Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 75 (2017)

Heft: 401

Artikel: Das Spektrum des Vollmondes und seine Lichtfarbe : in welchem Licht strahlt der Vollmond?

Autor: Schuler, Lukas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897097

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Spektrum des Vollmondes und seine Lichtfarbe

In welchem Licht strahlt der Vollmond?

Von Dr. Lukas Schuler, Präsident von Dark-Sky Switzerland

Der Vollmond ist bekanntlich kein Freund des Astronomen. Vielleicht ist das auch der Grund, weshalb sich heute kaum noch jemand mit seinem Licht befasst.

Meine Tätigkeit bei Dark-Sky Switzerland fordert mich oft zu Lichtmessungen auf, meistens, weil Quelle oder Ziel zu hell sind, die Normen oder Grenzwerte verletzt werden und Anwohner sich dadurch belästigt fühlen. Professionelle und kalibrierte Lichtmessgeräte kosten fast soviel wie Teleskope. Daher bin ich meinen Kollegen Roland Bodenmann und Stefano Klett für ihre Ausrüstung dankbar. Dazu gehören Luxmeter (Beleuchtungsstärke), Leuchtdichtemessgerät, All-Sky Kamera und Sky Quality Meter (Leuchtdichte) und ein Spektrometer (relatives Spektrum über die Wellenlänge und Berechnung der Farbtemperatur).

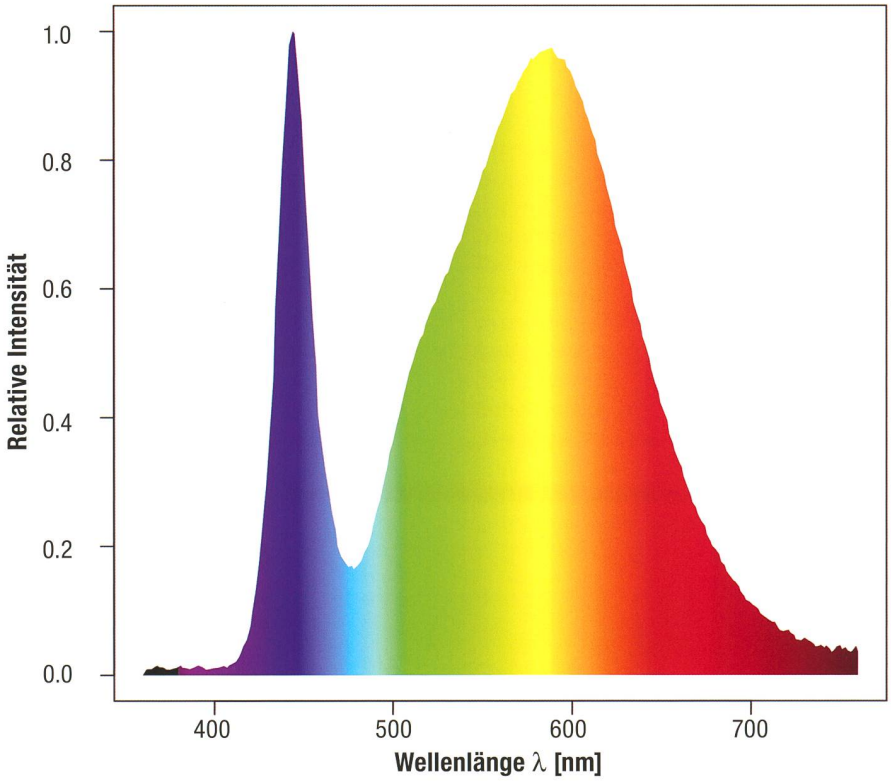

Abbildung 1: Spektrum einer öffentlichen Strassenlampe, Jg. 2017, LED 4000 Kelvin. Der emittierende Peak ist blau (kurzwellig, links). Bei dieser Lampe beträgt der rechnerische Blauanteil 17.8 %. Das sekundäre Spektrum, welches durch eine Beschichtung mit Phosphor entsteht, erzeugt die wärmeren Farbanteile (langwellig, rechts). Diese Umwandlung geschieht heutzutage mit wenigen Prozent Verlust, vor acht Jahren war der Effizienzverlust noch über 10 %.

Letztes Jahr wollte ich die Farbtemperatur einer Leuchtreklame hoch oben an einer Fassade überprüfen. Da dies ohne Kletterei und Hausfriedensbruch gemacht werden sollte, kam ich auf die Idee, Messungen des Spektrums mit meinem Refraktor Borg ED100 (f = 6.4) zu machen, der leicht transportierbar ist. Wie immer erweisen sich solche Erstversuche umständlicher als gedacht, denn das 100 mm Objektiv erspäht trotz Taukappe auch viel Fremdlicht aus der Umgebung, wenn diese städtisch und vernebelt ist. Da die Leuchtreklame um 22:00 Uhr ausgeschaltet wurde, konnte ich danach noch einmal messen, das Rauschsignal subtrahieren und ein bereinigtes Spektrum berechnen, was die Herleitung der Farbtemperatur nach CIE1931 mit der Näherung von McCamy [1,2] zuverlässig ermöglichte.

Warum Farbwahrnehmung und die Farbtemperatur interessieren

Im Verlaufe des Tages wechselt die natürliche Lichtfarbe am Himmel. Am hellen Tag sind wir wach und konsumieren viel mehr blaues Licht als in der Nacht. Das blaue Licht unterdrückt die Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin, so dass wir nicht einschlafen. Umgekehrt sollte man in der Nacht wenig blaues Licht konsumieren, sonst wird die Erholung mangelhaft und ungesund.

Wir Astronomen machen das schon lange richtig. Für das notwendige Licht bei Beobachtungen verwenden wir rote Lampen, denn dadurch verlieren wir die Dunkeladaption weniger. Blaues Licht würde nachts blenden und grell erscheinen.

So sind viele betroffene Bürger entsetzt über die neuen öffentlichen Beleuchtungen mit LED, welche meistens eine Farbtemperatur um 4000 Kelvin oder noch höher aufweisen, so dass man sie grell empfindet. Das widerspricht den Empfehlungen der Internationalen Dark-Sky Gesellschaft (IDA) und der Amerikanischen Ärztegesellschaft (AMA), welche fordern, man solle 3000 Kelvin nicht überschreiten.

Eine Anmerkung zu den Resultaten vorweg: Unsichtbares UV-Licht wird in diesem Bericht in allen Spektren schwarz dargestellt. Leider deckt das Spektrometer nur 360 – 760 nm ab und das letzte Stück sichtbares

Licht (bis 780 nm) fehlt. Die Farbgebung der Spektren berechnen wir nach dem Vorschlag des Astronomen Bruton mit $\gamma = 0.8$ [3].

Anstieg der Lichtverschmutzung

Der italienische Physiker Fabio Falchi hat berechnet, dass die Lichtverschmutzung im Vergleich zu 2015 um den Faktor 2.5 ansteigt, wenn man alle bestehenden Lichtquellen auf LED mit 4000 Kelvin umrüstet, weil auch orange emittierende Natriumdampflampen mit geringem Anteil an blauem Licht (Blauanteil um 4 %) ersetzt würden [4].

Es gibt viele Gründe, die für Aussenbeleuchtung mit tiefen Farbtemperaturen (warmes, gelbes Licht) sprechen:

- Die Lichtverschmutzung ist geringer (langwelliges, rotes Licht verlässt die Atmosphäre wahrscheinlicher, als dass es streut. Man erinnere sich an den Kupfermond während einer totalen Mondfinsternis).
- Am wenigsten Tierarten nehmen das warme Licht (gelb) als Orientierungshilfe [5].
- Der zirkadiane Taktgeber und der Pupillenreflex werden nicht ausgelöst.
- Die natürliche Lichtfarbe der Nacht (Himmel, Sterne, Mondlicht) wird nicht imitiert.

Ein enges, warmes orangegelbes Spektrum um 585 nm wäre also besser, um die Natur und Umwelt möglichst wenig zu stören (die Hochdruck-Natriumdampflampe kommt dem recht nahe) [5]. Entsprechend gelborange LED-Strassenlampen gibt es bereits von mindestens zwei Herstellern, sie werden aber noch zu wenig nachgefragt, bzw. vom Markt abgeschottet.
Im Februar bekam ich das Spektrometer (UPRtek MK350) von Roland Bodenmann wieder einmal in die Hand gedrückt und er bat mich, damit ein sauberes Spektrum des Vollmondes aufzuzeichnen und die Farbtemperatur zu bestimmen.
Mein Plan war schnell gefasst: Mit Hilfe des Borg ED100 das Spektrum des Vollmondes messen und im Orion ein Bild davon veröffentlichen. Eine Reihe von Problemen war jedoch zu überwinden; das Hauptproblem war das Wetter.

Bild: Lukas Schuler

Abbildung 2: LED-Strassenlampen und Vollmond (10. Mai 2017, 21:14 Uhr). V. l. n. r. 4000 Kelvin LED-Strassenlampe (Jg. 2017, Wohnstrasse, für Spektrum siehe Bild 1), aufgehender Vollmond, 5700 Kelvin LED-Strassenlampe (Jg. 2011, Quartierstrasse). Deutlich sichtbare Ähnlichkeit der Lichtfarbe von neuer Strassenlampe und Vollmond. Der Blauanteil der älteren LED rechts ist höher und beträgt 25.8 %.

Der ideale Vollmond lässt auf sich warten

Um den Einfluss der Atmosphäre gering zu halten, wäre eine Messung im Zenit ideal. Im Winter steht der Vollmond bekanntlich bei uns viel näher am Zenit als im Sommer. Doch den Winter hatte ich gerade verpasst und fast ein Jahr wollte ich nicht warten. Die Lunation beträgt zudem im Mittel nur 29 Tage, 12 Stunden und 44 Minuten, somit erreicht der Vollmond seine Phase nicht zwingend in den Nachtstunden. In der Tat lag erst der drittnächste Vollmond wirklich zeitlich günstig, wie Tabelle 1 veranschaulicht.

Und dann spielte oft die Witterung nicht mit

Am 10. März prüfte ich mit Stativ und Fernglas ob eine Mondmessung mit dem Spektrometer gelingen könnte. 5 Lux aus dem Fernglas, eines erkennbaren Spektrums mit Rauschen stimmten mich zuversichtlich.
Am 11. März war ich an einem abgelegenen Ort im Kanton St. Gallen eingeladen und nahm die Ausrüstung mit für einen Erstversuch. Die Wetterprognose liess eine Reise in die Berge nicht zu. Am 12. März, 23:07 Uhr, erreichte ich den Spitzenwert von 72 Lux nach windigem Aufklaren durch ein 40 mm Okular

Theorie

Zeitpunkt des Vollmondes	Elevation	nächste Kulmination	Elevation	Phase
Sonntag, 12. März 2017, 14:23.8	–33.3°	13. März 2017, 00:52.0	45.1°	99.8 %
Dienstag, 11. April 2017, 08:06.8	–10.2°	11. April 2017, 01:17.5	38.2°	99.9 %
Donnerstag, 11. Mai 2017, 00:08.9	+26.1°	11. Mai 2017, 01:28.2	28.5°	99.9 %

Praxis mit besten Werten

Zeitpunkt des Vollmondes	Elevation	Phase	Beleuchtungsstärke
Sonntag, 12. März 2017, 23:07	39.9°	99.9 %	72 lx (Okular 40 mm Plössl)
Sonntag, 9. April 2017, 23:29	40.5°	98.2 %	43 lx (fokal)
Montag, 10. April 2017, 23:58	35.4°	99.8 %	38 lx (fokal)
Donnerstag, 11. Mai 2017, 02:26	27.2°	99.9 %	51 lx (fokal)

Tabelle 1: Die Suche nach einem zeitlich günstigen Vollmond. Quellen: calsky.ch [6] und Stellarium [7].

gemessen. Je mehr Licht das Teleskop vom Mond erhält, je klarer sollte der Himmel sein und umso koaxialer habe ich wohl gemessen (es war nur eine abgestützte Handmessung im Fokus des Okulars).
Am 9. April erreichte ich fokal 43 Lux, am 10. April noch 38 Lux. Am 11. April war das Wetter miserabel (0 Lux).
Nun war im Mai endlich einmal Vollmond zur Nachtstunde angesagt, wenn auch mit kleinstem Durchmesser (29'42.5") für Jahre. Wolkenzüge liessen mich am 11. Mai beinahe im Stich, bis es ab 02:15 Uhr spontan aufklarte. Die beste Messung gelang mit 51 Lux fokal um 02:26 Uhr, immerhin nur 2 Stunden und 17 Minuten aus der Phase.

Lichtverschmutzung

Leider verhinderten am 11. März die Wolken eine vernünftige Messung durchs Fernrohr (Wolken hellen bekanntlich auch durch künstliche Lichtemissionen auf). In den Daten vom 11. Mai findet sich ein feines Rauschen und rotes Licht, welches am 12. März fehlte. Das hat wohl mit dem Weglassen der Okularlinsen und unterschiedlicher Elevation und Lichtverschmutzung zu tun. Aufgrund nicht idealer Wetterverhältnisse hatte ich mein Zuhause nicht mehr verlassen und die Messungen aus der verschmutzten Agglomeration Zürich durchgeführt. Der Fremdlichteintrag dürfte durch den Elevationswinkel über dem Siedlungsraum und klare Luft dennoch geringer sein als das Signal des Mondes.

Vergleich mit der Sonne

Mondlicht ist reflektiertes Sonnenlicht. Also sollten die Spektren von Sonne und Mond doch gleich sein? Nicht ganz, denn das Mondgestein ist wohl kein exakter Spiegel, bekanntlich beträgt die Mondalbedo etwa 0.1. Um eine verlässliche Aussage über den Unterschied zu erhalten, habe ich mit derselben Ausrüstung auch die Sonne gemessen.

So startete eine Reihe von Versuchen, die nicht ganz einfach war:

- **Direktes Sonnenlicht**
  Ist etwas heller, als wofür die meisten lichttechnischen Messgeräte (oft maximal 100'000 Lux) konzipiert sind. Das Messgerät zeigte Error. Aufnahmen durch doppeltes Fensterglas waren bereits möglich, aber wohl unzuverlässig, zumal schräg ausgeführt und ohne Frühlingsputz.

- **Baader Sonnenfilter (Glas, 95mm Öffnung)**
  Von Auge würde man nicht in die Sonne gucken, also hatte ich den Baader Sonnenfilter verwendet. Eine direkte Messung durch das Filter klappte nicht, zu dunkel und verrauscht.
  Also hatte ich wieder das Borg ED100 mit Sonnenfilter verwendet. Die Messung im Fokus gelang vernünftig, zeigte 2806 Lux und viel Wärme. Das Spektrum machte einen veränderten Eindruck.

- **Neutraler Fotofilter D4**
  Solche Ware liegt heutzutage seit Jahrzehnten in den Schubladen der Fotohändler und die sind froh, wenn sich noch jemand als Abnehmer findet. Die Beleuchtungsstärke wäre so gut messbar, doch wie neutral ist der Filter wirklich? Er sieht nämlich grünlich statt grau aus, lieferte allerdings leicht messbare 26839 Lux.

- **Diffus reflektiertes Sonnenlicht**
  Profis messen reflektierte Lichtströme mit Bariumsulfat-Schichten oder modernen und teuren Materialien aus. Eine solche Streuscheibe besass ich früher einmal für ein altes Fernrohr als Projektionsscheibe, für heute genügte mir der Versuch mit einem Blatt Papier. Das Papier zeigte mir, dass der neutrale Fotofilter so schlecht nicht sein kann. Auf beigem Papier sah das Spektrum ähnlich aus, auf weissem Papier wirkte der Blauanteil künstlich erhöht (optische Aufheller).

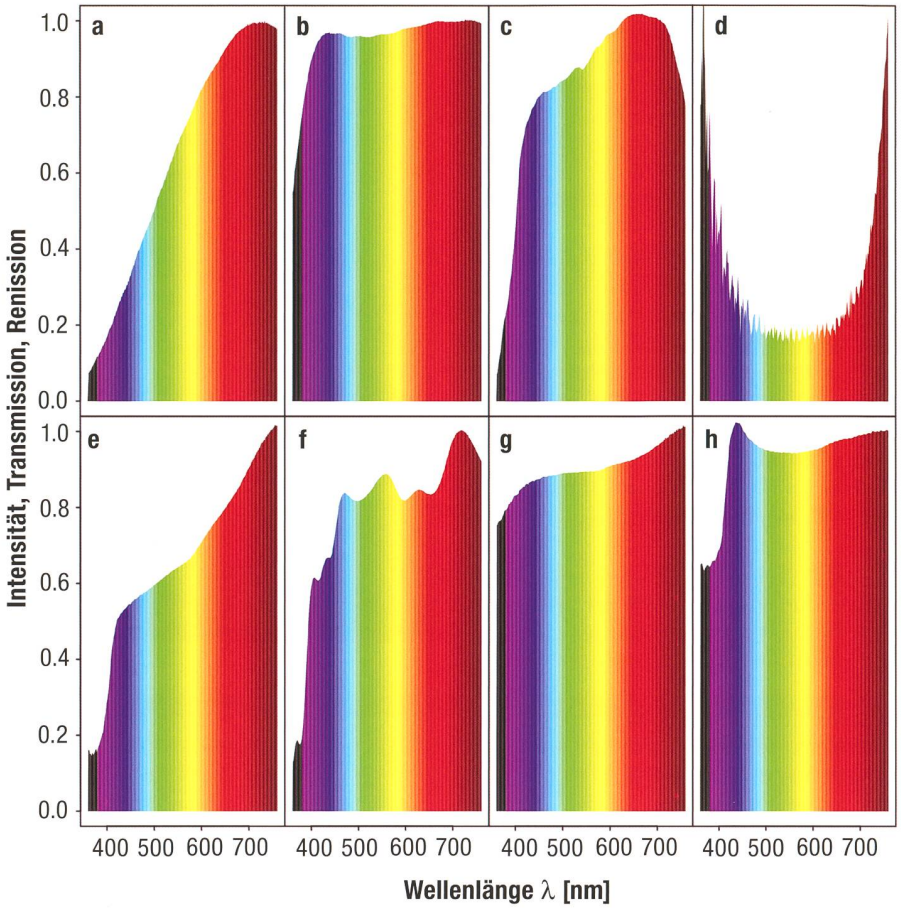

Abbildung 3: Hier sehen wir die Intensität, Transmission oder Remission im Laborversuch (Eichung), und zwar a) Laborinput Fotolampe 3400 Kelvin, b) Transmission Borg ED100 Objektiv, c) Transmission Borg ED100 Objektiv und 40 mm Celestron Nexstar Plössl Okular, d) Transmission Baader Glas Sonnenfilter und Borg ED100 Objektiv, e) Transmission Baader Glas Sonnenfilter, f) Transmission Fotofilter D4, g) Remission Papier DIN A4, BIO TOP 3, 80 g/m² und h) Remission Papier DIN A4, M-Budget, 80 g/m².

Eichung

All die beschriebenen «Filter» lassen den Schluss zu, dass eine saubere Auswertung ohne Überprüfung der Einflüsse der optischen Hindernisse nicht möglich ist. Klar

ist das Fluoritglas eines Refraktors etwas vom besten, das wir für die Astronomie haben, aber auch da könnte ein kleiner Filtereffekt auftreten.
Jede weitere Art der Filterung ist vielleicht nicht gleich über die Wellenlängen verteilt und verhindert die Messung der Strahlungsverteilung, so wie unser Auge oder ein anderes Lebewesen, das Licht aus der Atmosphäre empfängt, bevor es verarbeitet wird.

- **Definierte Lichtquelle und Messung der Hindernisse**
  Mein Vater überliess mir seine alte Halogen-Fotolampe aus den 70er-Jahren mit einer Farbtemperatur von 3400 Kelvin. Diese gibt wie alle Glühfäden ein geeignetes Licht für unseren Laborversuch und konsumiert dabei 1000 Watt (obige LED Strassenlampen brauchen etwa 33 Watt).

Aus dem gemessenen Originalspektrum und den gemessenen Spektren über verschiedene Lichtwege können wir die Transmission oder Remission als Quotient berechnen, wobei uns ein kleines ε die Division durch Null verhindert:

$$\text{Transmissionsgrad, Remissionsgrad} = \frac{\text{Spektrum gem. durch «Filter / Oberfläche»}}{\text{Spektrum der Lichtquelle} + \varepsilon}$$

Folgende Effekte sind in Abbildung 3 erkennbar:

- a) Das typische Glühlampenspektrum verläuft fast stetig und über alle Lichtfarben, es ist daher als Quelle geeignet. Der Farbwiedergabeindex der Lampe erreicht 99, beinahe das Maximum von 100. Der Peak befindet sich bei 733 nm. Die gemessene Farbtemperatur nach CIE1931 beträgt 3464 Kelvin (nahe der Herstellerangabe).
- b) Das Glas des Fluorit-Refraktors lässt mit Ausnahme des UV-nahen Spektrums fast alles gleichmässig durch, immer wieder ein erfreuliches Gerät.
- c) Das mehrfachbeschichtete Plössl-Okular am Refraktor scheint ein rotes Maximum zu haben und schluckt noch etwas mehr Licht vom Refraktor.
- d) Die Eichung mit Sonnenfilter am Refraktor scheint nicht sinnvoll. Das Signal ist verrauscht, die Lampe scheint wohl zu dunkel für den starken Filter oder wir haben den Glühdraht nicht im Fokus erwischt.
- e) Die Messung mit Sonnenfilter ohne Refraktor gelingt im Labor. Wir könnten daraus theoretisch herleiten, wie die Kombination von b) und e) bei d) eigentlich aussehen sollte.
- f) Wie schon visuell vermutet, verhält sich der Fotofilter nicht so neutral wie er heisst.
- g) Die Remission auf ungebleichtem, leicht beigem Papier ist erstaunlich gut, jedenfalls besser als der Foto- oder Sonnenfilter!
- h) Das billigste, weisse Papier enthält wie vermutet optische Aufheller, man sieht sehr gut, wie UV-nahes Licht absorbiert und dafür in blaues umgewandelt wird (ein blaues Maximum statt ein rotes).

Der erwartete Korrekturfaktor ist reziprok zur Transmission oder Remission anzuwenden:

$$\text{Korrekturfaktor} = \frac{\text{Spektrum der Lichquelle}}{\text{Spektrum gemessen durch «Filter»} + \varepsilon}$$

Je höher und gleichmässiger uns die Eichkurve in Bild 3 erscheint, umso eher ist die Ausrüstung für die Korrektur geeignet. Auf unnötige Filter-Kombinationen verzichten wir lieber.
Für die Messung und Korrektur des Sonnenspektrums entscheiden wir uns daher für die Remission auf BIO-TOP-3-Papier (jawohl, die beinahe kostengünstigste Variante g) schneidet für die Sonne am besten ab).
Für die Messung und Korrektur des Vollmondspektrums entscheiden wir uns daher für den Borg ED100 ohne Okular (fokal, Variante b)).
Aufgrund der ermittelten Transmission konnten wir ein bereinigtes Sonnenspektrum berechnen. Das sieht wie in Abbildung 4 aus.
Die vielzitierte Farbtemperatur der Sonne von 5778 Kelvin gilt nur für die Strahlung im All. Durch die irdische Atmosphäre variiert diese.
Das bereinigte Mondspektrum aus dem maximalen fokalen Messwert korrigiert um die Borg ED100-Linsen ist in Abbildung 5 auf Seite 18 dargestellt. Wollte man aus den

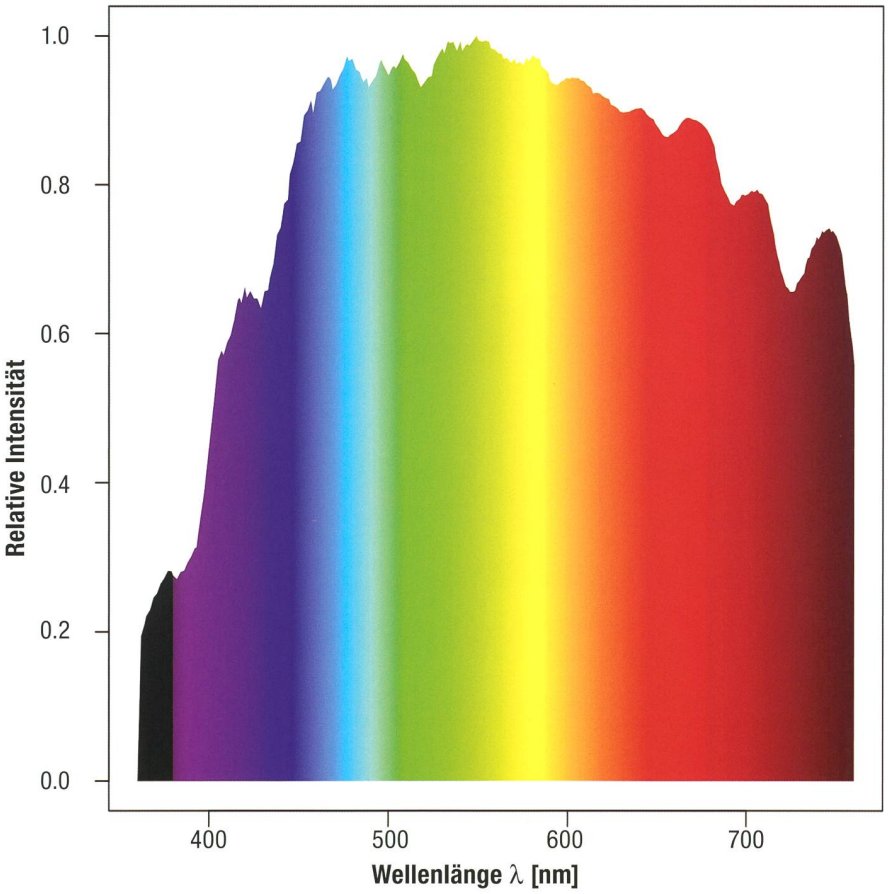

Abbildung 4: Korrigiertes Sonnenspektrum vom 27. Mai 2017, 16:35 Uhr MESZ, Elevation 43.6°. Die berechnete Farbtemperatur beträgt 5219 Kelvin (unkorrigierte Messung auf Papier, 5111 Kelvin).

Spektren von Sonne und Mond die Remission der Mondoberfläche eruieren, kommt man auf das Resultat in Abbildung 6. Hier verlassen mich aber meine naturwissenschaftlichen Kenntnisse, ob das noch sinnvoll ist. Ich bin kein Geologe und kenne mich mit Mondgestein zu wenig aus.
Aus astronomischer Sicht war das jetzt so gut wie eben unter gegebenen Umständen möglich. Aus biologischer Sicht wäre es vielleicht noch hilfreich, die kumulierten Spektren aller Vollmond-Messungen (weniger als 10 Stunden vom Zeitpunkt) mit halbwegs vernünftigen Signalen (ab 25 Lux und fokal gemessen) zu kombinieren und dann als Durchschnitt

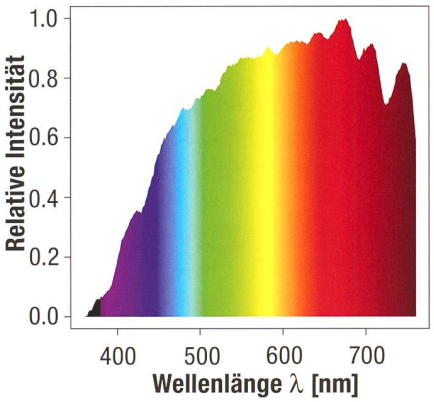

Abbildung 5: Die berechnete Farbtemperatur beträgt 4185 Kelvin (unkorrigierte Messung mit Borg ED100 Linse, 4132 Kelvin).

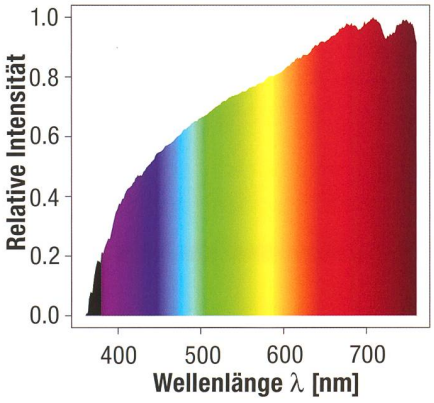

Abbildung 6: Remission der Mondoberfläche aus den Spektren von Sonne und Mond.

auszuwerten. Auch dieses Signal wurde noch um die Filterwirkung des Borg ED100 korrigiert.
Das durchschnittliche und korrigierte Spektrum sieht dann aus wie in Abbildung 7 dargestellt. Der Unterschied zur besten Einzelmessung ist gering. Dafür können wir präzisere Aussagen zur Standardabweichung machen (vgl. Tabelle 3).
Als Richtwert für die Ökologie würden wir also im Sommer diese Farbtemperatur vorschlagen.
Die Abweichung zum einzigen Wert in der deutschsprachigen Wikipedia ist eher klein [8]. Vermutlich wurde damals der Filtereffekt des Objektivs jedoch nicht korrigiert.

Datum	Uhrzeit (MEZ / MESZ)	Urteil
12. März 2017	ab 23:15 Uhr	trotzdem verworfen wegen Wolken (wir sehen Einflüsse im Licht)
10. April 2017	um 23:58 Uhr	nur eine brauchbare Messung vor der aufziehenden Wolkenwand
11. Mai 2017	ab 02:15 Uhr	67 Messungen

Tabelle 2: Beurteilung der Datenlage.

Datum	Zeitraum (MESZ)	Elevation	Farbtemperatur
11. Mai 2017	02:33.5 Uhr ± 8.4 min	Elevation 27.0 ± 1.1°	4175 ± 26 Kelvin

Tabelle 3: Farbtemperatur des Vollmondes.

Schlusswort

Unter den gegebenen Umständen sind wir mit den erreichten Resultaten zufrieden.
Wir konnten zeigen, dass das Mondlicht eine ähnliche Farbtemperatur wie gebräuchliche LED-Lampen aufweist und einen verlässlicheren Wert für das Spektrum und die Farbtemperatur angeben, als wir im Internet gefunden haben.
Die Daten der Spektren für Sonne und Vollmond werden bei Dark-Sky Switzerland nach Publikation dieses Artikels online zur Verfügung gestellt. Suchen Sie einfach nach dem Titel dieses Artikels.
Vielleicht wiederhole ich die Messung im Winter an einem geeigneten abgelegenen Standort zu einem günstigen Zeitpunkt. Ob sich das wirklich lohnt, wird sich spätestens dann weisen. ▮

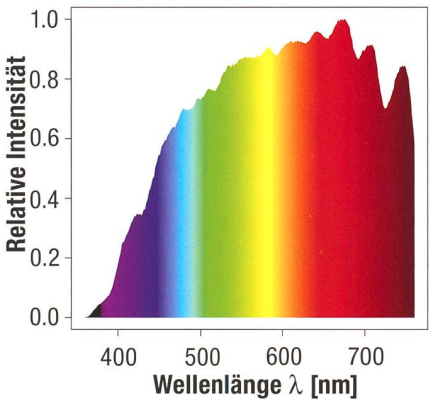

Abbildung 7: Hier sehen wir den geringen Unterschied zur besten Einzelmessung.

Quellen

- [1] C. S. McCamy, «Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates», Color Res. Appl. 17, 142–144 1992.
- [2] C. S. McCamy, «Correlated color temperature as an explicit function of chromaticity coordinates Erratum», Color Res. Appl. 18, 150 1993.
- [3] Dan Bruton: Approximate RGB values for Visible Wavelengths; 1996; Internet: http://www.physics.sfasu.edu/astro/color/spectra.html.
- [4] F. Falchi, P. Cinzano, D. Duriscoe, C. C. M. Kyba, C. D. Elvidge, K. Baugh, B. A. Portnov, N. A. Rybnikova and R. Furgoni. «The new world atlas of artificial night sky brightness». Science Advances, 2, (2016) 01-1084.
- [5] CDC(FR), 2015. «Eclairage du 21eme siècle et biodiversité», les cahiers de BIODIV'2050, available at http://www.mission-economie-biodiversite.com/.
- [6] CalSky.com, Arnold Barmettler, http://calsky.com
- [7] Stellarium, Version 0.12.0, http://stellarium.org
- [8] Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Farbtemperatur, 4120 K für Mondlicht, gemäss Guido Studer, einem Basler Fotografen auf seiner Homepage.