

# Sternenlicht – was kommt da auf uns zu?

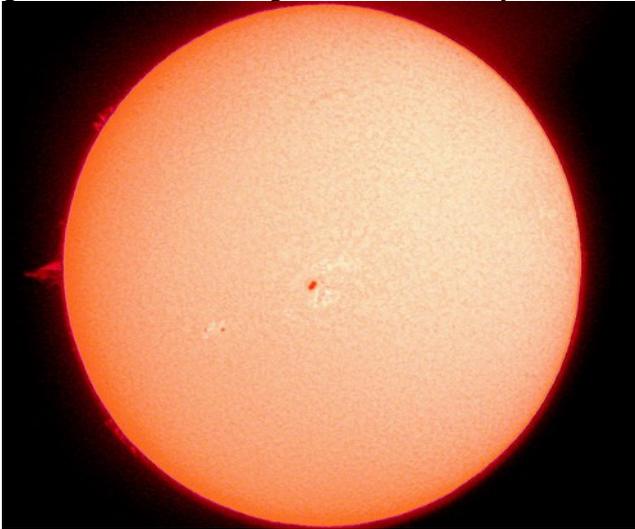
## Eine Anleitung zur Erkundung des „Lebensmittels“ No.1

*Martin Falk schreibt für Jugendliche und Freunde<sup>1</sup> der Zukunftswerkstatt Buchholz über den Treibstoff des Lebens, zugleich auch das Elixier, das die (Hobby)Astronomen vor die Tür treibt, wenn es Nacht wird, der Himmel wolkenfrei, dem Lifestyle Genüge getan ist und noch ein paar Randbedingungen erfüllt sind....*

*Die Bilder zum Text sind frisch vom Buchholzer Himmel geholt, zumeist mit einer neuen Kamera (gespendet von der Adalbert-Zajadac-Stiftung) an den Teleskopen der AEG/GAK-Schulsternwarte.*

Zu lernen<sup>2</sup> gibt es dabei genug für ein paar Teil-Antworten auf die Frage aller Fragen: „Was sagt uns das Licht vom Zustand der Welt – vom Anfang, Ende und Zusammenhalt?“

Fast schon alle Erstklässler wissen heute, dass Leben ohne Sonne und ihr Licht nicht „aufgeht“ - Wasser (H<sub>2</sub>O) darf auch nicht fehlen - und schon geht's ab ins Detail: der **Wasserstoff (H)** macht das Licht „an“, wenn er im Kern der Sonne/unserem Heimatstern zu **Helium** verschmolzen wird. Wie das genau funktioniert, wissen die interessierten Menschen seit 1939, als Berliner Forschern die berühmten Schuppen von den Augen fielen. Seit rund 50 Jahren muss das eigentlich auch jede Physik/NaWi/Lehrkraft einigermaßen erklären können, so dass hier gleich etwas „ins Auge“ gehen kann – die sogenannte **Photosphäre der Sonne** – die Lichtquelle des Sonnensystems:



Doch kein Auge ist dem Blick in die Sonne gewachsen, in einem Teleskop müssen erst ~99,9...% des Lichts weggefiltert werden, damit man etwas erkennt. Man sieht Energiepakete aus Licht, **Photonen** genannt, trotz Filter so gigantisch viele, dass unserem Auge ein Strom von Licht aus einer Fläche heraus geboten wird. Die Photonen verlassen 8.3 Minuten bevor wir sie wahrnehmen die relativ dünne Oberfläche der Sonne – nachdem sie sich aus dem Kern durch das Sonnen-Plasma „durchgeboxt“ hatten. Dieser Vorgang, als Streuung bezeichnet, dauerte mehrere 100.000 Jahre und ehe im Kern die **Fusion** - das Verschmelzen - abbrechen wird, vergehen noch ~5 Milliarden Erden-Jahre. Dann gibt es zwar immer noch jede Menge Licht vom

Nachglühen der „verstorbenen“ Sonne, aber zum Leben wird es schon vorher zu heiß werden. Die Wasserstoffatome in der Photosphäre strahlen, wenn sie von den Photonen aus dem Inneren angeregt wurden, am stärksten ihre Energie in einer roten Wellenlänge<sup>3</sup> ab.

Was noch im Bild zu sehen ist, nennt man **Sonnenflecken** (Mitte), **Fackeln** oder **Flares** (helle Gebiete) und **Protuberanzen** (Gasausbrüche am linken Rand). Die Sonne ist ja bekanntlich ein Gasball von 1,39 Mill. Km Durchmesser!! mit einer komplizierten Eigendynamik<sup>4</sup>.

Wichtig sind noch vier bedeutende Tatsachen des Lichts: dass sich ein **Photon** mit **300.000km pro Sekunde** gradlinig durch den (leeren) Raum bewegt, dabei **nicht altert** und somit **keinem Zeitvergehen** unterliegt. Alles Astronomische ist also selten frisch, sondern viele **Lichtjahre** alt, weil der Entstehungsort des Lichtereignisses im fernen Weltall lag. Nur den vergleichsweise nahen Mond und seine Beleuchtungsphasen sehen wir im Sekundentakt; davon später mehr.

Wie und was Menschen bzw. Kameras sehen, wenn das Photon die Pupille des Auges, bzw. die Linse der Kamera passiert, muss vorher noch klarer werden. Menschen und Tiere sehen die Umwelt in einer schnellen Bildfolge (also Videos mit ~30 Einzelbildern/Sek beim Menschen), durch eine Pupillenöffnung von nur wenigen Millimetern im Durchmesser. Aber die Effektivität des Photonensammelns ist enorm: bis zu 90% aller einfallenden Photonen des sichtbaren Lichts registriert die **Netzhaut** im Auge – dem Sensor des Gehirns, denn die Nervenimpulse aus der

1 Gemeint sind Astronomie-Interessierte ohne sprachliche Betonung des Geschlechts.

2 Alle nachfolgend **fettgedruckten Begriffe** sind Schlüsselwörter mit ausführlichen Wikipedia/Lexikon-Einträgen.

3 Von Lichtenergie angeregte Atome strahlen sofort das aufgenommene Energiepaket wieder (in Quanten) ab. Die empfundenen Farben sind abhängig von der Wellenlänge der Quanten. S.u. Spektrum.

4 Das muss thematisch übersprungen werden, um nicht zu viele PDF-Zettel zu füllen.

Netzhaut können erst dort zum fertigen Bild verarbeitet werden. So effektiv und gut wie die Netzhaut sind nur extrem teure Kameras; unsere alltäglichen Handy- und Fotokameras verarbeiten nur rund 30%! Wie das genau geht, ist wichtig zum Verständnis der Astrofotografie.

Zunächst zur Menge der Photonen von einem gerade noch sichtbaren Stern, z.B. einem aus dem Band der **Milchstraße**, das sich gerade so hier am Nordheidjer Himmel abzeichnet.



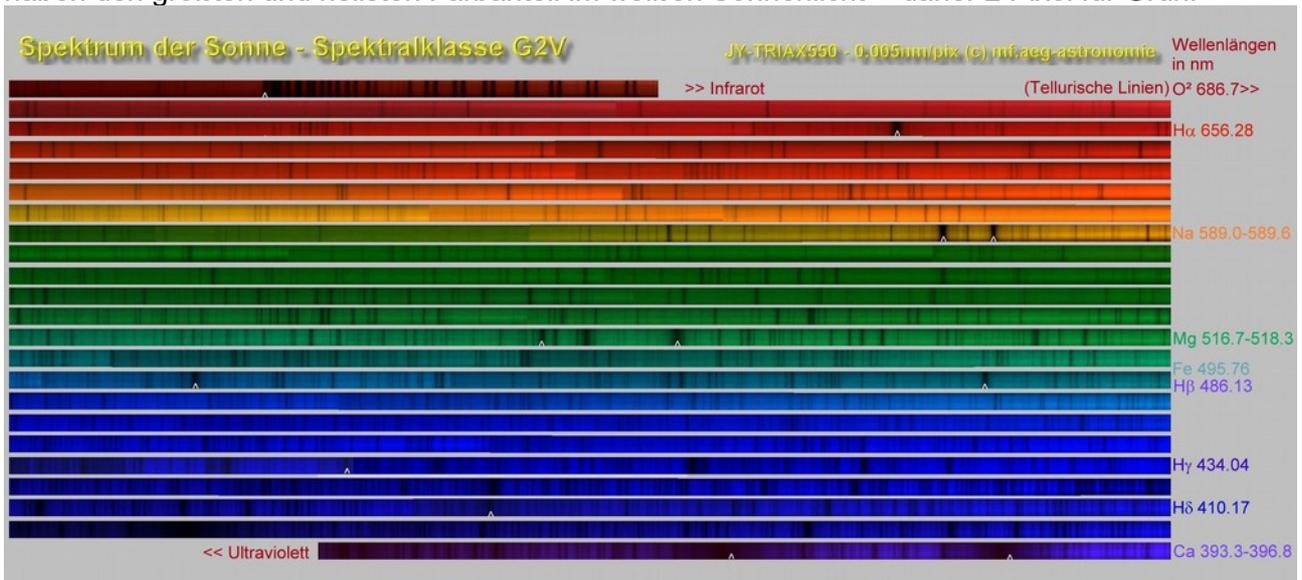
Von diesem Stern strömen bei klarster Nacht auf einen Quadratmeter der Erdoberfläche pro Sekunde ~100 Mill.!! Photonen (weißen Lichts). Durch die ~50mm<sup>2</sup> große Nacht-Pupille eines Auges schaffen es ~5000; davon werden ~500 vom Gewebe des Innenauges verschluckt; ~4500 fokussiert die Linse schließlich auf 3 verschiedene Rezeptoren in der **Fovea centralis**, der Stelle der Netzhaut, die die Schärfe garantiert. Dort springt ein **Retinal**-Molekül aus einer krummen in eine gestreckte Anordnung, wenn es von jeweils einem Photon getroffen werden. (5 Millionen mal vergrößert, sähe es aus wie eine Fliegenmade beim Kniebeugen-Frühspurt - ~zig x/Sek wohlgemerkt!) Jede Streckung reizt den Sehnerv zu einem **Aktionspotential**, das in Millisekunden Schnelle die Hirnstrukturen zum Sehzentrum im Hinterkopf durchläuft, **V1-Areal/Visueller Cortex** genannt. Jetzt wird klar, dass trotz der phänomenalen Leistung des Hirnsensors Auge unser Bewusstsein nur mitkriegen kann: „ok, da könnte ein namenloses Sternchen sein“.

(Wer jetzt noch einmal staunen möchte, darf den Verteilungsvorgang mit den Photonen vom **Stern Wega** – dem Musterstern der Astrometrie bzw. Helligkeitsmessung - nachrechnen: pro Qm pro Sek 22.4 Milliarden Photonen!! Der Sehnerv hat es in diesem Fall etwas einfacher, es gibt ein paar Millisekunden Erholung zwischen jedem Aktionspotential.) Die komplizierte Struktur der Fovea centralis (für Biologie-Fans ein „Muss“) mit ihren Farb-empfindlichen Zapfen und Helligkeit-empfindlichen Stäbchen lässt sich vereinfacht darstellen, wenn man einen Vergleich mit dem Sensor einer Kamera heranzieht.

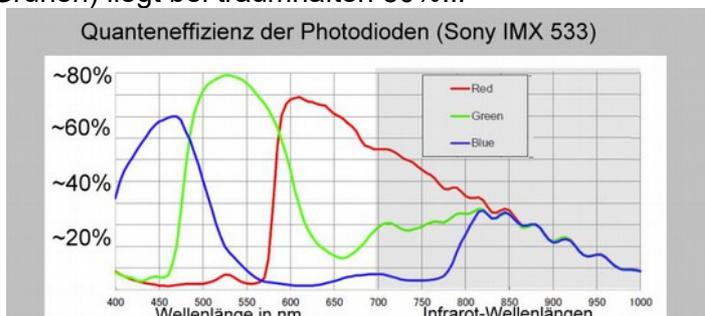
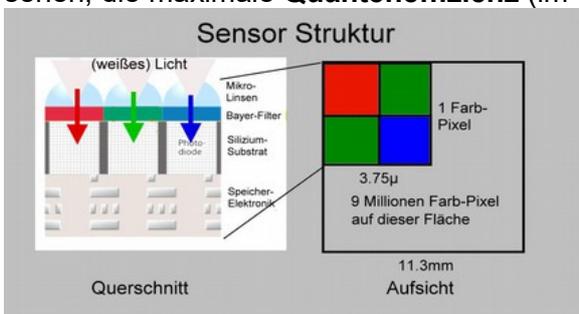
Seit nunmehr ca. 45 Jahren werden diese Sensoren (anstelle eines analogen Films) mit einer **Bayer-Farbmatrix**, als künstlichen Netzhaut einer Kamera, von Informatikern optimiert - je kleiner und empfindlicher um so besser – bis an die Grenzen der Quanten-Physik. In der neuesten, aber noch bezahlbaren Form (€ ~1000.-) wird seit diesem Frühjahr eine dieser Hightech-Maschinen an unseren Schulteleskopen eingesetzt. Was hier mit den Photonen passiert, lässt sich so zusammenfassen:

Je eines von den 9 Millionen **Pixel**<sup>5</sup> unseres Sensors mit 11,3mm Seitenlänge, gliedert sich in 4 Photodioden. Diese wandeln die Energie der Photonen in Elektronenenergie von Silizium-Atomen um. Deren Energie wird letztlich in einem elektronischen Speicher gesammelt, um später ein ähnlich gebautes **LED-Pixel** eines Monitors anzuregen. Entsprechend der Stelle/Pixelkoordinate auf dem Sensor soll ein heller Farbpunkt zu sehen sein. Dabei muss das einfallende Photon entsprechend seiner Energie möglichst genau in Strom/Elektronen des Speicherchips umgesetzt werden. Das geht in der Astronomie nur gut, wenn der Sensor stark gekühlt wird, denn Elektronik führt ein unvermeidbares Eigenleben - bei Umwelttemperaturen erst recht, das sich in Farb-Rauschen des Bildes bemerkbar macht – was jeder kennt, der mit einer preiswerten Handykamera einmal bei Kerzenschein seinen Liebling fotografiert hat.

Unser Pixel hat eine Fläche von  $3.75^2\mu = 0.00375^2\text{mm}$  für 4 Dioden, 2 für Photonen mit der Wellenlänge grünen Lichts und je 1 für rotes und blaues Licht. Unsere Augen haben im Laufe der Evolution sich für Photonen der Farbe Grün die größte Empfindlichkeit antrainiert, denn diese haben den größten und hellsten Farbanteil im weißen Sonnenlicht<sup>6</sup> - daher 2 Pixel für Grün.



In jedem Pixel verstecken sich noch Speicherelemente und winzige Verdrahtungen, die eigentlich leider alle dazu beitragen, die lichtempfindliche Fläche zu verkleinern. Pixelelemente müssen aber so klein wie nur irgend möglich gestaltet sein, denn ihre Größe bestimmt die Schärfe des Bildes. Das Problem lautet aber: je kleiner das Pixel, um so geringer die Empfindlichkeit. Zum Glück kamen aber vor einigen Jahren die Ingenieure auf die Idee, die Netzhautnachbildung quasi auf den Kopf zu stellen: Die Verdrahtung der Pixel ließ sich *unter* der lichtempfindlichen Schicht anbringen. Bei unserem Modelltyp ist so der Kompromiss von Winzigkeit gegenüber Kosten auf die Spitze getrieben; die Struktur und der spektrale Verlauf der Empfindlichkeit sind in der Grafik zu sehen, die maximale **Quanteneffizienz** (im Grünen) liegt bei traumhaften 80%!!.



Die Netzhautkonstruktion von Mutter Natur bitte im Biologiebuch/Wikipedia bewundern!

- 5 Die Nachbildung der drei Farbzapfen und des Stäbchens einer Netzhautzelle. s.u.
- 6 Das (Regenbogen)Spektrum des Sonnenlichts ist hier ca. 2,5m lang, hergestellt mit einer Spezialapparatur (dank der neuen Kamera hochaufgelöst; im Bild sind die Streifen in Abschnitten übereinander angeordnet). Da jeder Stern ein charakteristisches Spektrum hat, stellt Spektroskopie naturgemäß ein Spezialthema der Astrophysik dar. In der Astrofotografie schlägt sich dies aber in den **Sternfarben** jeder Aufnahme nieder und ist für die Güte des Fotos ein Qualitätsmerkmal. Die Linien im Spektrum sind von großer Bedeutung für Analysen von molekularen/atomaren Vorgängen in der Photosphäre, sowie für Bewegungsprofile des Gasballs als Ganzes.

Jetzt darf/muss aber wieder „gerechnet“ werden: Die Pupille, **Apertur** genannt, des Top-Teleskops der Astro-AG misst  $666\text{cm}^2 = \sim 1330$  fache Pupillengröße. Ein Stern, eine Punktquelle des Lichts, wird nach den Gesetzen der Optik als winzige Scheibe im Brennpunkt des Teleskops/auf dem Sensor abgebildet. Die Regel lautet nun: je kleiner das Verhältnis des Durchmessers der Apertur zur Brennweite, abgekürzt durch die (Foto)Blendenzahl  $f/n$ , um so kleiner auch das sogenannte **Beugungsscheibchen**<sup>7</sup>. Durch die permanente Luftunruhe der Atmosphäre „zappelt“ nun noch das Scheibchen auf dem Sensor hin und her und stört viele Nachbarpixel, was zuerst die Schärfe beeinträchtigt. Für einen sehr schwachen Stern, bzw. ein extrem schwaches Detail einer fernen Galaxie muss daher ein Kompromiss herhalten – nach folgendem Zusammenhang:

- in einem perfekten  $f/4$ -Teleskop treffen sich 84% aller einfallenden Photonen in einer Kreisfläche von  $\sim 5\mu$  Durchmesser, in einem  $f/8$ -Teleskop von  $\sim 10\mu$ ;  $f/12$  von  $\sim 15\mu$ ; dies gilt aber auch nur nahe der optischen Achse;
- die Luftunruhe, das Flimmern der Sterne, vergrößert den Kreisdurchmesser mindestens um das 3-fache!! auch bei bestem deutschen Hochdruck-Wetter;
- die Scheibchen werden zu „Fleckenformen“ durch Abbildungsfehler, selbst in der teuersten Optik, je nach Entfernung von der optischen Achse;
- jede (unnötige) Vergrößerung vergrößert somit auch die Probleme der Schärfe;

Das sind die Gründe, die Astronomen in trocken-kalte Gegenden auf hohe Berge treiben.

Soviel zum zentralen Problem der Optik, jetzt kommen aber auch noch die Tücken der Teilchenphysik ins Spiel: obwohl die 4 Dioden eines Pixels meist optimal ihre Aufgaben erfüllen, führen alle Elektronen in den beteiligten Komponenten ein gewisses Eigenleben, das die Elektroniker **Rauschen** nennen. Das eigentliche **Signal**, die Wiedergabe des Sternscheibchens, kommt nur mit einem möglichst großen **Signal-Rausch-Abstand** zur Geltung. Je größer nun die Kontraste in der Natur im Bild wiedergegeben werden müssen, um so heikler wird das Rauschen. In Astro-Fotos ist das immer der Fall, denn neben jedem hellen Stern steht in geringer Entfernung (gemessen in Bogensekunden s.u.) fast immer auch ein lichtschwaches Sternchen. Beide wollen/sollen möglichst korrekt abgebildet werden, was den nächsten Kompromiss erfordert. Ihre Beugungsscheibchen sind ja gleich groß, aber extrem unterschiedlich hell. Unsere Augen im Video-Modus schaffen das, soweit es nötig ist für das Überleben, durch ihre „Einzelbetrachtung“ des Problems,  $\sim 30$  mal pro Sekunde - und dank der nachfolgenden „Rechenleistung“ des Hirns mittels Logarithmus-Werten!! Sensoren können aber nur Photonen in einem begrenzten Ansturm verarbeiten, denn jedes (Farb-)Pixel hat eine maximale Speicherkapazität. Bei Überschreitung einer Schwelle – der **Full-Well-Capacity** - werden die Nachbarpixel „geflutet“ und aus den Scheibchen werden Scheiben, aus den Farben wird wieder reines Weiß. Die Schönheit des Bildes wird nun fragwürdig hinsichtlich Größe und Farbe der Sterne, je weniger das Lichtschwache zur Geltung kommt. Hier das Extrem am Beispiel einer berühmten Galaxie des **Südhimmels** – von



Buchholz aus fotografiert?!

Die **Galaxie NGC 4038** steht in der Nordheide so tief am Himmel, dass nur bei Extremwetterlagen wie im April 2020 – trockene, klare Luft, geringes Streulicht am Horizont, (weil wegen „Corona“ die „Einheimischen“ noch keine Gartenpartys veranstalten?)- sich ein Foto-Versuch<sup>8</sup> lohnte.

Das Besondere der Doppel-Galaxie sind zwei sehr schwach leuchtende Schweife aus Gas und Sternen, die sich nach Norden und Süden von der „Verknotungsstelle“ der Kerne ausdehnen. Sie sind die Folge einer gravitativen Kollision der beiden Zentren vor Mill. Jahren und waren Namensgeber für die „**Antennengalaxie**“ im **Sternbild „Rabe“**. Sie ist in Buchholz im April-Mai nur für ca. eine Stunde sichtbar. Die „Antennen“ sind hier leider

<sup>7</sup> Eine  $f/4$  Optik mit feineren Sternscheibchen ist leider deutlich teurer als eine  $f/8$ -Optik, weil der Spiegel- und/oder Linsenschliff komplizierter ist. Für uns Schul-Amateure war sie aber gerade noch bezahlbar.

<sup>8</sup> Ein Vergleich mit www-Bildern aus Italien, Kalifornien oder Namibia lohnt sich ebenso

nur zu erahnen, denn ihr Kontrast zum Hintergrund ist so gering, dass bei normalen Bedingungen die Atmosphäre alle Photonen der Schweife verschluckt. Dass sie sich doch schwach abzeichnen, liegt an einem Trick in der Behandlung des Signal-Rausch-Abstandes und der Sensor-Kühlung:

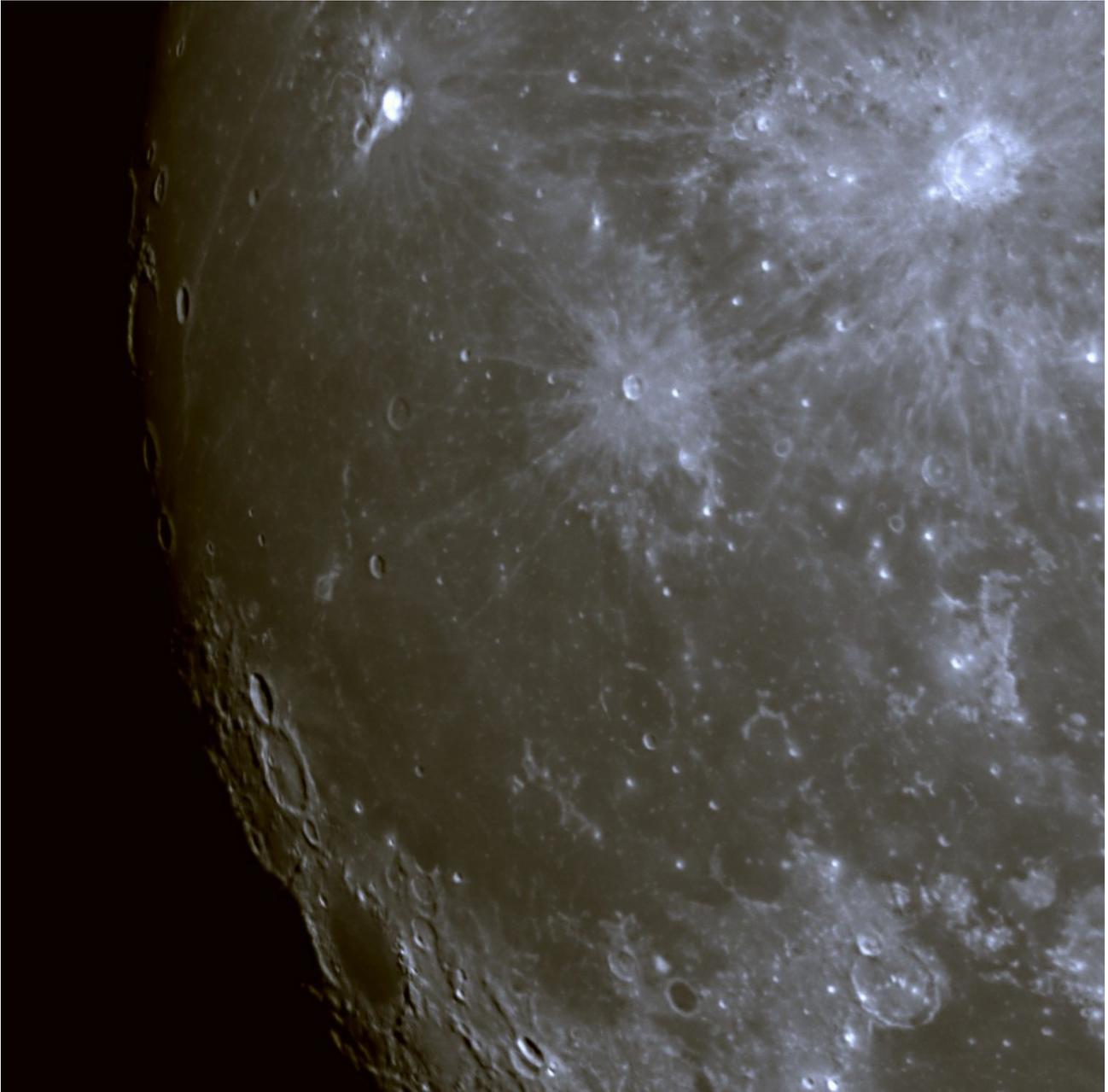
Der Betriebsstrom eines Sensors dämpft unausweichlich auch die Aufnahmekapazität der Dioden, bei starker Kühlung aber nur geringfügig. Dann lassen sich die Elektronen der Silizium-Schicht quasi leichter speichern, so dass das „Überlaufen“ hinausgezögert wird. Würde aber bei dieser Galaxie der Sensor trotz Kühlung ununterbrochen die eine Stunde der Sichtbarkeit arbeiten, wären alle gut sichtbaren Details überbelichtet: der Stern oben rechts wäre zu einem „M&M's/Smartie“ mutiert, die Galaxienkerne ähnelten einer Garnele und der Hintergrund hätte ein chices Hellgrau.

Was also tun? - genau das Gegenteil: *kurz belichten, aber dafür so oft wie möglich*; 100 x 20 Sek ergeben 33 Min; (so viele gute Minuten gab es für diese Galaxie leider noch nicht, weil auch noch ein Baum im Wege steht). In einem Bildbearbeitungsprogramm werden dann alle Einzelbilder „vermengt“/gemittelt, aber so, dass jedes noch so kleine Sternchen jeden Bildes exakt aufeinander trifft – was zum Glück eine Programmautomatik übernehmen kann. Die Stärke des Signalunterschieds zwischen einem stark belichteten Pixelelement und einem Hintergrund-Pixel, der Signal-Rausch-Abstand, nimmt in der Praxis mit jedem Foto zu. Wie das genau funktioniert, ist in wenigen Worten nicht zu beschreiben, weil allein je nach Kameratyp bis zu ~64300 (16 Bit) Helligkeiten eines (von ~Mega)Pixels verarbeitet werden müssen .

Beim Mond in rund 1.2 Lichtwegsekunden Entfernung sind schon mit dem bloßen Auge die extremen Helligkeitsunterschiede zu sehen. Die Phase des Mondes ist gleißend hell, der Rest der Kugel meistens nicht sichtbar, was die Geschichtenerzähler zu wilden Spekulationen veranlasste - vom Friseur bis zum Waldbesitzer wird heute noch mit diesem Schauspiel trickreich Geld verdient. Für Astro-Fans ist der **Terminator** – die Grenze zwischen Hell und Dunkel – von höchstem Reiz, denn die richtige Beleuchtung der Krater erhöht die Plastizität der Schönheit. Leider verweigert auch hier jeder Sensor die korrekte Wiedergabe der Helligkeiten vom prallen Sonnenlicht zum Schatten eines Kraterwalls, obwohl die Oberfläche des Mond eigentlich ein dunkelgraues Pulver (Regolith) ist. Hier der Krater Tycho in der Bildmitte und der Süd-Ost-Rand:



In diesem Farbbild sind zugleich die hellste und dunkelste Fläche des Mondes am Rand des **Oceanus Procellarum** zu sehen:



Der Boden des Kraters Grimaldi (unten links) ist fast schwarz durch Lava des Mantelgesteins<sup>9</sup>; der leuchtend weiße Krater Aristarch (oben links) reflektiert das Sonnenlicht doppelt so stark als normal wegen einer Titanoxid-Anreicherung des Regoliths, vermutlich vom Meteoriten „eingeschleppt“. Das Hauptinteresse aller Fotografen ist nun die genaue Verteilung der Kleinstkrater im fertigen Bild, denn durch die Luftunruhe tanzen diese scheinbar mehrere Kilometer auf der Oberfläche herum. Entsprechendes gilt für die Details der Kraterwälle. Für eine optimale Lösung muss zunächst wieder kalkuliert werden: Der **Monddurchmesser (29-32 Bogenminuten)** passt für das Auge 720mal nebeneinander an den Erd-Horizont, bzw. 360mal vom Nord- über den Zenit zum Südhorizont. Wenn man sich nun ~30 Krater entlang des Durchmessers vorstellt, kann man sich von seiner Augenqualität überzeugen – sie ist 100%ig. („Visus 100“ sagt der Augenarzt, wenn wir auf eine Bogenminute genau sehen.) Eine nur 60-fache Vergrößerung dieser Minute wäre der Wunschvisus aller Astronomen – die Genauigkeit von einer **Bogensekunde** -, zumindest am Schul-Teleskop, wäre da nicht die Luftunruhe. Die Großteleskope und ihre „adaptiven“ Optiken schaffen es inzwischen besser als das 30 Jahre alte Hubble-Weltraumteleskop – Werte um ~50 **Millibogensekunden** sind Standard.

<sup>9</sup> Beim Einschlag eines ~20km großen Meteoriten schmolz das Mondmantelgestein auf und Basaltlava aus dem Inneren füllte den Krater vor dem Wieder-Erstarren gleichmäßig aus.

Eine Bogensekunde entspricht auf dem Mond ~2km, bei besonderem Wetter, hochwertiger Optik und trickreicher Belichtung könnten also Gebilde von ~500m zu schaffen sein. Man nehme die kleinsten Pixel  $\sim 2\mu^2$ , 100 Aufnahmen in kurzer Belichtung von ~50 Millisekunden und suche das schärfste Bild aus. Dieses wird in mehreren Bearbeitungsschritten kontrastoptimiert, wieder unter Berücksichtigung der möglichst nicht übergelaufenen Pixel und „geschärft“, indem der Computer den jeweiligen Umfang der Helligkeitswerte der benachbarten Pixel geringfügig erhöht. Bei 9 Mill. Pixeln pro Bild macht er das auf Knopfdruck und mittelt so den Hintergrund, hier den Mondboden ohne Krater, auf eine gleichmäßige Helligkeit. (Für Informatik-Fans: Der Rauschabstand wächst pro Bild mit der Quadratwurzel.) Dann ist der Mondboden am Terminator noch zu sehen sowie der hellste Wall im Sonnenschein: fertig ist das perfekte Mondbild<sup>10</sup> aus der norddeutschen Tiefebene.



Von den **hellen Planeten** im Sonnensystem, **Venus, Mars, Jupiter** und **Saturn** erzielt man ebenso erstaunlich gute Ergebnisse. So sah am 18.4.20 die **Venus(Phase)** am Abendhimmel von Holm-Seppensen aus. Von Spitze zu Spitze der Venussichel sind es ~32 Bogensekunden, für das bloße Auge eine gleißend helle Punktquelle, mit der auch das beste Augenpaar Mühe hat, die Photonen auf den Zapfen und Stäbchen (s.o.) optimal unterzubringen. (Der Farbsaum am rechten Rand ist ein Artefakt – also nicht wirklich vorhanden. Es entsteht durch kleine Unterschiede in den Weglängen der Photonen durch die Atmosphäre, bzw. der Optik).

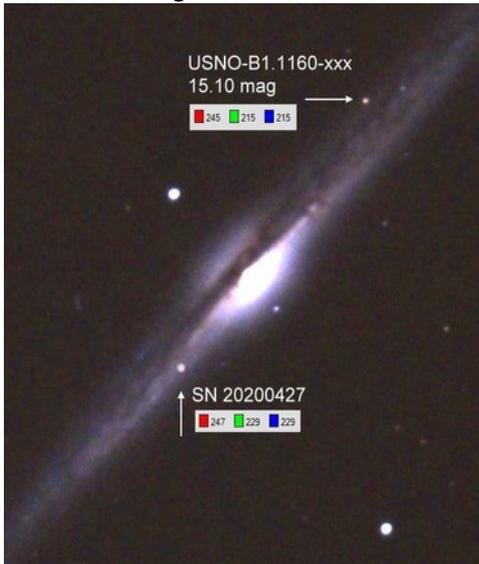
Die Dimension der Pixelelemente und ihre jeweiligen Helligkeitswerte sind für die Erkundung der Weltraumdimensionen durch Astronomen – vom Astrophysiker bis zum Gelegenheitsgucker – ein wichtiges Werkzeug. Die Schattenspiele der Mondkrater, die Abstände von Doppelsternen, die Farben und Relationen der Helligkeitsstufen des Sternenlichts lassen tiefgehende Analysen zu für ebenso tiefgehende Erkenntnisse der Astrophysik. So ergeben allein die technischen Daten des Kamerasensors und die binären Helligkeitswerte der Pixel eine Messlatte für Entfernungen aller Art – ok!, von den wichtigsten Gesetzen der (Astro)Physik sollte man den Aufenthaltsort kennen – optimal wäre ein Speicher im Hirn. In der Schulsternwarte haben sich in den letzten 20 Jahren entsprechende Arbeiten angesammelt, in denen Schüler ihre Weltraumerkundungen protokolliert haben – zur Nachahmung und Erweiterung empfohlen.

Als Finale dieser Anleitung untersuchen wir das fiktive! Finale eines fernen Sterns. Nehmen wir an, bei einem Fotovergleich einer frischen Nachtarbeit mit einem Sternkartenprogramm fiele ein **neuer Stern** auf! Hier die beiden Bilder einer Galaxie, die nadelförmige **NGC 4565** im **Haar der Berenike**-Sternbild. Sie steht im April in guter Fotoposition, in Zenitnähe gegen 23:00 MESZ, leicht abbildbar, hell genug, besonders groß und auch noch in Kantenstellung (s.u.) zur Blickrichtung:



<sup>10</sup> Etliche Fotografen meinen, dass es mit Filmtechniken noch perfekter geht, indem in einem Master-Bild des Films viele Krater von der Maus-Hand elektronisch markiert werden und ein Computerprogramm die Aufgabe löst, dass alle Details in den 1000+ Filmbildern zur Deckung gebracht werden. Im Ergebnis tanzen aber doch einige Kleinkrater aus der Reihe, so dass im fertigen Bild manche Krater doppelte Ränder und andere Artefakte haben.

Die fiktive **Supernova** SN20200427 (vom 27.4.2020) alarmiert alle Astro-Fans via Internet, denn pro Galaxie gibt es nur eine alle ~2-300 Jahre. Das Finale eines Sterns ist intensiv erforscht, unser Beitrag wäre unbedeutend, aber lehrreich. Als „SN-Entdecker“ käme man aber in die Zeitung. Wer das Ereignis nicht auf den ersten Blick erkannt hat - hier ist es noch einmal in voller Größe:



Nun zur Analyse:

Die Helligkeitswerte der Pixel lassen sich in jedem Bildbearbeitungsprogramm leicht mit dem sog. Pipetten-Tool in der Mitte des Scheibchens bestimmen. Der Stern mit der Katalog-Nr. USNO-... ist ein Stern unserer Galaxie und hat die Katalog-Größenklasse<sup>11</sup> von 15.10mag – zwischen der Venus-Leuchtkraft (-4mag!) und diesem Stern liegen ~20 Stufen, jede um den Faktor 2.52 schwächer. Die Pixelwerte für SN2020... sind ein wenig heller, genauere Vergleiche mit mehreren Sternen im Bild ergeben die ~15.0 Größenklasse. Da die Sterne in unserer Nähe sehr genau erforscht sind, können Astronomen ziemlich genau aus dem Spektrum, der Leuchtkraft und der relativen Helligkeit der Quelle auch die jeweilige Distanz zur Erde bestimmen. Bei einem Sterntod<sup>12</sup> eines bestimmten Typs - SN Ia - ist die Explosionshelligkeit in **32.6 Lichtjahren, der Standardentfernung der Astronomie** (~300 Bill.Km!! - eigentlich noch vor unserer „Haustür“),

gigantische ~ **-17mag** stark!! Der Himmel wäre dann ungefähr so hell wie die Dämmerung eine Stunde nach Sonnenuntergang. Wenn solch eine Helligkeit um 32mag schwächer ausfällt, leuchtet sehr schnell ein, dass sich daraus eine riesige Entfernung ableiten lässt. Daher werden Supernovae Typ Ia auch als praktikable Entfernungsanzeiger für die Dimensionen des Alls benutzt. Bei unserem „Highlight“ ergeben sich mittels einer Distanz-Formel<sup>13</sup> ~60 Mill. Lichtjahre!

Schon bietet sich die nächste Überlegung an: was sich in 60 Mill. LJ über eine Strecke von einem halben Vollmonddurchmesser (~15 Bogenminuten) ausdehnt, muss ganz schön groß sein. Die Längsachse der Galaxie ergibt sich aus der Anzahl der Pixeldiagonalen - ein bisschen Pythagoras muss sein - die wiederum z.B. auf dem Mond mit dem selben Teleskop eine bestimmte Strecke abbilden. D.h. also: ein  $3,75^2\mu$ -Pixel hat bei einer Teleskopbrennweite von z.B. 1200mm am Himmel die Kantenlänge von ~0.7 Bogensekunden. In ~60Mill. LJ Entfernung muss dann ein Objekt mit der Ausdehnung von ~15 Bogenminuten nach einer **Strahlensatz**-Berechnung<sup>14</sup> oder der sog. **Linsengleichung** schlicht 100 000 Lichtjahre messen – gleich dem Durchmesser unserer Heimat-Galaxie, hier zu sehen in sogenannter Kantenstellung. Ähnlich wie in unserer Galaxis ist der Kern und die gesamte Längsachse mit einem dicken Staubstreifen „verziert“ (vgl. Bild 2).

Wer bis hierher meinem Anliegen gefolgt ist, hat sicherlich **Lust auf Mehr** oder auf Kritik o.ä. Daher eine Empfehlung zum kostenlosen Googlen, Geldausgeben oder email-Anfragen:

## Literatur und Datenbanken

[www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de)  
 kostenlose, anwendungsbereite  
 Unterrichtsmaterialien als downloads  
 zu NaWi-Themen aller Art; hier [Astronomie](http://www.spektrum.de/lexikon/astronomie)  
[www.spektrum.de/lexikon/astronomie](http://www.spektrum.de/lexikon/astronomie)  
 Umfangreiches Astro-Lexikon  
 von Andreas Müller (MPG-Garching)

**Redshift - Planetariumssoftware**  
Aladin Sky Atlas IRIS

LROC SOHO

**Fachbücher:**



**Keller, H.-U.: Astrowissen**

Leitner, Daniela: Als das Licht laufen lernte  
Kunst- und Fachbuch einer Amateurn,  
geprüft von H.Lesch

Mit herzlichem Dank<sup>15</sup> für  
aufmerksames Lesen und besten  
Grüßen verbleibe ich Ihr/Euer  
[martin.falk@aeg-buchholz.com](mailto:martin.falk@aeg-buchholz.com)  
oder [info@zukunftswerkstatt-  
buchholz.de](mailto:info@zukunftswerkstatt-buchholz.de)

11 Die **Größenklasse**, lat.: Magnitude ist eine Entdeckung der alten Griechen. Modern ausgedrückt besagt sie, dass unser Auge den Stern der 1. Größe 100mal heller empfindet als den Stern der 6.; mathematisch  $2.52^5 \approx 100$

12 Vgl. dazu den Beitrag „Die Stunde der Sterne -Astronomietag2020“ auf [www.zukunftswerkstatt-buchholz.de](http://www.zukunftswerkstatt-buchholz.de)

13 Das **Distanzmodul** berücksichtigt Leuchtkraft, rel. Magnitude und quadratische Lichtabnahme pro Distanz-Einheit.

14 Bitte das Mathe-Buch zu Hilfe nehmen.

15 Mein besonderer Dank gilt Dr. Iris Hinrichs – ZuWe-Buchholz für kritisch sorgfältige Anregungen.