„Synthetische Langzeitbelichtung“
oder
„Eine Strichspuraufnahme, die gar nie gemacht wurde“

Robert Nufer

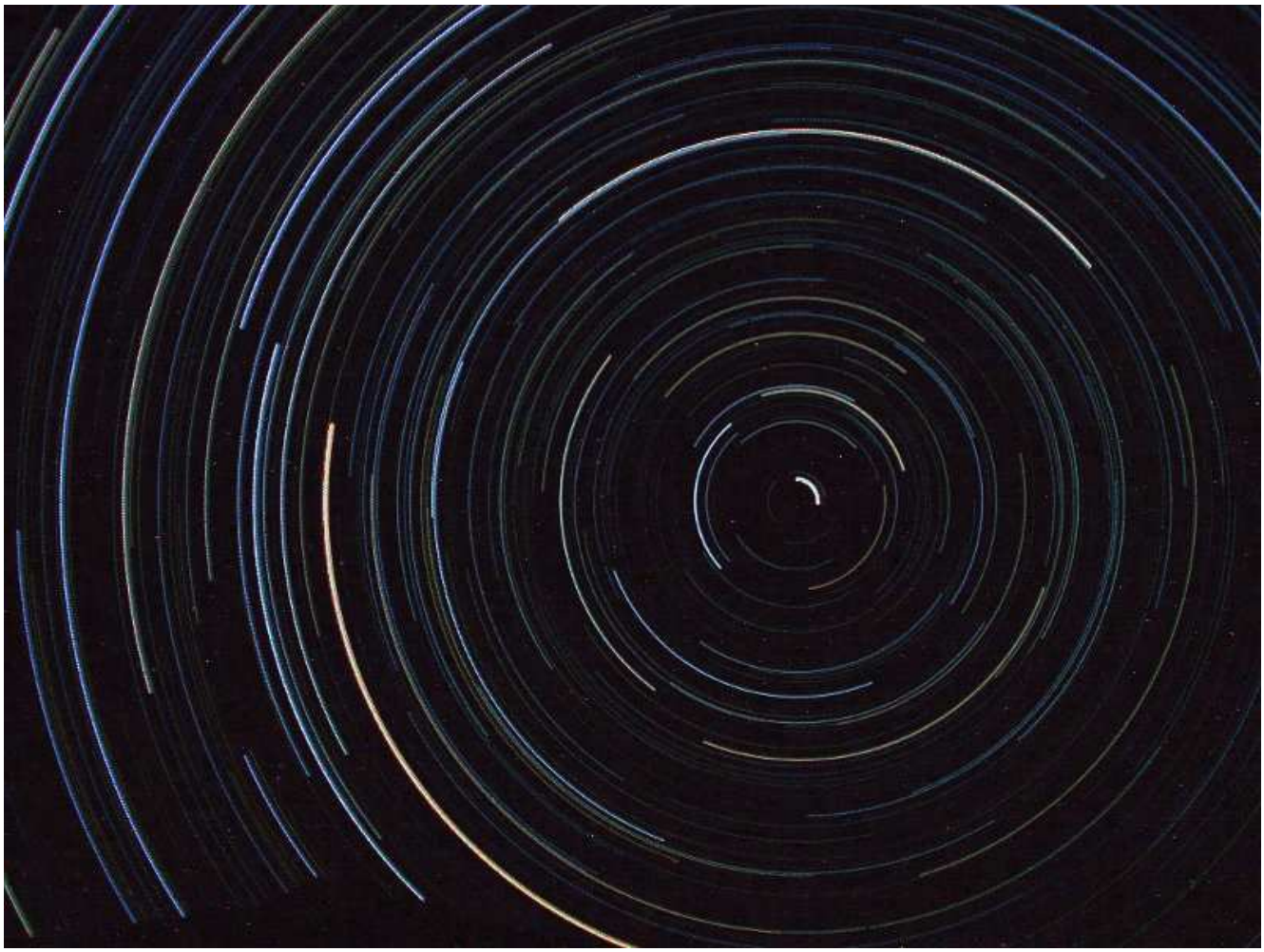

Bild 1 Der nördliche Himmelspol über dem Pico de Teide auf Teneriffa. „Synthetische 6-Std-Belichtung“ aus einer Serie von fast 360 Digitalbildern zu je 45 Sek.

Digitalkameras ohne gekühlten Bildsensor sind (oder waren) nicht recht für Langzeitbelichtungen in der Astronomie geeignet. Genauso wenig ist es das bei solchen Kameras meist verwendete Bildformat JPG. Trotzdem ist es mir gelungen, das obige Bild zu erzeugen, das wie eine 6-Std-Belichtung aussieht.

In der Woche vom 25. Sept. 2003 war ich mit Marcel Süssli und einem Dutzend deutscher und englischer Amateurastronomen auf Teneriffa, wo unter der Leitung von Michael Mushardt und Klaus-Peter Schroeder das TTC'03, das Tenerife Telescope Convention '03, stattfand. Da ich bis anhin noch keine sehr lange Belichtung des Himmelspols gemacht hatte, versuchte in dieser Nacht mein Glück trotzdem auf digitale Weise. Ich wollte mit der Digitalkamera eine ganze Serie von Aufnahmen machen und diese dann später zuhause zu einer Animation, welche die Erdrotation zeigt, oder einem Sandwichbild zusammenstellen.

Meine Ausrüstung bestand aus einem einfachen Fotostativ (Linhof), einer Digitalkamera CoolPix 995 (Nikon) auf maximalen Weitwinkel gesetzt, einem zusätzlichen Weitwinkelvorsatz (0.63x), einem

Bild 2 Die Aufnahme Nr. 180, etwa in der Mitte der Serie.
Nebst viel Rauschen sind die hellsten Sterne des Sternbildes Kleine Bärin zu erkennen

Fernauslöser DigiSnap 2800 (Harbortronic), der jede Minute eine Belichtung von 45 Sekunden (im Bulb-Modus) machte und einer selbstgebastelten Spannungsversorgung für die Kamera und den Fernauslöser, denn auch das hält kein Akku durch. Da ich nur 256 MB Speicher in der Kamera zur Verfügung hatte, entschloss ich mich, Bilder im Format 1024x768 Pixel mit „normaler“ JPG-Qualität (ca. 400 kB/Bild) zu machen. Ich startete den Fernauslöser um 22:51 Uhr MEZ und beendete die Serie nach 349 Bildern oder 6 Stunden am nächsten Morgen um 04:55 Uhr.

Die obige Aufnahme zeigt, dass auf den Einzelbildern nicht viel Sterninformation, aber sehr viel Rauschen zu erkennen ist. Wie gesagt, die Kamera ist eigentlich nicht dazu gedacht, so lange zu belichten. Eine Belichtung von 45 Sekunden entspricht immerhin einer **45‘000 x** längeren Belichtung als eine „normale“ Tausendstelsekunde bei gutem Tageslicht, und das zeigt sich dann in einem deutlich sichtbaren Rauschen. Ich habe im Bild 2 mit PhotoPaint die Umrisse der Kleinen Bärin skizziert und einen Kreis um den Bildpunkt (Pixel) mit den Koordinaten x=282/y=532 eingezeichnet. Dieser Bildpunkt, „unser Pixel“, einer von 786‘432 Bildpunkten jeder Aufnahme, wird in diesem Bericht als Beispiel benutzt. (Fast) jeder andere Bildpunkt hätte sich genauso gut geeignet. Um mir ein Bild vom Rauschverhalten der Kamera im Laufe der Nacht zu machen, habe ich die

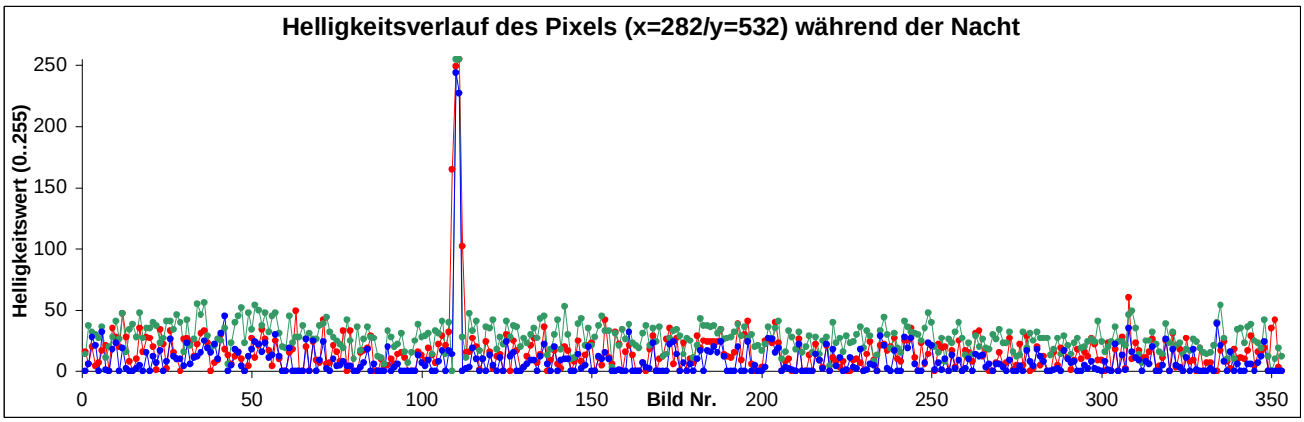

Bild 3 Helligkeitsverlauf „unseres Pixels“ (x=282/y=532) während der Nacht

Bildinformation, die sogenannten RGB-Werte[1)] aller Bildpunkte als Funktion der Zeit dargestellt. Für „unser Pixel“ mit den Koordinaten x=282/y=532 ergibt sich dabei folgender zeitlicher Verlauf:

Was zeigt Bild 3? In den meisten der knapp 360 Aufnahmen hat „unser Pixel“ in allen drei Farbbereichen Werte, die kleiner als 50 sind. Etwa um die 110te Aufnahme schnellte die Helligkeit für zirka drei Minuten nach oben. Dies war der Zeitpunkt, als Kochab, nebst Polaris der hellste Stern im Gesichtsfeld, bedingt durch die Erdrotation über „unser Pixel“ fuhr. Gegen Ende der Belichtungsserie, etwa auf der 310. Aufnahme, kam noch ein sehr schwach leuchtender Stern bei „unserem Pixel“ vorbei. Es ist der Stern, der auf Bild 1 die feine Strichspur über Kochab verursachte.

Mehr „Sterneninformation“ ist auf „unserem Pixel“ nicht enthalten. Es ist klar ersichtlich, dass aber das Pixel nicht schwarz ist, wenn kein Stern darauf scheint, sondern es hat immer einen leicht erhöhten Wert, das Rauschen eben, hervorgerufen durch die Wärme des Bildsensors in der Kamera und etwas Streulicht von den Städten und Dörfern im Norden Teneriffas. Betrachtet man Bild 3 ohne auf die Sternspitzen zu achten, sieht man, dass „unser Pixel“ im Grünen etwas mehr rauscht, und dass das Rauschen im Laufe der Nacht etwas abzunehmen scheint, bedingt durch die Abkühlung der Luft (und das Löschen der Lichter im Norden). Ich schätze, dass die Lufttemperatur vielleicht von 15 Grad auf 10 Grad absank[2)].

Um von allen Aufnahmen die Sterninformation vom Rauschen zu befreien, habe ich mich entschlossen, für jedes Pixel den Medianwert der drei Farben rot, grün und blau über alle Aufnahmen zu bestimmen und von allen Aufnahmen abzuziehen. Dieser Wert wird bestimmt, indem man für jede Pixelkoordinate die RGB-Werte aus allen Aufnahmen einliest und, jede Farbe für sich, nach Helligkeit

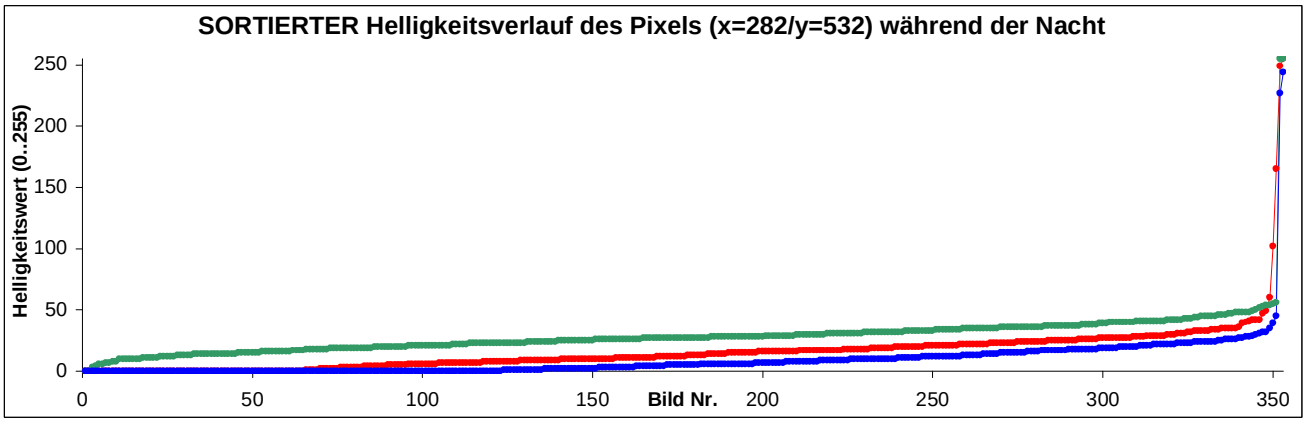

Bild 4 Sortierter Helligkeitsverlauf „unseres Pixels“ (x=282/y=532) während der Nacht

sortiert. Das mittlere Element dieser sortierten Liste besitzt dann den Medianwert an Helligkeit. Für „unser Pixel sieht das zum Beispiel so aus:

Bild 4 ist das nach Helligkeit sortierte Bild 3. Ich musste nun für „unser Pixel“ in allen Aufnahmen den RGB-Wert in der Mitte der x-Achse (rot=12,grün=27,blau=5) abziehen. Und das Gleiche musste mit allen andern Pixeln gemacht werden. Für den Computer war dies kein Problem; ein paar Minuten und das ganze war erledigt und ich hatte fast 360 vom Rauschen befreite neue Bilder.

Zurück zu Bild 4! Beim Betrachten des sortierten Helligkeitverlaufs wurde mir klar, dass mit diesem Sortieren die gesamte Sterninformation „nach rechts“ gespült wird, egal, wann in der Nacht ein Stern bei dem Pixel vorbeikam.

Man kann nun also aus den fast 360 (natürlich zeitlich sortierten) Bildern ebenso viele nach Helligkeit sortierte Bilder generieren. Dazu muss man sämtliche Pixel auf sämtlichen Aufnahmen in allen drei Farben aufsteigend sortieren und mit den sortierten Pixel-Listen neue Bilder erzeugen. Das erste dieser Bilder besteht dann aus dem niedrigsten Helligkeitswert, den jedes Pixel in der Nacht „sah“ und das letzte Bild besteht aus dem höchsten Helligkeitswert für jedes Pixel. **Die gesamte maximale Sterninformation ist also auf dem letzten Bild!** Aber auch der höchste Rauschwert aller Pixel ist auf diesem letzten Bild. Nun verhält sich aber bei diesem Sortieren das Rauschen ganz anders als die Sterninformation: Angenommen, ein Pixel, bei dem **kein** Stern vorbei kam, hat als höchsten Wert in einer Farbe 31. Dieser Wert 31 wird also auf dem letzten Bild abgebildet. 10 Bilder weiter „vorne“ ist der Wert dieses Pixels sicher nicht viel kleiner als 31, sagen wir z. B. 28. Zieht man nun vom letzten Bild das zehntletzte Bild ab, bleibt für dieses Rauschpixel der Wert 3 übrig, also praktisch nichts, und das Rauschen ist quasi entfernt. Ganz anders sieht es mit Pixeln aus, die Sterninformation enthalten: Ein solches Pixel ist „unser Pixel“ in Bild 3 und 4. Da Sterne, bedingt durch die Erdrotation, höchstens ganz wenige Minuten auf das gleiche Pixel scheinen, geht die sortierte Helligkeit solcher Pixel sehr schnell vom Maximum des Sternlichts ins normale Rauschverhalten über. Zieht man vom letzten Bild das zehntletzte ab, so wird die Sterninformation praktisch vom maximalen Rauschen befreit. Die folgenden Bilder veranschaulichen den Prozess, der zum Bild 1 führte:

Das letzte Bild der sortierten Serie.

10 Bilder weiter vorne ist nur noch Rauschen zu sehen und Polaris, da er sehr polnah ist.

Die Differenz führt zu Bild 1.

Bild 5 Differenzbildung aus zwei nach Helligkeit sortierten Bildern

Schlussbemerkung: Die Methode funktioniert natürlich nicht für einen Stern, der exakt am Himmelspol liegt. Wie das mittlere der obigen drei Bilder zeigt, verharrt auch Polaris länger als zehn Minuten über den beschienenen Pixeln. Dadurch wird zuviel an Helligkeit abgezogen. Ich habe deshalb in Bild 1 Polaris von Hand etwas „mit weisser Farbe“ aufgehellt. Auch den Kontrast habe ich mit PhotoPaint etwas erhöht.

Es gibt in Bild 1 immer noch einige Bildpunkte, die „falsch“ sind. Diese Fehler stammen von Pixeln, die ein merkwürdiges Verhalten zeigten. Es gab z. B. Pixel, die ab und zu während einigen Minuten gesättigt waren, aber sonst ein normales schwaches Rauschen zeigten. Andere waren in einer der drei Farben permanent gesättigt. Wieder andere zeigten in einer Farbe überhaupt nur Nullwerte. Die Liste liesse sich sehr lange fortsetzen.

Links

AVB	http://Basel.Astronomie.ch
Klaus-Peter Schroeders Teneriffa-Page	http://astro.physik.tu-berlin.de/~schroder/Teneriffa.html
Michael Mushardts Page	http://www.mushardt.de/

Noten

1) **RGB**-Wert: Farbe und Helligkeit eines Bildpunktes werden in der Computerei in Form von drei Zahlen angegeben, die den Intensitäten in den Farben **R**ot, **G**rün und **B**lau entsprechen. Die drei Zahlen können Werte zwischen 0 und typischerweise 255 annehmen. (0,0,0) entspricht dabei der Farbe schwarz (gar kein Licht) und (255,255,255) entspricht der Farbe weiss(, alle 3 Farbkanäle haben maximale Intensität). (255,0,0) entspricht einem gesättigten Rot.

2) Obschon ich die Kamera mit 8 Volt einer externen Spannungsversorgung betrieb, liess ich den Akku in der Kamera eingesetzt. Dadurch floss immer ein Ladestrom durch den Akku, der die Kamera erwärmte. **Mein Tip: Akku herausnehmen, wenn mit externer Spannungsversorgung gearbeitet wird**.