.). In gleicher Weise eignet sich dieses Verfahren auch, um die Messgenauigkeit bei photometrischen Messungen von Himmelsobjekten zu steigern (vgl. SPELDA & WICKERT 2022b). Doch wie viele Einzelaufnahmen sind dafür in der amateurastronomischen Praxis notwendig?

Zunächst ist zu klären, warum eine Bildstapelung überhaupt notwendig ist und nicht einfach länger belichtet wird. Hier ist zum einen die beschränkte Leistungsfähigkeit von Amateurgeräten anzuführen, deren Nachführgenauigkeit mehr oder minder beschränkt ist. Ein Autoguider erfordert eine wesentlich höhere Investition als eine einfache Nachführung, wie z.B. Startracker, die in elektronischen und mechanischen Ausführungen hergestellt werden. Geräte mit azimutaler Montierung, wie bei den meisten Smartteleskopen in der Grundausstattung realisiert, weisen eine Bildfelddrehung auf, was die Länge der Belichtungszeit gleichfalls beschränkt. Beim Einsatz klassischer DSLR/DSLM-Kameras ist die Belichtungszeit auf maximal 30 Sekunden beschränkt. Teurere Geräte erlauben zwar auch längere Belichtungszeiten, doch müssen diese über Fernauslöser gesteuert werden, was leider nicht immer fehlerfrei funktioniert, wie die eigene Erfahrung gelehrt hat. Es ist daher sinnvoll, sich auf eine maximale Belichtungszeit von 30 Sekunden zu beschränken.

Speziell bei Smartteleskopen ergeben sich bei längeren Belichtungszeiten entweder sogenannte „Eiersterne“, oder die Aufnahmen werden verworfen, was zu längeren Messlücken führen kann. Daher ist es hier sicherer, nur 10 Sekunden lang zu belichten. Zudem ist noch anzuführen, dass lange belichtete Sterne überbelichtet werden. Dies wird als „Ausbrennen“ bezeichnet und äußert sich darin, dass mehrere Pixelwerte den maximal möglichen Wert annehmen. In der Astrofotografie zeigen solche Sterne nicht mehr ihre charakteristische Sternfarbe und für die Photometrie unbrauchbare Messwerte. Viele gestapelte kurzbelichtete Aufnahmen erlauben es hingegen, Sterne von sehr unterschiedlicher Helligkeit auf demselben Summenbild zu vermessen. Noch ein weiterer Vorteil von gestapelten Aufnahmen ist erwähnenswert: Die Beeinflussung der Messwerte durch Meteore und Satellitenspuren sowie durchziehende Wolken reduziert sich. Während helle Leuchtspuren leicht erkannt werden und entsprechend „kontaminierte“ Aufnahmen von der Verarbeitung ausgeschlossen werden können, ist eine Abschätzung durch dunkle Satelliten praktisch nicht erkennbar. Allerdings beeinflussen Meteore und Satelliten aufgrund ihrer geringen Größe die Messung nur selten, hingegen sind Schleierwolken ein größeres Problem. Stacking erlaubt es auch in Nächten mit durchziehenden Schleierwolken oft noch brauchbare Messwerte zu erzielen.

Nun stellt sich die Frage nach der notwendigen Genauigkeit. Im vorliegenden Beitrag sollen als Ziel kalibrierte Helligkeiten bestimmt werden, die es ermöglichen, Gemeinschaftslichtkurven aus den Messungen mehrerer Beobachter zu erstellen. Damit verbietet sich eine differentielle Photometrie und es ergibt sich logisch, dass die anzustrebende Messgenauigkeit die Genauigkeit der Kataloghelligkeiten erreichen muss. Als Spektralband wird hier die visuelle Helligkeit herangezogen, die in etwa dem Grünkanal von Digitalkameras entspricht und für die näherungsweise die V-Helligkeiten des UBV-Systems von Johnson herangezogen werden können (vgl. WISCHNEWSKI 2021, Bd. 2, S. 604-614).

Die aus Gaia-Katalogwerten umgerechneten V-Helligkeiten weisen eine Messgenauigkeit von 0,046 Magnituden (mag) auf (WISCHNEWSKI 2021, Bd. 2, S. 609). Andere Katalogwerte von Vergleichssterne der AAVSO aus dem VSP (AAVSO 2026) weisen teilweise auch höherer Genauigkeiten von minimal 0,02 mag auf. Somit ergibt sich eine anzustrebende Genauigkeit von unter 0,02 mag, wohingegen eine wesentlich höhere Genauigkeit für den vorgesehenen Zweck, nämlich Gemeinschaftslichtkurven, nur wenig Sinn macht. Auch eine Messgenauigkeit von unter 0,05 mag ist noch als akzeptabel zu betrachten. Messwerte in dieser Größenordnung übertreffen visuelle Messungen bei weitem.

Methodik und Resultate

Um nun die Anzahl der zu verrechnenden Einzelaufnahmen zu bestimmen, wurde für die vorliegende Arbeit eine Aufnahmeserie der Supernova SN2025rbs in der Galaxie NGC7331 im Sternbild Pegasus vom 07.08.2025 herangezogen.

Die Aufnahmen erfolgten mit einem Smartteleskop der Marke ZWO Seestar S50 mit einer Belichtungszeit von 10 Sekunden. Mit dem Programm ASTAP (KLEIJN 2017-2026) wurden neun AAVSO-Vergleichssterne zwischen 12,15 und 16,2 mag gemessen (Tab. 1).

AAVSO-Bezeichnung des Sterns	Gaia-DR3-Bezeichnung des Sterns	V-Katalog-helligkeit in mag AAVSO (Gaia).	Genauigkeit der Katalog-helligkeit AAVSO (Gaia)	Quelle der Katalog-helligkeit (Katalog)
000-BQG-057	1903155366693573888	12,148 (12,14)	0,082 (0,046)	APASS
000-BQG-058	1903907948043643136	12,630 (12,61)	0,076 (0,046)	APASS
000-BQG-059	1903152961512086912	13,036 (13,03)	0,076 (0,046)	APASS
000-BQG-060	1903156156967739392	13,454 (13,44)	0,093 (0,046)	APASS
000-BQG-061	1903156466205385728	14,124 (14,12)	0,126 (0,046)	APASS
000-BQG-062	1903155401053312512	14,677 (14,65)	0,071 (0,046)	APASS
000-BQG-063	1903153923584571904	15,107 (14,98)	0,043 (0,046)	APASS
000-BQG-064	1903156328766434432	15,705 (15,72)	0,005 (0,046)	Pan-STARRS
000-BQG-065	1903156260046958464	16,208 (16,25)	0,004 (0,046)	Pan-STARRS

Tabelle 1: Gemessene Vergleichssterne um die Supernova SN2025rbs

Die Einzelaufnahmen wurden dafür zu je 3, 9, 27, 81 und 243 zu Summenbildern verrechnet, wobei die drei Farbkanäle vereinigt wurden. Die Messgenauigkeit ergab sich anhand der Standardabweichungen der Messwerte dieser Vergleichssterne auf den Summenbildern. Tabelle 2 zeigt ab welcher Summierung die Messgenauigkeit unterhalb von 0,05 mag lag. Bei 27 Aufnahmen, die einem Zeitraum von 4,5 Minuten entsprechen, lagen die Genauigkeiten der Messwerte alle Vergleichssterne, welche heller als 14,7 mag waren, sogar unterhalb von 0,02 mag. Hingegen lagen bei den Einzelaufnahmen die Genauigkeiten der Messwerte zumeist höher als 0,05 mag, jedoch bis 13,454 mag (000-BQG-060) noch unterhalb der Genauigkeit der Kataloghelligkeiten (vgl. Tab. 2).

AAVSO- Bezeichnung des Sterns	V-Katalog- helligkeit in mag.	Belichtungszeit in Sekunden (Minuten) um 0,05 mag Genauigkeit zu erzielen	Genauigkeit der Einzelaufnahmen in mag
000-BQG-057	12,148	90 (1,5)	0,070
000-BQG-058	12,630	90 (1,5)	0,063
000-BQG-059	13,036	10	0,041
000-BQG-060	13,454	10	0,048
000-BQG-061	14,124	90 (1,5)	0,071
000-BQG-062	14,677	270 (4,5)	0,154
000-BQG-063	15,107	810 (13,5)	0,176
000-BQG-064	15,705	810 (13,5)	Messung nicht möglich
000-BQG-065	16,208	2430 (40,5)	Messung nicht möglich

Tabelle 2: Dauer der Belichtungszeit um eine Messgenauigkeit von 0,05 mag zu unterschreiten.

Zudem wurde geprüft, wie groß der Unterschied bei einer Vereinigung aller drei Farbkanäle gegenüber einer reinen Grünkanalmessung war. Es ergaben sich Werte zwischen 0,01 und 0,03 mag. Somit ist es für Amateurmessungen unproblematisch, alle drei Farbkanäle zu vereinigen, um ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis und damit eine höhere Messgenauigkeit zu erzielen.

In einem weiteren Versuch wurde geprüft ob bei Sternen größerer Helligkeit auch mit Einzelaufnahmen brauchbare Resultate zu erzielen sind. Hierfür wurde eine von Volker Wickert am 17.12.2023 erstellte Aufnahmeserie von T Arietis herangezogen. Zum Einsatz kam eine Canon EOS M5 mit einem 50-mm-Fotoobjektiv, Blende 1:1,9. Belichtet wurde 30 Sekunden bei ISO 200. Erfasst wurden AAVSO-Vergleichssterne zwischen Größenklasse 5,1 und 9,2 mag. Gemessen wurde wiederum mit dem Programm ASTAP. Die Messwerte streuten zwischen 0,029 und 0,044 mag. Dabei ergab sich der beste Wert (0,029 mag) im mittleren Bereich (7. Größenklasse), während die Messgenauigkeit zu helleren und dunkleren Sternen abfiel.

Die Mittelwerte der Helligkeiten, die sich aus Messungen des Grünkanals der Kamera (TG) bzw. der Vereinigung der Farbkanäle (TRTGTB) ergaben, wiesen Abweichungen von 0,031 bis 0,056 mag auf. Somit können die Einzelaufnahmen zwar nicht als hochgenau, aber für Amateurzwecke ausreichend betrachtet werden.

Empfehlungen

Während früherer Messserien mit DSLR-Kameras wurden vom Autor jeweils 9 Aufnahmen von 10 Sekunden angefertigt. Die Anzahl der Aufnahmen ergab sich aus dem Umstand, dass die damals eingesetzten Kameras (Nikon D3300 und D3200) mit „Bordmitteln“ maximal 9 Aufnahmen pro Serie erlaubten. Die Belichtungszeit ergab sich aus der Nachführgenauigkeit der eingesetzten mechanischen Nachführungen (Omegon MiniTrack LX2 und LX3) und der eingesetzten Optik (100 mm). Diese Werte können für Einzelmessungen grundsätzlich empfohlen werden, wobei die Belichtungszeit an die Brennweite so angepasst werden sollte, dass die Sterne rund bleiben.

Bei Aufnahmen mit einem dem Seestar S50 vergleichbaren Smartteleskop (250 mm Brennweite, 50 mm Objektivdurchmesser) empfiehlt es sich, für Sterne heller als 15. Größenklasse, jeweils 27 Aufnahmen von je 10 Sekunden zu verrechnen. Da ein Verrechnen mehrerer Aufnahmen verschiedene, aufeinanderfolgende Aufnahmeabschnitte zusammenfasst, geht eine höhere Messgenauigkeit immer auf Kosten der zeitlichen Auflösung. Bei langperiodischen Sternen spielt das keine Rolle, wohl aber bei Objekten mit kurzem Lichtwechsel, wie sehr kurzperiodischen Sternen, Exoplaneten oder rotierenden Asteroiden. Die genannten Werte erlauben selbst bei kurzperiodischen Veränderlichen noch immer eine ausreichende zeitlichen Auflösung von ca. 5 Minuten.

Unter den verschiedenen Stacking-Optionen bietet es sich an, eine Mittelung (Average) zu wählen, damit auch unterschiedlich lang gestackte Aufnahmen vergleichbar bleiben. Eine weitere, in der Astrofotografie gerne verwendete Methodik, das Sigma-Clipping, rechnet Einzelabweichungen, wie durchziehenden Leuchtspuren, elegant heraus. Es sollten dafür aber mindestens 25 Einzelaufnahmen herangezogen werden.

Zwar können auch Summenbilder, die von Smartteleskopen erstellt wurden, für Messungen verwendet werden, besser ist es aber dafür Programme wie Siril (RICHARD et al. 2024), ASTAP (KLEIJN 2017-2026) oder Muniwin (MOTL 2011) zu verwenden. Speziell Muniwin empfiehlt sich aufgrund der Möglichkeit einer Zeitkorrektur, die bei fehlerhafter Einstellung der Kamerazeit hilfreich ist (vgl. SPELDA & WICKERT 2022a). Zu beachten ist jedoch, dass bei Seestar-FITS-Dateien keine Kanalextraktion stattfindet, sondern die drei Farbkanäle zu einem Graustufenbild vereinigt werden. Dies ist aus den oben genannten Gründen jedoch nicht tragisch, sondern erlaubt vielmehr eine höhere Messgenauigkeit.

Bei einer nachfolgenden Vermessung mit ASTAP würde sich eine Kanalextraktion zudem verbieten, weil ansonsten die Summenbilder zu klein für ein Platesolving mit ASTAP sind.

Danksagung:

Für die gute Zusammenarbeit, insbesondere beim Online-Meeting vom 25.08.2025, bei dem diese Ergebnisse erstmals vorgestellt wurden, sowie für die Diskussionen über Email und Jitsi möchte ich mich bei Volker Wickert sehr herzlich bedanken.

Literatur

- AAVSO [The American Association of Variable Star Observers] (o. J. [2026]): Variable Star Plotter. Online verfügbar unter <https://app.aavso.org/vsp/>, zuletzt geprüft am 28.01.2026.
- KLEIJN, H. (2017-2026): ASTAP, the Astrometric STACKing Program. Online verfügbar unter <https://www.hnsky.org/astap.htm>, zuletzt geprüft am 28.01.2026.
- MOTL, D. (2011): C-MUNIPACK. Package of software utilities for reducing astronomy CCD images intended on a observation of variable stars. Online verfügbar unter <http://c-munipack.sourceforge.net>, zuletzt geprüft am 28.01.2026. Aktuelle Version MuniWin 2.1.39 (x64).
- RICHARD, C.; HOURDIN, V.; MELIS, C.; KNAGG-BAUGH, A. (2024): Siril: An advanced tool for astronomical image processing. - Journal of Open Source Software, 9(102), 7242: 1-3. DOI: 10.21105/joss.07242. Online verfügbar unter <https://siril.org/>, zuletzt geprüft am 28.01.2026.
- SPELDA, J.; WICKERT, V. (2022a): 8.5.1.3 Auswertung von Fotoserien kurzperiodischer Veränderlicher. - In: Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (Hrsg.): Einführung in die Beobachtung veränderlicher Sterne – mit CCD und visuell –, S. 238-247.
- SPELDA, J.; WICKERT, V. (2022b): 8.5.1.4 Bildüberlagerung und Ausrichtung von Fotoserien. - In: Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (Hrsg.): Einführung in die Beobachtung veränderlicher Sterne – mit CCD und visuell –, S. 247-251.
- WISCHNEWSKI, E. (2021): Astronomie in Theorie und Praxis Kompendium und Nachschlagewerk mit Formeln, Fakten Hintergründen. 9. Aufl. 3 Bände. Kaltenkirchen: Selbstverlag.