

Komplexe Leistung im Fach Physik

Name: Tim Lauenstein

Klasse: 10/4

Geburtsdatum: 05.07.2000

These:

Mit zunehmender Öffnung von Teleskopen nimmt auch das Auflösungsvermögen zu. Somit werden Objekte detailreicher abgebildet.

Betreuender Lehrer: Herr Martin Hilbig

Abgabedatum: 10.04.2017



1	THESE	3
2	VORWORT.....	3
3	VERGLEICHSOBJEKTE.....	3
3.1	Teleskope im Hauptvergleich	3
3.1.1	Reflektor / Schmidt-Cassegrain-Teleskop	3
3.1.2	Refraktor.....	4
3.2	Nebenvergleich	4
3.2.1	Reflektor / Newton-Teleskop.....	4
4	AUFBAU DER TELESKOPE.....	5
4.1	Hauptvergleich	5
4.1.1	Reflektor / Schmidt-Cassegrain-Teleskop	5
4.1.1.1	Tubus.....	5
4.1.1.2	Schmidt-Platte.....	6
4.1.1.3	Primärspiegel / Hauptspiegel	7
4.1.1.4	Sekundärspiegel /Fangspiegel.....	7
4.1.1.5	Zenitprisma / Zenitspiegel.....	8
4.1.1.6	Fokussierung.....	9
4.1.2	Refraktor.....	9
4.1.2.1	Tubus.....	9
4.1.2.2	Linsen.....	10
4.1.2.3	Zenitprisma / Zenitspiegel.....	11
4.1.2.4	Fokussierung.....	11
4.1.3	Reflektor / Newton-Teleskop	12
5	AUFLÖSUNGSVERMÖGEN DER TELESKOPE	12
6	LICHTSAMMELLEISTUNG DER TELESKOPE	14
7	MAXIMAL SINNVOLLE VERGRÖßERUNG DER TELESKOPE	14
8	PRAKTISCHER VERGLEICH	16
8.1	Hauptvergleich	16
8.1.1	Vorüberlegung	16
8.1.1.1	Vergleich Refraktor (60mm Öffnung) mit einem Schmidt-Cassegrain-Teleskop (150mm Öffnung).....	18
8.1.1.1.1	Mondkraterlandschaften	18
8.1.1.1.2	Stern.....	23
8.1.1.2	Auswertung.....	24
8.2	Nebenvergleich	25
8.2.1	Vorüberlegung	25
8.2.1.1	Vergleich Schmidt-Cassegrain-Teleskop (150mm Öffnung) und Newton-Teleskop (150mm Öffnung).....	26
8.2.1.1.1	Jupiter	26
8.2.1.2	Auswertung.....	27
9	STACKING / NACHSCHÄRFEN VON ASTRONOMISCHEN FOTOS.....	27
10	LITERATURVERZEICHNIS.....	29
11	EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG.....	30

1 These

Mit zunehmender Öffnung von Teleskopen, nimmt auch das Auflösungsvermögen zu. Somit werden Objekte detailreicher abgebildet.

2 Vorwort

In dieser komplexen Leistung wird auf die Funktionsweise von Teleskopen unterschiedlicher Bauweise eingegangen. Dabei soll bewiesen werden, dass ein Teleskop mit größerer Öffnung auch ein höheres Auflösungsvermögen besitzt. Im praktischen Teil werden deshalb zwei unterschiedliche Teleskope miteinander verglichen. Ein Refraktor (Linsenteleskop) wird dabei einem Reflektor (Spiegelteleskop) gegenübergestellt. Spiegelteleskope besitzen normalerweise eine größere Öffnung, wie es auch in diesem praktischen Vergleich der Fall ist.

Um meine These auch wirklich zu bestätigen wird ein drittes Teleskop zum Vergleich hinzugezogen. Dieses hat die selbe Öffnung wie das Spiegelteleskop und soll beweisen, dass man bei gleicher Teleskopöffnung auch gleich viele Details erkennen kann. Beide Teleskope sind zwar Spiegelteleskope, dennoch unterscheiden auch sie sich in ihrem Aufbau. So wird gewährleistet, dass nur die Öffnung verglichen wird, nicht aber die Funktionsweise beider Teleskope.

Der Hauptvergleich findet dennoch zwischen dem Linsenteleskop mit weniger und dem Spiegelteleskop mit mehr Öffnung statt. Der Nebenvergleich mit gleicher Öffnung soll nur bestätigend sein und wird dementsprechend gering ausfallen.

3 Vergleichsobjekte

3.1 Teleskope im Hauptvergleich

3.1.1 Reflektor / Schmidt-Cassegrain-Teleskop

Das Schmidt-Cassegrain-Teleskop, im folgendem oft mit SC-System abgekürzt, ist neu für 598,00 € zu erwerben¹. Mein SC habe ich mit Zubehör für 400,00 € auf Ebay gekauft. Vorher habe ich ein halbes Jahr mit einem Newton-Teleskop² gearbeitet. Das SC besitzt eine Öffnung von 150 mm und eine Brennweite von 1500 mm. Um die SC-Teleskope von Firma Celestron schneller zu unterscheiden, trägt das Schmidt-Cassegrain-Teleskop mit 150 mm

¹ Siehe teleskop-express (http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p7283_Celestron-Evolution-C6---150mm-f-10-Schmidt-Cassegrain---optischer-Tubus.html) Abgerufen am 09.02.2017 (20:00Uhr)

² Siehe 3.2.1 Reflektor / Newton-Teleskop

Öffnung, die Bezeichnung C6. Außerdem besitzt es ein Öffnungsverhältnis von $f/10$ (Brennweite geteilt durch Öffnung). Dieses Öffnungsverhältnis ist typisch für Schmidt-Cassegrain-Teleskope. Mit einem Tubusgewicht von nur 3,7 kg ist es ein sehr leichtes aber dennoch sehr leistungsfähiges Teleskop. Vergrößerungen bis 300-fach sind bei guten Bedingungen durchaus möglich.

3.1.2 Refraktor

Den Refraktor, ebenfalls von Firma Celestron, habe ich für die Zeit meiner KOLEI von einem Freund ausleihen können. Das Teleskop besitzt eine Öffnung von 60mm und eine Brennweite von 700 mm. Die Öffnung ist somit um 60% kleiner als die des Schmidt-Cassegrain. Mit 42,00 €³ ist es auch um einiges billiger als das SC. Das Öffnungsverhältnis ähnelt mit $f/11,7$ dem des Schmidt-Cassegrain. Das Teleskop ist nach seiner Bauform ein Achromat, es besitzt deshalb 2 Linsen, durch die Licht gebrochen wird⁴. Mit einem Gewicht von nur einem Kilo ist der Refraktor sehr leicht. Als Reisetoteleskop ist es daher bestens geeignet.

3.2 Nebenvergleich

3.2.1 Reflektor / Newton–Teleskop

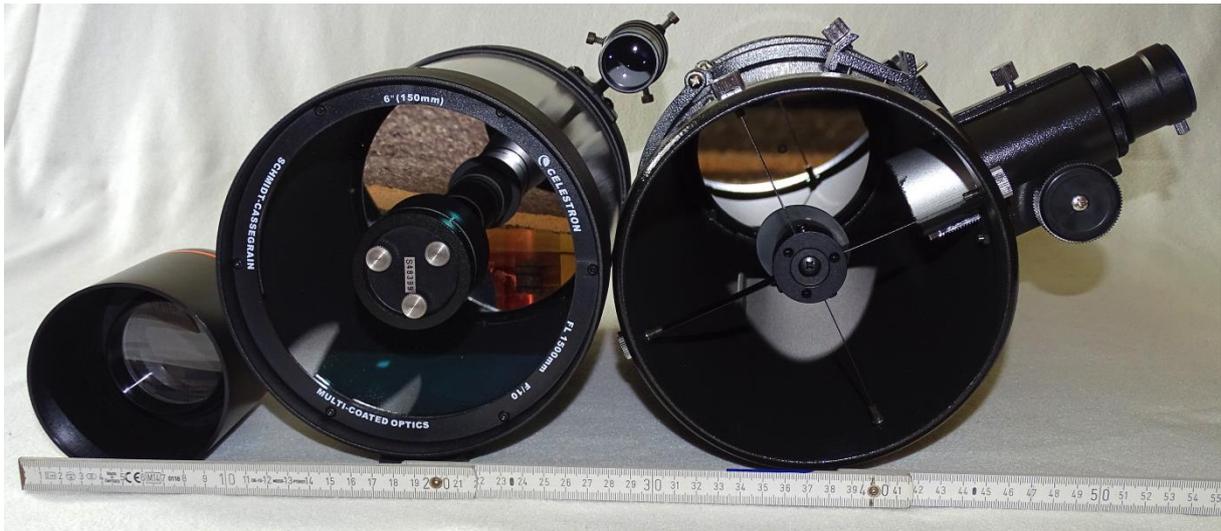
Den Einstieg in die Astronomie fand ich durch ein Newton-Teleskop. Es hat eine Öffnung von 150 mm und eine Brennweite von 750 mm. Durch die große Öffnung musste man keine teuren Linsen verbauen, sondern nur Spiegel, was sich aus dem Kaufpreis auswirkt.

Das SC-Teleskop ist eine Weiterentwicklung des Newton-Teleskops. Um zwei Teleskope mit der gleichen Öffnung zu vergleichen, bieten sich das SC und das Newton-Teleskop an. Beide besitzen eine Öffnung von 150 mm. Das Newton-Teleskop ist für 179,00 € käuflich zu erwerben⁵. Das Öffnungsverhältnis liegt bei $f/5$ und auch mit diesem Teleskop sind Vergrößerungen bis zu 300-fach möglich. Mit einem Gewicht von 5,7 kg ist das Newton-Teleskop nicht gerade leicht. Das Gewicht kommt durch die Länge von 67 cm zustande. Durch die enorme Größe und die schwerfällige Justage an der Montierung, habe ich zum Schmidt-Cassegrain-Teleskop gewechselt.

³ Siehe teleskop-express (http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p2480_Celestron-Refraktor--60-mm-Oeffnung--700-mm-Brennweite---optischer-Tubus.html) Abgerufen am 09.02.17 (21:00Uhr)

⁴ Siehe 4.1.2.2, Linsen

⁵ Siehe teleskop-express (http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p1530_Celestron-Newton-Teleskop-150mm--6---Oeffnung---750mm-Brennweite.html) Abgerufen am 10.02.17 (21:15Uhr)



Teleskope von links nach rechts: Refraktor, Schmidt-Cassegrain-Teleskop, Newton-Teleskop

4 Aufbau der Teleskope

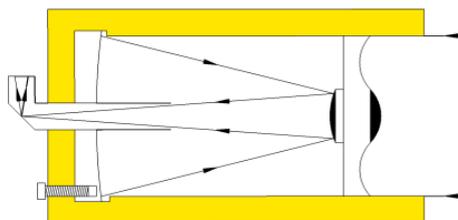
Um die Vor- und Nachteile, sowie die Funktionsweisen der unterschiedlichen Systeme zu verstehen, muss vorerst der Aufbau beider Teleskope erläutert werden. Die Beschreibung der einzelnen Komponenten im Teleskop wird nach dem Strahlengang darin stattfinden. Die optischen Flächen, werden in der Reihenfolge beschrieben, wie das eintreffende Licht auf sie fällt. Mit einer gelben Markierung beim Schmidt-Cassegrain-Teleskop und einer roten Markierung beim Refraktor ist das jeweils beschriebene Bauteil gekennzeichnet.

4.1 Hauptvergleich

4.1.1 Reflektor / Schmidt-Cassegrain-Teleskop

4.1.1.1 Tubus

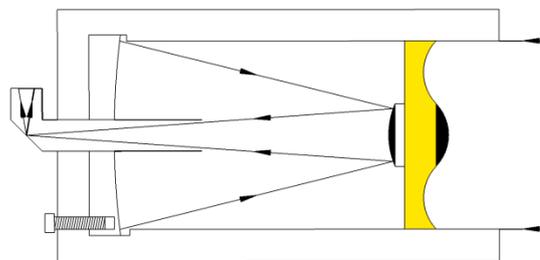
Der Tubus enthält die im System verbauten Spiegel und alle anderen optischen Elemente. Um keine Reflektionen im Tubus zu erzeugen ist dieser im inneren mattschwarz.



4.1.1.2 Schmidt-Platte

Fällt Licht in den Tubus, wird es beim Schmidt-Cassegrain-Teleskop erst die Korrekturplatte passieren müssen. Die Schmidt-Platte, auch Schmidtsche-Korrektionsplatte genannt, dient der Beseitigung sphärischer Aberrationen. Eine sphärische Aberration ist ein Abbildungsfehler. Die eintreffenden Strahlen würden ohne Korrekturplatte nicht im selben Punkt zusammenlaufen⁶. Nahe am Rand einfallende Lichtstrahlen würden in anderer Entfernung fokussiert werden. Objekte würden unscharf werden und Details wären nicht mehr erkennbar. Die Korrekturplatte mit ihrem asphärischen Schliff, durch welche Licht gebrochen und Abbildungsfehler vermieden werden, erlaubt gleichzeitig ein großes Gesichtsfeld⁷.

Schmidt verbaute in die von Cassegrain modifizierte Form des Newton Teleskopes, die von ihm entwickelte Korrekturplatte. Deswegen trägt das Schmidt-Cassegrain-Teleskop auch seinen Namen.



Simulation der Abbildungsqualität mit und ohne Schmidtplatte⁸

⁶ Vgl.: chemgapedia

(http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/geooptik/reflexion2.vlu/Page/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/geooptik/reflexionsgesetz_gekruemmt2.vscml.html) Abgerufen am 05.04.17 (15:23)

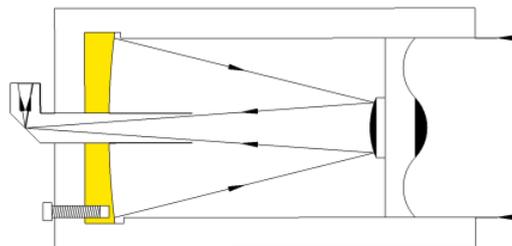
⁷ Vgl.: Wikipedia (<https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Platte>) Abgerufen am 05.04.17 (15:15Uhr)

⁸ Siehe forum-astronomie

(<http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php/ubb/download/Number/22675/filename/Simitohne.jpg>) Abgerufen am 12.03.17 (19:53Uhr)

4.1.1.3 Primärspiegel / Hauptspiegel

Sind die eintreffenden Lichtstrahlen durch die Schmidt-Platte gefallen, treffen sie nun auf einen sphärischen Hohlspiegel. Wie der Name schon sagt, ist dieser nach innen gewölbt, also konkav. Da dieser der Hauptspiegel und somit auch der größte im System ist, wird er

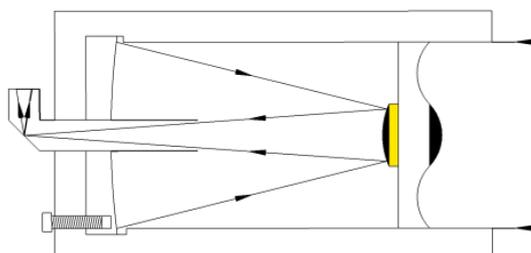


auch Primärspiegel genannt. In Teleskopen werden hauptsächlich 2 Arten von diesen großen Primärspiegeln verwendet. Einerseits gibt es den sphärischen Spiegel, andererseits gibt es einen Parabolspiegel. Beide Spiegel sind konkav, also nach innen gewölbt. Der sphärische Spiegel ist billiger herzustellen, bündelt aber die am Rand einfallenden Strahlen nicht im Brennpunkt. Der Parabolspiegel bündelt alle Strahlen im Brennpunkt. Doch wie vorher beschrieben besitzt das Schmidt-Cassegrain-Teleskop (SC) die Schmidt-Platte, welche den sphärischen Fehler korrigiert und so alle Strahlen im Brennpunkt bündelt.

4.1.1.4 Sekundärspiegel / Fangspiegel

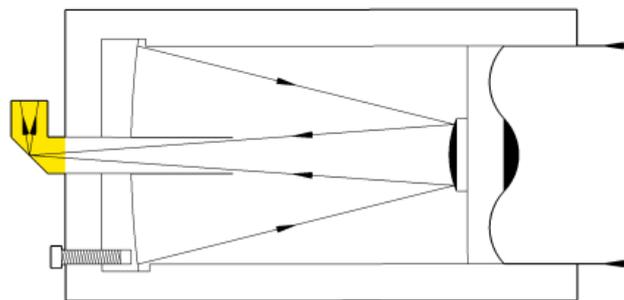
Der Sekundärspiegel ist befestigt an der Schmidt-Platte. Im Gegensatz zum Primärspiegel, der konkav war, ist der Sekundärspiegel konvex, also nach außen gewölbt. Beim Schmidt-Cassegrain-Teleskop ist dieser auch der einzig justierbare Spiegel um eine gestochen scharfe Abbildung zu erhalten. Durch den sphärisch konvexen Fangspiegel kann die Gesamtbrennweite um das Vierfache vergrößert werden.

Fällt das Licht auf den Sekundärspiegel wird es beim Schmidt-Cassegrain-Teleskop durch ein Loch im Primärspiegel zurückgeworfen.



4.1.1.5 Zenitprisma / Zenitspiegel

An einem SC-System ist es notwendig, einen Zenitspiegel oder Zenitprisma anzubringen. Ohne Spiegel oder Prisma müsste man beim Beobachten eine unbequeme Körperhaltung einnehmen, da der Okularauszug nach unten gerichtet wäre. Mit einem Zenitprisma/Zenitspiegel kann das Licht nun um 90° aus der optischen Achse herausgelenkt werden. Dadurch hat man einen bequemen Einblick ins Teleskop und kann stundenlang den Himmel beobachten. Wahlweise kann man den Zenitspiegel bzw. das Zenitprisma auch mit einer Neigung von 45° erwerben.

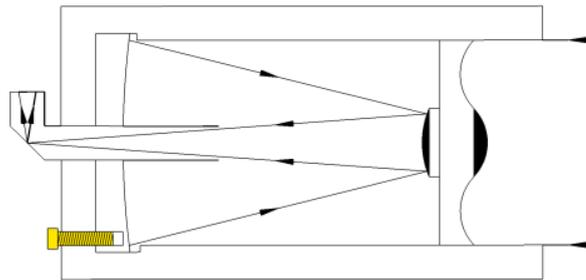


Nun muss aber noch der Unterscheid zwischen einem Zenitspiegel und einem Zenitprisma erklärt werden. Der Effekt des Spiegels und des Prisma ist gleich. Das Bild, welches sie um 90° ablenken, ist zwar aufrecht stehend, jedoch seitenverkehrt. Der Zenitspiegel besitzt im Inneren einen, im 45° Winkel zum einfallenden Licht, angebrachten Spiegel. Je höher der Reflektionsgrad, desto mehr Licht wird reflektiert und desto geeigneter ist der Spiegel für die Astronomie. Da es nur eine Reflektion am Spiegel gibt, fallen optische Fehler dementsprechend gering aus.

Ein Prisma ist ein genau rechtwinklig geschliffener dreieckiger Glaskörper. Die Hypotenuse ist wieder im 45° Winkel zur optischen Achse angebracht. Licht wird nun 3-mal reflektiert. Zweimal an den kurzen, einmal an der langen Seite. Mehr Reflektionen bedeuten mehr optische Fehler. Besonders Farbfehler und der Lichtverlust ist ein großer Nachteil des Prismas. Zenitprismen kann man deshalb nur bei Teleskopen mit einer großen Öffnung empfehlen.

4.1.1.6 Fokussierung

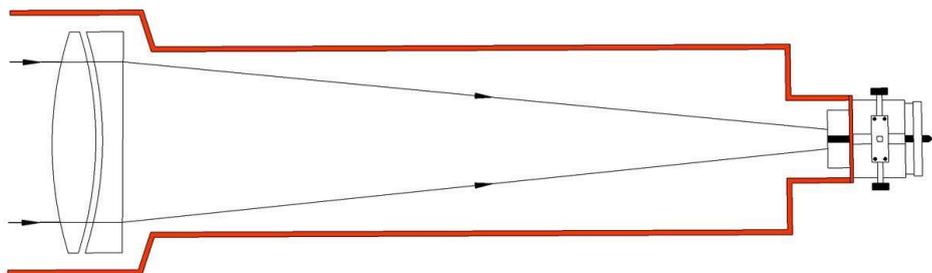
Die Fokussierung beim SC-Teleskop erfolgt über die Verschiebung des Hauptspiegels. Durch die Verschiebung kann es zu einer Verkipfung des Primärspiegels kommen (Spiegelshifting). Schmidt-Cassegrain-Teleskope werden heutzutage aber so hochwertig gefertigt, dass das Spiegelshifting vernachlässigbar ist. Den Fokus reguliert man über ein Stellrad neben dem Zenitspiegel.



4.1.2 Refraktor

4.1.2.1 Tubus

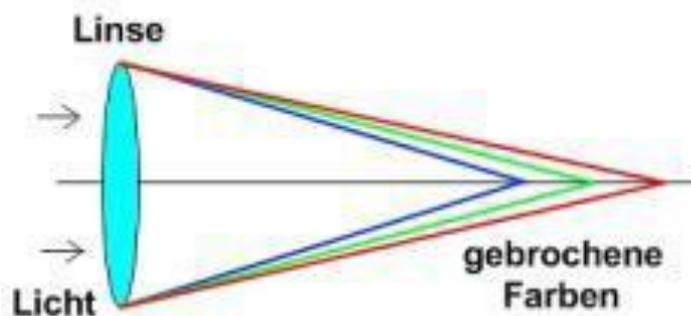
Wie beim Reflektor beinhaltet der Tubus des Refraktors alle optischen Elemente. Auch er ist im Inneren mattschwarz gefärbt um Reflektionen zu vermeiden. Im Gegensatz zu den Reflektoren ist er dünner und wird am Strahleneingang breiter. Dies schützt vor den störenden, seitlich einfallenden Lichtstrahlen, welche beispielsweise von Straßenlaternen ausgehen können.



4.1.2.2 Linsen

Es gibt 3 verschiedene Arten von Refraktoren. Im Aufbau unterscheiden sich diese nur durch die Anzahl der verbauten Linsen.

Im Chromat fällt das Licht nur durch eine Linse, im Achromat durch 2 Linsen und im Apochromat durch 3 Linsen⁹. Allgemein gilt, je mehr Linsen desto mehr Abbildungsfehler werden vermieden. Abbildungsfehler kommen zustande, wenn die eintreffenden Strahlen nicht direkt im Brennpunkt gebündelt werden. Dies ist bedingt durch die unterschiedliche Brechung der Lichtstrahlen in der Linse. Die verschiedenen Farben haben verschiedene Wellenlängen und werden demnach auch unterschiedlich gebrochen.



Strahlengang eines Chromaten¹⁰

Der Chromat, welcher nur eine Linse besitzt, weist die meisten chromatischen Aberrationen (Abbildungsfehler oder auch Farblängsfehler) auf. Der rote Spektralbereich des Lichts ist langwelliger und wird deshalb auch hinter den blauen und grünen Strahlen gebündelt. Kurzwelligere Strahlen (Rot und Grün) werden vor dem Brennpunkt der roten Strahlen gebündelt.

Es gibt aber eine Möglichkeit diese chromatischen Abbildungsfehler zu unterbinden.

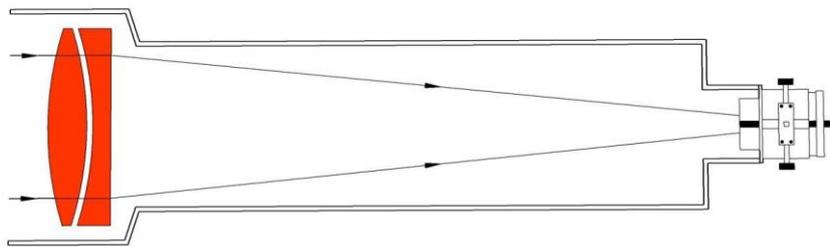
Mithilfe einer zweiten Linse können rote und grüne Strahlen im Brennpunkt zusammenlaufen. Dieser Achromat zeigt aber bei der Beobachtung von Sternen meist einen blauen Rand. Ursache für den Rand ist der blaue Strahlengang welcher nicht im Brennpunkt verläuft.

Im Apochromat wird dieses Problem gelöst. Mit einer dritten Linse sind die chromatischen Aberrationen fast behoben. Alle Strahlengänge laufen nun im Brennpunkt zusammen. Das macht sich auch im Preis für ein solches System bemerkbar. Für ein solches könnte man sich auch einen Kleinwagen leisten.

⁹ Vgl.: sternsucher (<http://www.sternsucher.com/grundlagen/teleskope.html>) Abgerufen am 05.04.17 (15:30Uhr)

¹⁰ Siehe astronomie-tagebuch (<http://www.astronomie-tagebuch.de/refraktor.php>) Abgerufen am 13.03.17 (20:00Uhr)

In meinem Vergleich wird es sich um einen achromatischen Refraktor, also einen mit 2 Linsen handeln.



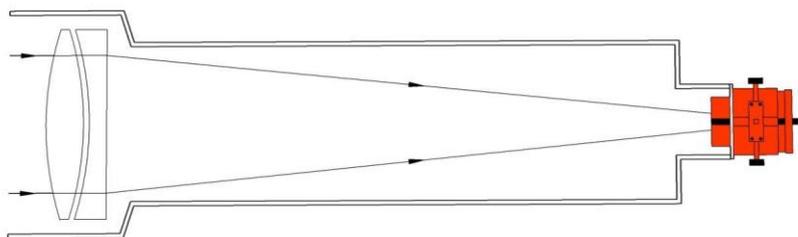
Bei großer Öffnung und hoher Vergrößerung treten die Abbildungsfehler störend hervor. Bei kleinerer Öffnung wird dieser Effekt minimiert, da man durch das begrenzte Auflösungsvermögen keine hohen Vergrößerungen erzielen kann.

4.1.2.3 Zenitprisma / Zenitspiegel

Dieser sitzt wie auch beim Schmidt-Cassegrain-Teleskop am hinteren Ende des Tubus. Die Funktionsweise ist die gleiche wie in der Beschreibung beim SC-System¹¹ erklärt.

4.1.2.4 Fokussierung

Um mit einem Refraktor zu fokussieren, dreht man an den Rädern am Okularauszug. Der daran befestigte Zenitspiegel wird somit bewegt und man kommt in den Fokus. Allerdings ist für diese Art des Fokussierens sehr viel Fingerspitzengefühl gefragt. Der Zahnstangenauszug, welcher in Teleskopen billigerer Bauart verwendet wird, verkippt leicht und versetzt das Teleskop meist in Vibration. Das ordentliche Scharfstellen dauert deshalb sehr lange. Doch auch dafür gibt es eine Lösung, den Crayford-Auszug. Eine glatte Stahlwelle mit geringem Durchmesser wird dabei auf eine Metallfläche gedrückt¹². Meist ist auch eine Untersezung für eine noch genauere Justierung vorhanden. Crayford-Auszüge sind bedingt durch den hohen Preis, nur in hochwertigen Teleskopen zu finden. Der in meinem Vergleich benutzte Refraktor besitzt einen Zahnstangenauszug.



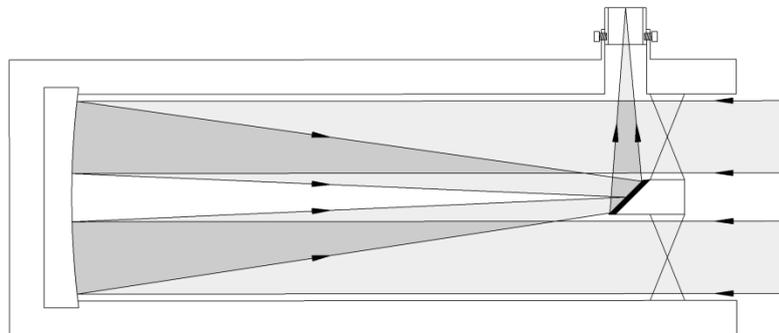
¹¹ Siehe 4.1.1.5, Zenitprisma / Zenitspiegel

¹² Vgl. Wikipedia (<https://de.wikipedia.org/wiki/Okularauszug>) Abgerufen am 05.04.2017 (15:35Uhr)

4.1.3 Reflektor / Newton-Teleskop

Im Nebenvergleich wird nur grundlegend auf den Aufbau des Newton-Teleskops eingegangen. Hierzu ist wichtig zu wissen, dass das SC-System eine überarbeitete Version des Newton ist. Grundsätzlich besteht ein Newton auch aus einem Tubus, mit Haupt- und Fangspiegel. Das Licht wird im Hauptspiegel gesammelt. Dieser ist parabolisch, das heißt, alle parallel zur Achse einfallenden Lichtstrahlen werden auch exakt im Brennpunkt gebündelt.

Das Licht fällt so auf den Fangspiegel, welcher das Licht um 90° in den Okularauszug ablenkt. Dieser Fangspiegel ist ein Planspiegel, er ist also eben. Durch drehen am Okularauszug kommt man in den Fokus.



5 Auflösungsvermögen der Teleskope

Das Auflösungsvermögen bezeichnet die Fähigkeit, zwei eng zusammenstehende Objekte noch voneinander getrennt wahrzunehmen¹³. Doch warum ist ein hohes Auflösungsvermögen bei Teleskopen erstrebenswert? Je höher das Auflösungsvermögen ist, desto besser ist die Abbildungsqualität und die Detailreife. Beispielsweise könnte man mit hoher Auflösung zwei Doppelsterne eines Doppelsternsystems noch unterscheiden. Hingegen wäre bei geringem Auflösungsvermögen nur ein Punkt oder ein eiförmiges Objekt zu erkennen.

Nun muss noch erläutert werden, von welchen Parametern das Auflösungsvermögen abhängt. Mit folgender Formel kann das erklärt werden¹⁴.

¹³ vgl. sternen-surfer (<https://sternen-surfer.jimdo.com/formeln/>) Aufgerufen am 13.03.17 (20:21Uhr)

¹⁴ Siehe clearskyblog (<http://www.clearskyblog.de/2009/09/22/mathematik-in-der-astronomie-teil-4-das-aufloesungsvermoegen-von-teleskopen/>) Aufgerufen am 13.03.17 (21:00Uhr)

$$\alpha = (\lambda / D) * 206265 \quad (206265 = 360^\circ / 2\pi = 57,3^\circ)$$

15

α	Auflösungsvermögen (Bogensekunden in “)
λ	Wellenlänge des Lichts (Wellenlänge in mm), es wird mit dem Mittelwert für visuelle Beobachtung gearbeitet
D	Öffnung des Teleskopes (Öffnung in mm)

Auflösungsvermögen vom Schmidt-Cassegrain/Newton-Teleskop

$$\alpha = (0.000555\text{mm}/150\text{mm}) * 206265$$

$$\alpha = 0,76''$$

Auflösungsvermögen des Refraktors

$$\alpha = (0.000555\text{mm}/60\text{m}) * 206265$$

$$\alpha = 1,90''$$

Diese Berechnung gilt allerdings nur unter Laborbedingungen. Um realistische Werte zu erhalten, sollte man nun die errechneten Bogensekunden mit dem Korrekturfaktor 1,22 multiplizieren.

Für das SC- und das Newton-Teleskop gilt.

$$0,76'' * 1,22 = 0,93''$$

Für den Refraktor erhält man folgenden Wert.

$$1,90'' * 1,22 = 2,32''$$

Nun wurde das Auflösungsvermögen in Winkelsekunden angegeben. Ein Grad am Himmel entspricht 60 Winkelminuten. Eine Winkelminute besteht aus 60 Winkelsekunden. Man könnte deshalb auch sagen, ein Grad am Himmel entspricht 3600 Winkelsekunden und eine Winkelsekunde ist nur 1/3600 eines Grades¹⁶.

Die Einheit Bogensekunde gibt nun den Abstand von zwei Lichtpunkten an, die noch getrennt werden können. Für das SC-System ergab dieser Abstand 0,93“ und für den

¹⁵ Siehe clearskyblog (<http://www.clearskyblog.de/2009/09/22/mathematik-in-der-astronomie-teil-4-das-aufloesungsvermoegen-von-teleskopen/>) Aufgerufen am 06.04.2017 (15:19Uhr)

¹⁶ Vgl.: jahrhundertkomet (<http://www.jahrhundertkomet.de/know-how/astronomie/teleskope.php>) Aufgerufen am 05.04.17 (15:47)

Refraktor 2,32". Daraus folgt, dass das Schmidt-Cassegrain-Teleskop eine bessere Auflösung besitzt, da es mehr Details voneinander unterscheiden kann als der Refraktor.

6 Lichtsammelleistung der Teleskope

Durch die unterschiedliche Öffnung fällt auch unterschiedlich viel Licht in das Teleskop. Um sich eine Vorstellung vom Lichtsammelvermögen zu machen, wird dies mit dem Lichtsammelvermögen des Auges verglichen. Für Teleskope gilt:¹⁷

$$\text{Lichtsammelleistung} = (\text{Öffnung in mm})^2 / 49$$

$$(49\text{mm}^2 = \text{Pupillendurchmesser des menschlichen Auges} = 7^2\text{mm})$$

18

Lichtsammelleistung von SC-System und Newton

$$\text{Lichtsammelleistung} = (150)^2 / 49$$

$$\text{Lichtsammelleistung} = 459 \text{ fache des Auges}$$

Lichtsammelleistung vom Refraktor

$$\text{Lichtsammelleistung} = (60)^2 / 49$$

$$\text{Lichtsammelleistung} = 73 \text{ fache des Auges}$$

Das Schmidt-Cassegrain-Teleskop sammelt demnach 459-mal so viel Licht wie das menschliche Auge und sechsmal so viel Licht wie der Refraktor. Dieser sammelt 73 mal so viel Licht wie das Auge. Deep Sky Objekte, wie Nebel oder Galaxien lassen sich aber viel besser mit dem SC-System beobachten. Da diese Objekte sehr lichtschwach sind, ist eine große Öffnung wichtig.

7 Maximal sinnvolle Vergrößerung der Teleskope

Bevor die maximal sinnvolle Vergrößerung weiter erläutert wird, sollte erst einmal auf die theoretische Grundlage der Vergrößerung eingegangen werden.

¹⁷ Vgl.: sternen-surfer (<https://sternen-surfer.jimdo.com/formeln/>) Aufgerufen am 05.04.17 (15:43Uhr)

¹⁸ Siehe sternen-surfer (<https://sternen-surfer.jimdo.com/formeln/>) Aufgerufen am 06.04.17 (15:22Uhr)

Ich werde recht häufig nach der Vergrößerung, die mein Teleskop mit einem bestimmten Okular erreichen kann, gefragt. Diese lässt sich relativ leicht berechnen. Man muss nur die Brennweite des Teleskops durch die Brennweite des Okulares teilen. Hier ein Beispiel mit einem 12mm Okular und dem SC-System mit 1500mm Brennweite:

$$V = F / f$$

V	Vergrößerung
F	Objektivbrennweite (in mm)
f	Okularbrennweite (in mm)

Beispiel:

$$V = 1500 \text{ mm} / 12 \text{ mm}$$

$$V = 125$$

Man würde somit eine 125-fache Vergrößerung erzielen.

Die maximal sinnvolle Vergrößerung kann man auf verschiedenen Wegen berechnen. Einerseits könnte man mit der Austrittsöffnung des Auges rechnen. Aber die Pupillengröße des Auges verändert sich im fortschreitenden Alter. Die Luftbedingungen ändern sich außerdem ständig und sind nicht konstant. Die sinnvolle Maximalvergrößerung variiert deshalb bei jeder Beobachtungsnacht. Viele Hobbyastronomen benutzen als Richtwert einfach das Doppelte der Teleskop-Öffnung. Aus eigener Erfahrung kann ich diese Methode empfehlen, sind es doch zu viele Umweltfaktoren um genaue Werte zu erlangen.

Für das SC-System ergibt sich eine maximal sinnvolle Vergrößerung von 300-fach. Der Refraktor wird eine maximal sinnvolle Vergrößerung von 120-fach erreichen. Im praktischen Vergleich muss also die Vergrößerung des SC-Teleskops an die Vergrößerung des Refraktors angeglichen werden, da der Refraktor keine so hohen Vergrößerungen erreicht, wie das SC-System.

8 Praktischer Vergleich

8.1 Hauptvergleich

8.1.1 Vorüberlegung

Um aussagekräftige Bilder zu erhalten, wurde bei beiden Teleskopen mit der gleichen Kamera gearbeitet. Dazu nutze ich die Neximage 5. Diese Kamera ist speziell für Teleskope konstruiert und ermöglicht bessere Aufnahmen in der Astrofotografie als mit einer normalen, für den Fotoalltag gebräuchlichen Kamera.



Astrokamera Neximage5

Als Vergleichsobjekt bot sich der Mond mit seinem Detailreichtum an. Folgende Bilder wurden am selben Abend und unter gleichen Bedingungen aufgenommen. Kameraeinstellungen, wie Belichtungszeit und Kontrasteinstellungen wurden nicht geändert (ist dies doch nötig, wird es unter dem Bild vermerkt). So soll vor allem das Lichtsammelvermögen verdeutlicht werden. Die Bilder des Refraktors mit kleinerer Öffnung sind demnach viel dunkler ausgefallen, als die des Reflektors, welcher eine größere Öffnung besitzt und deshalb mehr Licht sammeln kann.

Den Mond habe ich gewählt, um besonders detailreiche Bilder analysieren zu können. Von einer Kraterlandschaft wurden deshalb mehrere Bilder mit den beiden Teleskopen aufgenommen. Die besten Bilder beider Teleskope, bzw. jeweils ein Bild von jedem Teleskoptyp, wurden gegenübergestellt und auf Kontrastunterschiede geprüft.

Das Schmidt-Cassegrain-Teleskop sollte dabei besser abschneiden, da wie oben errechnet, das Auflösungsvermögen bei 0,93 Bogensekunden und das Auflösungsvermögen des Refraktors bei 2,32 Bogensekunden liegt.

Normalerweise stacke ich die Bilder. Das heißt, die besten Bilder werden mithilfe eines Computerprogramms übereinandergelegt. Dieses Summenbild wird dann nachgeschärft und farbkorrigiert. So entstehen sehr detailreiche Bilder, da die atmosphärischen Luftströmungen, welche die Rohbildqualität erheblich beeinflussen, ausgeglichen werden¹⁹. Im praktischen Vergleich meiner Arbeit werden nur Rohbilder verwendet, da eine Bearbeitung möglicherweise die Qualität ungleich beeinflusst.

Jeweils zwei Vergleichsbilder werden mit gleicher Vergrößerung aufgenommen. Zum Abschluss des Hauptvergleiches werde ich einen Stern fotografieren. Auch hier werde ich die Kameraeinstellungen nicht ändern. Ich vermute, dass der fotografierte Stern durch den Refraktor lichtschwacher abgebildet wird. Beim SC-System hingegen, wird durch die Öffnung mehr Licht gesammelt. Der Stern müsste somit heller erscheinen.

¹⁹ Siehe 9 Stacking/ Nachschärfen von astronomischen Fotos

8.1.1.1 Vergleich Refraktor (60mm Öffnung) mit einem Schmidt-Cassegrain-Teleskop (150mm Öffnung)

8.1.1.1.1 Mondkraterlandschaften

Mondkraterlandschaft 1

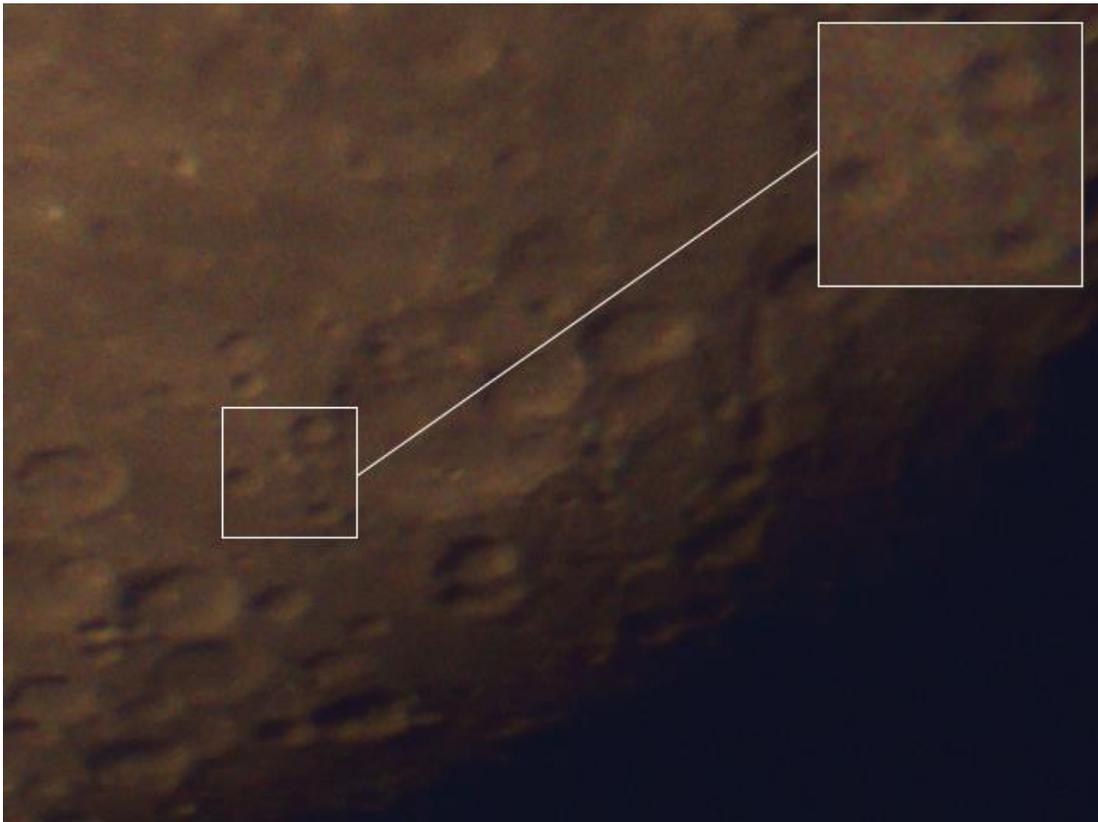


Refraktor /60 mm Öffnung 13.02.2017 21:47Uhr



Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung 13.02.2017 22:44Uhr

Mondkraterlandschaft 2

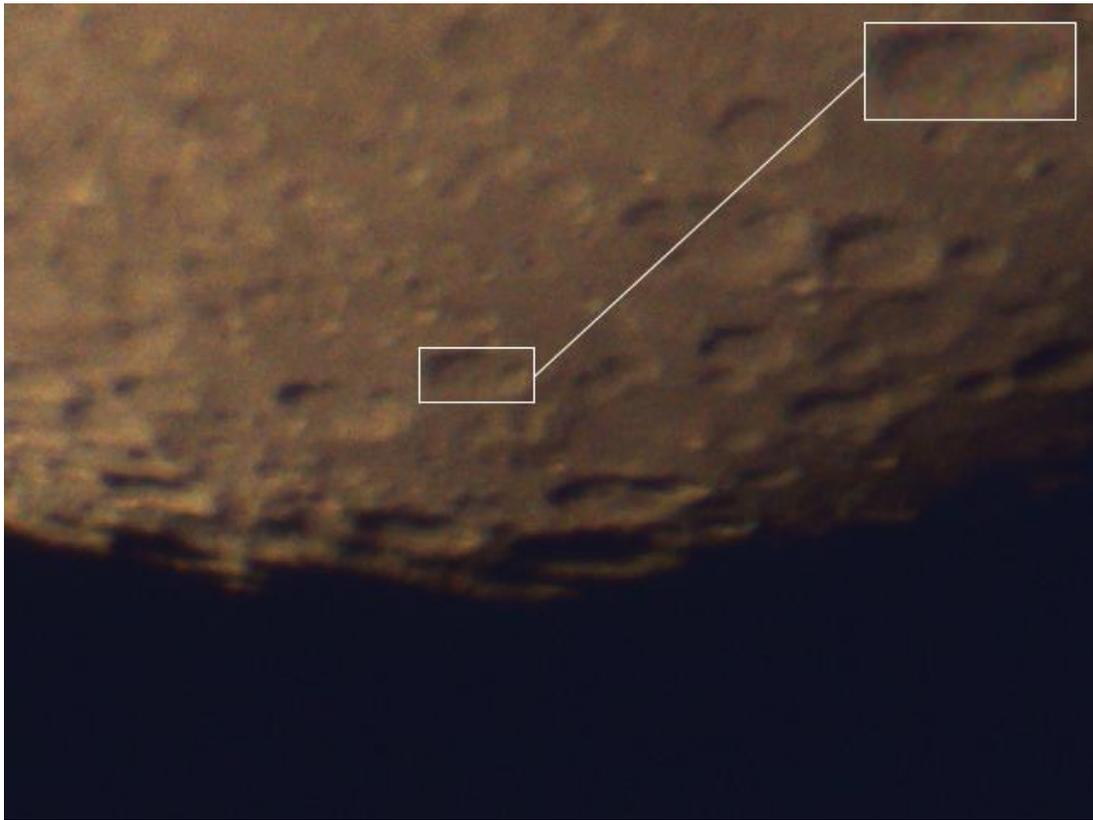


Refraktor / 60mm Öffnung 13.02.2017 21:37Uhr



Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung 13.02.2017 22:52Uhr

Mondkraterlandschaft 3



Refraktor / 60mm Öffnung 13.02.2017 21:52Uhr

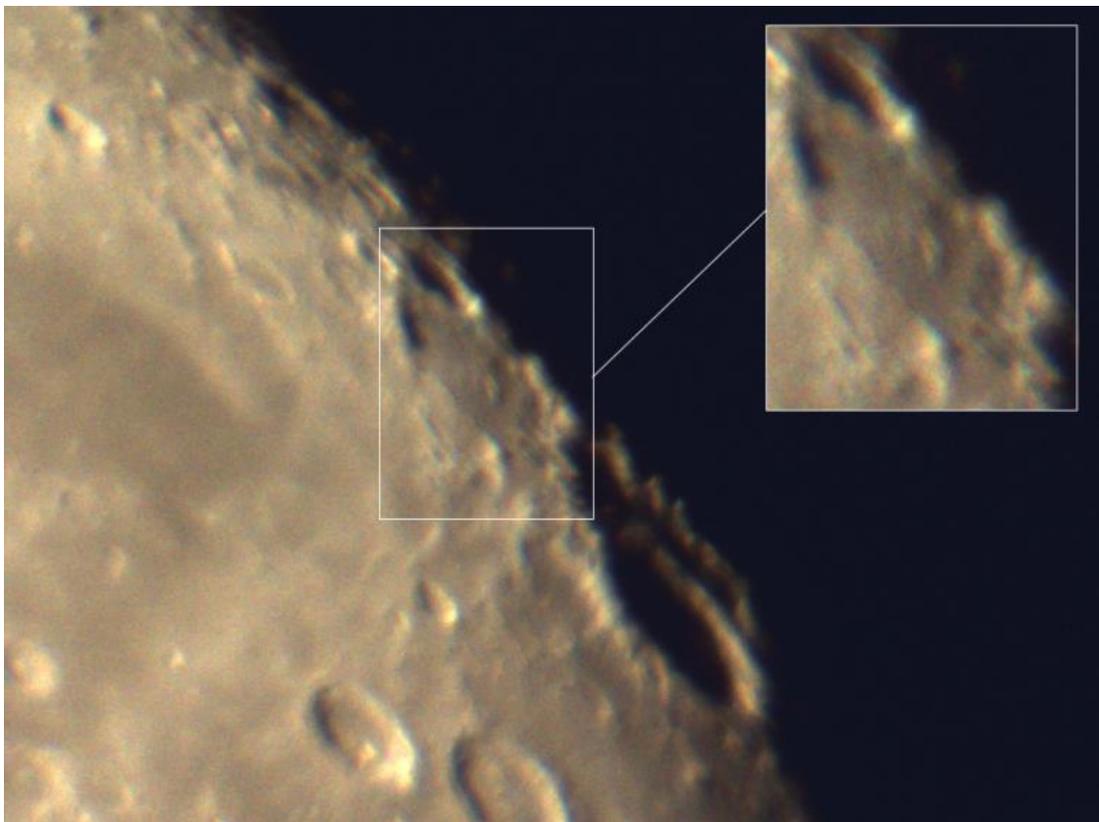


Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung 13.02.2017 22:58Uhr

Mondkraterlandschaft 4

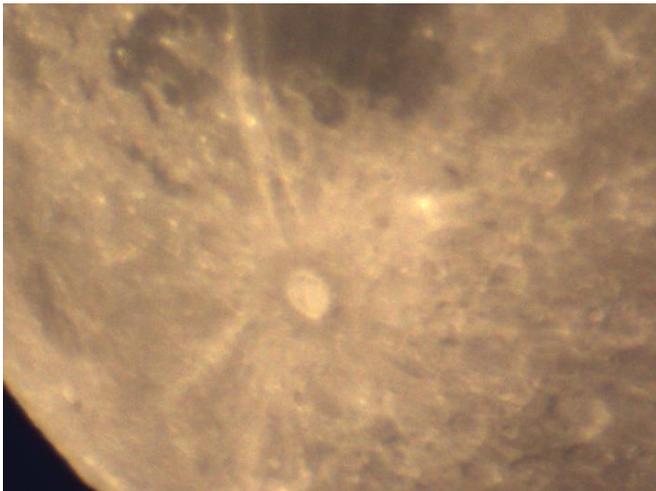


Refraktor / 60mm Öffnung 13.02.2017 21:57Uhr

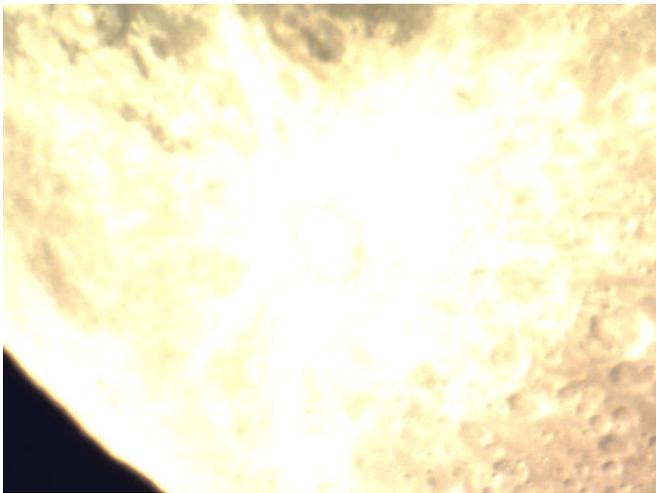


Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung 13.02.2017 23:00Uhr

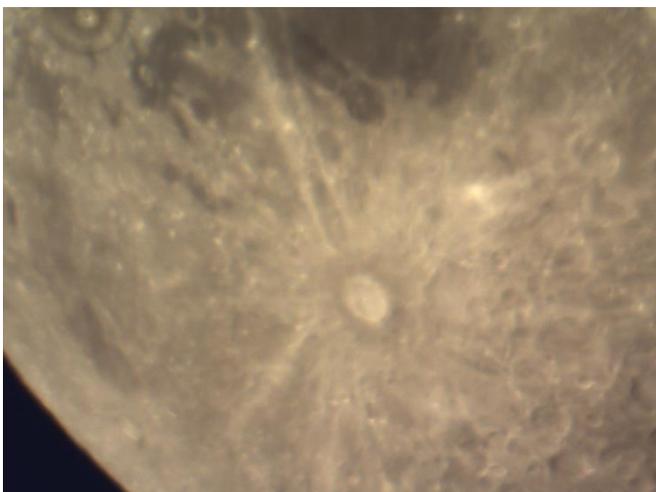
Mondkraterlandschaft 5



Refraktor / 60mm Öffnung 13.02.2017 22:11Uhr



Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung / bei gleichen Kameraeinstellungen wie beim Refraktor 13.02.2017 22:54Uhr



Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung, bei optimierten Kameraeinstellungen / Reduzierung der Belichtung 13.02.2017 22:55Uhr

8.1.1.1.2 Stern
Stern 1



Refraktor / 60mm Öffnung 13.02.2017 22:21Uhr



Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung 13.02.2017 23:05Uhr

8.1.1.2 Auswertung

Alle Fotos des SC-Systems sind deutlich heller als die des Refraktors. Meine Vermutung hat sich somit bestätigt. Besonders klar wird das am Beispiel des Sterns. Obwohl die gleiche Vergrößerung gewählt wurde, ist der Stern durch den Refraktor deutlich dunkler und deshalb auch kleiner abgebildet.

Für lichtschwache Deep Sky Objekte ist der Refraktor deshalb nicht geeignet. Durch die geringe Lichtsammelleistung sind interstellare Nebel kaum zu erkennen. Durch das Schmidt-Cassegrain-Teleskop erkennt man sogar die Strukturen diverser Nebel. Im Refraktor ist nur ein diffuser Fleck zu erkennen. Diese Erkenntnis stütze ich auf visuelle Beobachtungen mit beiden Teleskopen.

Bei Mondkraterlandschaft 5 wird klar, dass das Foto des Schmidt-Cassegrain-Teleskops überbelichtet ist. Um ein detailreiches Bild zu erhalten, musste ich deshalb die Belichtungszeit verkürzen. Aber auch das überbelichtete Bild liefert ein aussagekräftiges Ergebnis. So wird der enorme Unterschied in der Lichtsammelleistung der Teleskope verdeutlicht.

Auch in Bezug auf das Detailreichtum der Fotos gibt es Unterschiede. Alle Fotos der Mondkraterlandschaften, besonders die von Mondkraterlandschaft 1 und 4, weisen auf eine bessere Abbildungsqualität des Schmidt-Cassegrain-Teleskops hin. Während man auf den Fotos des Refraktors einzelne Details nicht mehr wahrnehmen kann, treten diese auf Fotos des SC-Systems deutlich hervor.

Mondkraterlandschaft 1 bietet hierbei ein gutes Beispiel. Durch den Refraktor sieht man den gekennzeichneten Krater zwar, aber keine Details in diesem. Das SC-System löst auch noch zwei Ausbuchtungen und eine Eindellung darin auf.

Auch in allen anderen Vergleichsbildern schneidet der Refraktor schlechter ab als das SC-System. In Mondkraterlandschaft 2 und 3 löst der Refraktor einzelne Krater schlechter auf, als das Schmidt-Cassegrain-Teleskop.

Mondkraterlandschaft 4 zeigt durch das Schmidt-Cassegrain-Teleskop noch Strukturen am Kraterrand. Durch den Refraktor werden diese Strukturen nicht abgebildet. Besonders gut erkennt man den Unterschied, wenn man die aufgezoozten Bilder, oben rechts in der Ecke, betrachtet. Die Auflösung des Refraktors ist dabei erkennbar schlechter.

Meine These, dass das Auflösungsvermögen von Teleskopen durch eine größere Öffnung steigt, ist somit bewiesen.

Die Optik bestimmt das Auflösungsvermögen der Objekte, daher die damit sichtbaren Details.

8.2 Nebenvergleich

8.2.1 Vorüberlegung

Im Hauptvergleich wurde anhand von Fotos bewiesen, dass der Detailreichtum von Fotos mit der Öffnung der Teleskope zunimmt. Um den Hauptvergleich zu bestätigen, müssten bei gleicher Öffnung auch etwa gleich viele Details beobachtbar sein. Durch die große Öffnung beider Teleskope stellen hohe Vergrößerungen diesmal kein Problem dar. Als Vergleichsobjekt wurde deshalb nicht der erdnahe Mond, sondern der weiter von der Erde entfernte Planet Jupiter, gewählt.

Allerdings wirken Luftströmungen bei solch großen Vergrößerungen, wie sie bei der Beobachtung von Jupiter gewählt wurden, sehr störend.

Einzelne Bilder waren deshalb nicht vergleichbar. Ich habe daher jeweils ein Video aufgenommen, es gestackt, also die besten Bilder übereinandergelegt, und dieses Summenbild anschließend nachgeschärft.

Jupiter ist zurzeit (Stand Januar/Februar 2017) erst ab 01:00 Uhr zu beobachten. Durch schlechte Wetterbedingungen an den Wochenenden, war ich gezwungen die Vergleichsbilder in der Woche aufzunehmen.

Um doch ein wenig Schlaf zu bekommen, wurde deshalb in 2 Nächten jeweils ein Video von Jupiter, mit jedem Teleskop aufgenommen. Die Qualität der Bilder wurde also durch unterschiedliche Luftbedingungen (Seeing) beeinflusst.

Auch bei der Anzahl der gestackten Bilder, hat es geringe Unterschiede gegeben.

Die Rotation Jupiters kann man auch nicht vernachlässigen. Auf den Vergleichsfotos wird man deshalb verschiedene Ansichten des Gasplaneten sehen. Abweichungen in den Schärfe-Faktoren des Bearbeitungsprogramms haben die Bilder zusätzlich beeinflusst.

Trotz dieser Störfaktoren sieht man die Wolkenbänder Jupiters auf beiden Fotos im gleichem Maße.

8.2.1.1 Vergleich Schmidt-Cassegrain-Teleskop (150mm Öffnung) und Newton-Teleskop (150mm Öffnung)

8.2.1.1.1 Jupiter

Jupiter 1



Schmidt-Cassegrain-Teleskop / 150mm Öffnung



Newton-Teleskop / 150mm Öffnung

8.2.1.2 Auswertung

Meine Vergleichsbilder zeigen das erwartete Ergebnis. Auf beiden Bildern erkennt man die Wolkenbänder Jupiters. Das Seeing, also die Luftqualität war in beiden Nächten etwa gleich. Die Lufttemperatur lag in beiden Nächten unter 0°C.

Beide Bilder sind gestackt aus etwa 10% der besten 700 Bilder. Da das Newton-Teleskop nur die Hälfte der Brennweite des SC besitzt, musste ich den Bildausschnitt von Jupiter bei diesem noch nachträglich vergrößern. So sieht man Jupiter auf beiden Bildern in gleicher Größe.

Besonders die Farbunterschiede fallen auf. Sind es im Vergleichsbild des SC-Teleskops rote und weiße Wolkenbänder, so sieht man im Vergleichsbild des Newton-Teleskops diese in den Farben Weiß und Braun. Tatsächlich entsprechen die, durch das Schmidt-Cassegrain-Teleskop beobachteten Farben, der wirklichen Farberscheinung Jupiters.

Allerdings habe ich die Farbeinstellungen der Kamera aus Erfahrungsberichten in AstroForen, an die des Schmidt-Cassegrain-Teleskop angepasst. Mit den richtigen Kameraeinstellungen für das Newton-Teleskop, würde sicherlich auch dieses, die richtigen Farben Jupiters wiedergeben.

Die Farbunterschiede sind demnach vernachlässigbar. Vielmehr muss auf die Kontrastreiche des Planeten in beiden Fotos geachtet werden. Der praktische Vergleich zeigt, dass es dabei keine Unterschiede auf beiden Fotos gibt.

Somit wäre bewiesen, dass bei gleicher Teleskopöffnung auch derselbe Detailreichtum erkennbar ist. Dass Auflösungsvermögen und die Größe der Teleskop-Öffnung in engem Zusammenhang stehen, ist wiederholt bestätigt worden.

9 Stacking / Nachschärfen von astronomischen Fotos

Als Zusatz möchte ich das Stacking näher erläutern und seine Wichtigkeit bei der Bildbearbeitung von astronomischen Aufnahmen hervorheben.

Nimmt man Videos von Planeten oder dem Mond auf, so wirken die Luftunruhen sehr störend. Durch die hohen Vergrößerungen, welche mit Kameras durch das Teleskop erzielt werden, tritt der Effekt der Abbildungsverzerrung hervor. Die Folge ist, dass beispielsweise der Planet Jupiter ständig seine Form verändert. Mal ist er ein Ei, mal ist er rund, Sekunden später kann er wieder in eine Richtung verzerrt werden. Dasselbe passiert mit der Mondoberfläche. So variiert auch die Schärfe der Einzelbilder. Um ein möglichst gutes Resultat zu erhalten, bearbeitet man nur die scharfen Bilder mit einem Stacking-Programm.

Ich benutze AutoStakkert. Es zerlegt das Video in Einzelbilder und zentriert jedes Foto nach einem von mir festgelegten Ausrichtungspunkt. Das heißt, Details von Jupiter oder Mond befinden sich nun zu jeder Zeit des Videos am gleichen Punkt. Ungenauigkeiten in der Nachführung der Montierung werden ausgeglichen.

Der nächste Schritt ist das eigentliche Stacking. Dabei legt man einen prozentualen Wert, der zu stackenden Bilder fest. Das Programm legt nun den vorher definierten Anteil der besten Bilder übereinander. Es werden so nur die besten Bilder verarbeitet.

In einem weiteren Schritt erfolgt das Nachschärfen des Summenbildes. Dazu verwende ich RegiStax. Durch verschiedene Filter kann man den Kontrast enorm steigern, die Bildqualität mit anderen, genau gegenteilig wirkenden Filtern allerdings aufrechterhalten. So entsteht ein sehr detailreiches Bild, welches sich von den Rohbildern enorm abhebt.



Mein Bearbeitungsvorgang von Jupiter, zusammengefasst in einem Schema

10 Literaturverzeichnis

Texte:

http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p7283_Celestron-Evolution-C6---150mm-f-10-Schmidt-Cassegrain---optischer-Tubus.html Abgerufen am 09.02.2017 (20:00Uhr)

http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p2480_Celestron-Refraktor--60-mm-Oeffnung--700-mm-Brennweite---optischer-Tubus.html Abgerufen am 09.02.17 (21:00Uhr)

http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p1530_Celestron-Newton-Teleskop-150mm--6---Oeffnung---750mm-Brennweite.html Abgerufen am 10.02.17 (21:15Uhr)

http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/geoptik/reflexion2.vlu/Page/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/geoptik/reflexionsgesetz_gekruemmt2.vscml.html
Abgerufen am 05.04.17 (15:23)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schmidt-Platte> Abgerufen am 05.04.17 (15:15Uhr)

<http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php/ubb/download/Number/22675/filename/Simitohne.jpg> Abgerufen am 12.03.17 (19:53Uhr)

<http://www.sternsucher.com/grundlagen/teleskope.html> Abgerufen am 05.04.17 (15:30Uhr)

<http://www.astronomie-tagebuch.de/refraktor.php> Abgerufen am 13.03.17 (20:00Uhr)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Okularauszug> Abgerufe am 05.04.2017 (15:35Uhr)

<https://sternen-surfer.jimdo.com/formeln/> Aufgerufen am 13.03.17 (20:21Uhr)

<http://www.clearskyblog.de/2009/09/22/mathematik-in-der-astronomie-teil-4-das-aufloesungsvermoegen-von-teleskopen/> Aufgerufen am 13.03.17 (21:00Uhr)

<http://www.jahrhundertkomet.de/know-how/astronomie/teleskope.php> Aufgerufen am 05.04.17 (15:47)

<https://sternen-surfer.jimdo.com/formeln/> Aufgerufen am 05.04.17 (15:43Uhr)

<http://www.clearskyblog.de/2009/09/22/mathematik-in-der-astronomie-teil-4-das-aufloesungsvermoegen-von-teleskopen/> Aufgerufen am 06.04.2017 (15:19Uhr)

<https://sternen-surfer.jimdo.com/formeln/>) Aufgerufen am 06.04.17 (15:22Uhr)

Bilder:

<http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php/ubb/download/Number/22675/filename/Simitohne.jpg> Abgerufen am 12.03.17 (19:53Uhr)

11 Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, die vorliegende Hausarbeit selbständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Literaturen angefertigt zu haben.

Bannewitz, den 08.04.2017

A handwritten signature in blue ink that reads "Tim Lauenstein". The signature is written in a cursive style with a large initial 'T'.

Tim Lauenstein