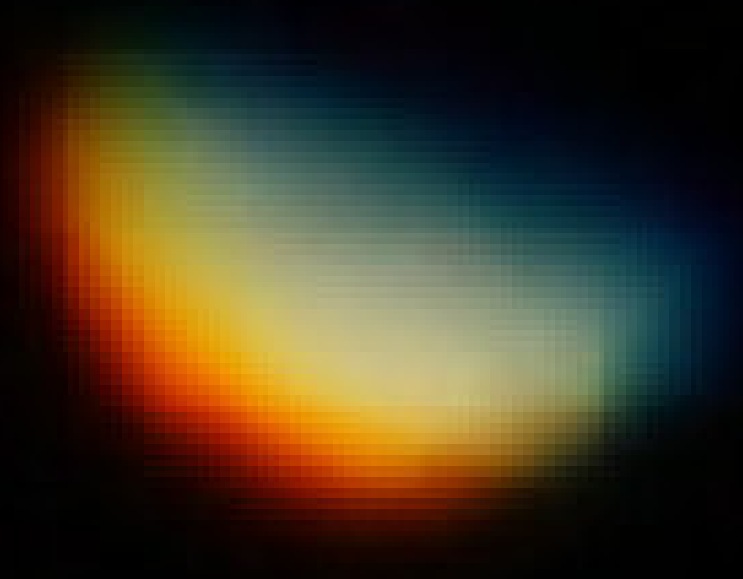
Vivien und Christina Picard

Lichtbrechung in der Atmosphäre

Schwerpunkt: Atmosphärische Dispersion



Vivien und Christina Picard
Mühlenberg 3
42349 Wuppertal
vivien.picard@outlook.de; christina.picard@outlook.de
Jahrgangsstufe Q1

Im Rahmen des Projektkurses Astronomie 2016/2017
Kursleitung: Bernd Koch
Abgabe: 1. Juni 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: Warum wir den Projektkurs Astronomie gewählt haben 1
2. Aufgabenstellung 2
3. Theoretische Grundlagen zum Thema 3
   3.1. Experiment zum Beweis der Welleneigenschaften des Lichtes 3
   3.2. Refraktionseigenschaften 4
   3.3. Dispersionseigenschaften 6
4. Phänomene im erdnahen Raum 7
   4.1. Lichtbrechung in Eiskristallen 7
      4.1.1. 22°/46°-Halo 8
      4.1.2. Zirkumzenital- und Zirkumhorizontalkreis 9
      4.1.3. Nebensonne 10
      4.1.4. Lichtsäule 11
   4.2. Lichtbrechung in Regentropfen 12
      4.2.1. Regenbogen 12
      4.2.2. Mondregenbogen 14
      4.2.3. Weißer Regenbogen 15
   4.3. Phänomene durch Lichtbeugung 16
      4.3.1. Aureole und Korona 16
      4.3.2. Glorie 18
      4.3.3. Brockenhexe 19
   4.4. Lichtbrechung durch die Atmosphäre 20
      4.4.1. Warum ist der Himmel blau? 20
      4.4.2. Der Grüne Blitz 22
5. Experiment zur atmosphärischen Dispersion 23
   5.1. Vorbereitung des Experiments 23
      5.1.1. Atmosphärische Refraktion 23
      5.1.2. Atmosphärische Dispersion 25
   5.2. Experimenteller Aufbau 26
      5.2.1. Celestron 11 27
      5.2.2. Canon EOS 450D 28
   5.3. Durchführung 29

5.4. Auswertung 30
5.4.1. Erstellen einer Tabelle mit Excel 30
5.4.2. Ermittlung des Höhenwinkels 31
5.4.3. Abstand messen 32
5.4.4. Maßstab ermitteln 33
5.4.5. Diagramm erstellen 34
5.4.6. Ausgleichsgerade bestimmen 35
5.4.6.1. Mit der Trendlinie von Excel 35
5.4.6.2. Mit der Linearen Regression und dem Prinzip der kleinsten Quadrate 36
5.4.7. Fehlerbetrachtung 37
5.4.8. Neue Ausgleichsgerade mit der linearen Regression bestimmen 38
5.5. Endergebnis 39
6. Quellenangabe 40
7. Abbildungsverzeichnis 41
8. Danksagung 44
9. Abschlusserklärung 45

1. Einleitung

Der Weltraum fasziniert die Menschen schon seit Jahrhunderten, sei es in der Astronomie, in der Astrologie, oder einfach nur, weil der Nachthimmel so besonders aussieht.
Auch erforscht wird das Weltall seit Generationen. Das erste Teleskop wurde von Hans Lipperhey bereits um das Jahr 1608 erfunden. Damit nahm die Weltraumforschung schon ihren Anfang. Seitdem hat sie sich stetig weiterentwickelt und uns immer mehr Einblick in unser nahes und fernes Umfeld sowie in unsere Entstehung gegeben. Trotz dieser intensiven Forschung ist uns nur ein Bruchteil des Universums bekannt und ein großer Teil wird wohl für immer unentdeckt bleiben.
Auch uns hat dieses Thema schon immer angesprochen, weshalb wir uns bereits früh damit beschäftigt haben
Als Schülerinnen des CFG haben wir die Möglichkeit, mit der gut ausgestatteten astronomischen Technik arbeiten zu können. In der sechsten Klasse haben wir an einem eintägigen Astrofotografie-Kurs bei Herrn Winkhaus teilgenommen. Dies hat uns sehr inspiriert, weitere Faktoren kamen hinzu. Daher haben wir schlussendlich den Projektkurs Astronomie gewählt.
Für unser Thema haben wir uns entschieden, da es ein sehr erdbezogenes Thema ist. Wahrscheinlich haben sich die meisten Menschen, genau wie wir, bevor wir den Projektkurs Astronomie gewählt haben, noch nie Gedanken über das gemacht, was wir in unserer Arbeit behandeln. Allerdings ist es, wenn man sich damit beschäftigt, sehr plausibel und äußerst interessant, denn es geht um Phänomene im erdnahen Raum, die viele schon einmal gesehen oder von ihnen gehört haben.
Unserer Meinung nach kann jeder etwas damit anfangen.

2. Aufgabenstellung

In unserer Arbeit haben wir uns verschiedenen Phänomenen gewidmet, die durch Lichtbrechung und –beugung erzeugt werden. Das Hauptthema unserer Projektarbeit ist die atmosphärische Dispersion. Diese beschreibt die Aufspaltung des Lichtes von Himmelskörpern, welches die Atmosphäre durchdringen muss. Dazu haben wir ein Experiment durchgeführt, in dem wir Sterne mit verschiedenen Zenitdistanzen aufgenommen haben, um die Lichtaufspaltung durch die Atmosphäre deutlich zu machen. Hier wollten wir zudem die Interdependenz von dem Tangens der Zenitdistanz und der Dispersion des Himmelskörpers nachweisen.
Zudem haben wir uns mit Phänomenen beschäftigt, die durch Lichtbrechung und -beugung im erdnahen Raum entstehen. Hierzu zählen Erscheinungen, die jeder kennt, zum Beispiel Regenbögen.
Zusätzlich haben wir ein Thema behandelt, das sicherlich jeden interessiert: Warum ist der Himmel eigentlich blau? Und warum verändert sich seine Farbe zum Morgen und zum Abend hin?

3. Theoretische Grundlagen zum Thema

Zunächst ist es erforderlich zu verstehen, was Licht ist. Wichtig ist, dass Licht weder Teilchen, noch Welle ist, was man durch verschiedene Versuche beweisen kann. Trotzdem besitzt Licht sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften. Für unsere Untersuchungen betrachten wir jedoch hauptsächlich die Welleneigenschaften des Lichtes.

3.1. Experiment zum Beweis der Welleneigenschaften des Lichtes

Zuvor war allgemein verbreitet, dass Licht ein Teilchen ist. Diese Vorstellung existierte jedoch nur, bis beim Experiment: „Doppelspalt“ die Welleneigenschaften des Lichtes nachgewiesen wurden. Hierbei wird monochromatisches Licht auf einen Doppelspalt gestrahlt. Man betrachtet nun das Muster, welches auf der dahinter stehenden Leinwand abgebildet wird. Wenn Licht ein Teilchen wäre, würde man erwarten, dass die Abbildung des Lichtes zwei große Lichtbalken ergeben müsste, weil die Teilchen nicht abgelenkt, sondern nur einige abgeblockt werden. Man müsste es sich so vorstellen, als ob Farbtropfen durch den Doppelspalt auf den dahinterliegenden Schirm gespritzt werden.

Was man jedoch stattdessen sieht, widerlegt die Vorstellung des Lichtes als Teilchen: das Licht erscheint als Interferenzmuster auf dem Schirm. Die Welleneigenschaften des Lichtes waren bewiesen.

Wellen bewegen sich in alle Richtungen fort. Dadurch interferieren die Wellen aus dem einen Spalt mit denen aus dem anderen: Dort, wo ein Wellenberg auf einen Wellenberg trifft, die Phasenverschiebung also ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge des Lichts ist, liegt eine konstruktive Interferenz vor. Das Licht addiert sich, und es entsteht ein Maximum auf dem Schirm. An den Stellen, an denen man kein Licht erkennt, trifft ein Wellenberg auf ein Wellental. Die Phasenverschiebung ist hier also ein ganzzahliges Vielfaches plus noch einmal eine Hälfte der Wellenlänge. In diesem Fall interferiert das Licht destruktiv, wird also sozusagen voneinander subtrahiert.

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich schlussfolgern, dass das Licht zusätzlich zu seinen Teilcheneigenschaften auch Welleneigenschaften besitzt, da sonst kein Interferenzmuster hätte entstehen können. Für unsere Arbeit ist dies wichtig, da wir das Licht als Welle betrachten.

3.2. Refraktionseigenschaften des Lichtes

In unserer Arbeit betrachten wir also ausschließlich die Welleneigenschaften des Lichtes. Eine für elektromagnetische Wellen typische Eigenschaft ist die Refraktion, also die Lichtbrechung. Sie ereignet sich, sobald sich eine solche von einem in ein anderes Medium mit unterschiedlichen Brechungsindizes fortbewegt. Eine im Alltag sehr häufig beobachtete Lichtbrechung ist zum Beispiel die eines Löffels, den man in Wasser taucht (siehe Abbildung 1).

Lichtbrechungen im Wasser sind häufig zu beobachten.

Abbildung 1: Lichtbrechung eines Löffels in Wasser

Die Lichtbrechung entsteht dadurch, dass das Licht von einem Medium in ein anderes wechselt und die beiden Medien unterschiedliche Dichten haben. Je dichter ein Medium ist, desto höher ist der Brechungsindex und desto stärker wird das Licht gebrochen (Vakuum hat den geringsten Brechungsindex, nämlich 1), weil sich das Licht in dichteren Medien langsamer fortbewegt.
Das Licht wird abgelenkt, da es immer den „schnellsten Weg“ sucht. Da es aber, wie gerade erläutert, in dichteren Medien langsamer ist als in weniger dichten, ist der kürzeste Weg nicht immer gleichzeitig der schnellste. Deshalb wird das Licht an der Mediengrenze abgelenkt, also gebrochen.
Dies funktioniert nicht nur bei Licht im sichtbaren Bereich, sondern auch bei Ultraviolett- oder bei Infrarotstrahlung.
Die Refraktion kann man mit Hilfe des Snelliusschen Brechungsgesetz berechnen (Willebrord van Roijen Snell). Der Winkel δ_1, der zwischen dem einfallenden Lichtstrahl und dem Lot zur Einfallsebene gemessen wird, ist der Einfallswinkel. δ_2 gibt den Winkel zwischen dem Lot zur Einfallsebene und dem gebrochenen Lichtstrahl an. n_1 ist der Brechungsindex des einen Mediums und n_2 den des anderen Mediums an (siehe Abbildung 2). Es gilt:

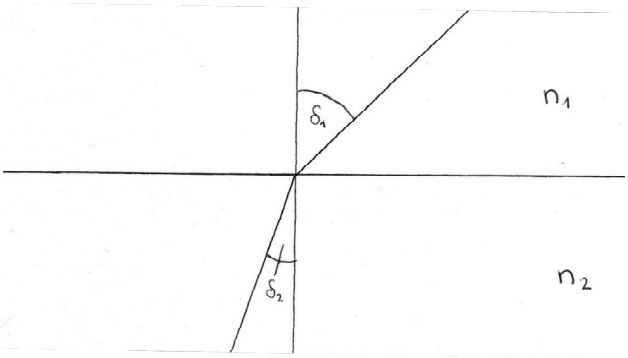


Abbildung 2: Refraktion von Licht beim Medienwechsel

$$n_1 * \sin(\delta_1) = n_2 * \sin(\delta_2)$$

Daraus folgt:

$$\frac{\sin(\delta_1)}{\sin(\delta_2)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Also verhalten sich die Quotienten antiproportional zu einander. [1]

[1]http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/sensorik/opt_grundlagen/opt_grundlagen.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/sensorik/optik/snellius.vscml.html

3.3. Dispersionseigenschaften des Lichtes

Auch die Dispersion ist charakteristisch für Lichtwellen. Sie ist ebenfalls zu beobachten, wenn das Licht von einem in ein anderes Medium wechselt. Die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes sind nur im Vakuum alle gleich schnell, denn dort bewegen sie sich mit Lichtgeschwindigkeit. In Medien, die dichter sind, bewegen sich allerdings die unterschiedlichen Wellenlängen auch mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Je kürzer eine Wellenlänge ist, desto langsamer bewegt sie sich (im Medium). Wie groß der Unterschied der Geschwindigkeiten ist, kommt auf das Medium und dessen Dichte an.
Da jede Wellenlänge trotzdem beim Übergang von einem in ein anderes Medium den für sie schnellsten Weg nehmen möchte, werden die kurzen - also die blauen - Wellenlängen mehr abgelenkt, als die langen, roten. (siehe Abbildung 3).
Deshalb wird der blaue und ultraviolette Anteil des Lichtes stärker abgelenkt, als der rote Anteil. Je dichter das Medium ist, desto größer ist auch der Brechungsindex. Dadurch ist auch die Ablenkung und der Unterschied zwischen rot und blau größer.
Diamant zum Beispiel hat mit einem Brechungsindex von $n = 2{,}417$[2] einen sehr viel größeren als Glass. Dadurch kann man zum Beispiel gut erkennen, ob eine Frau Schmuck aus Glass oder aus Diamant trägt.

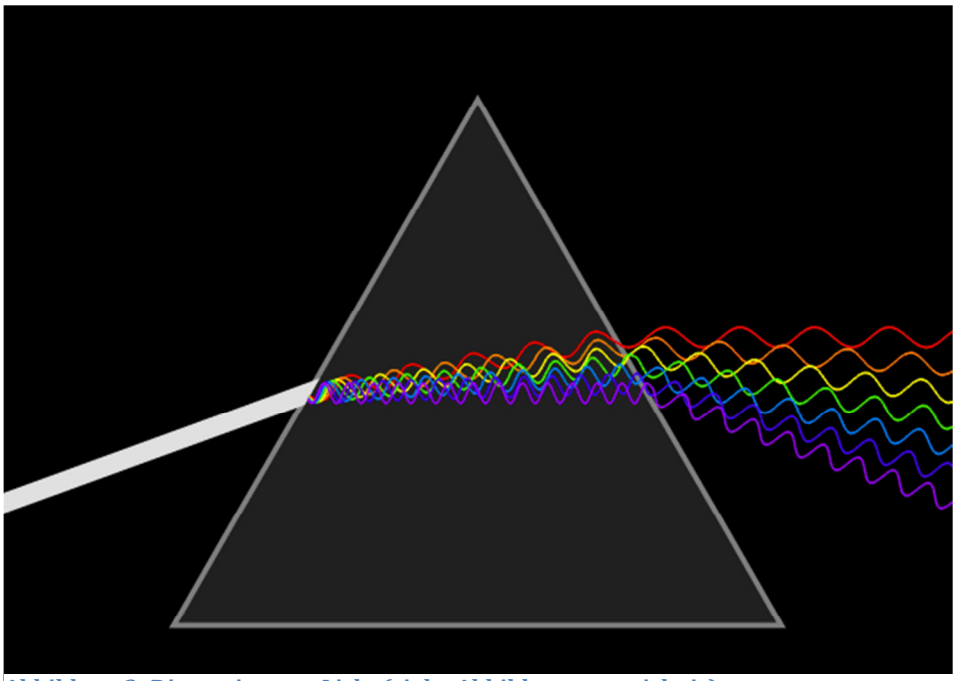


Abbildung 3: Dispersion von Licht (siehe Abbildungsverzeichnis)

[2] http://www.spektrum.de/lexikon/physik/brechzahl/1958

4. Phänomene im erdnahen Raum

4.1. Lichtbrechung in Eiskristallen

Die nachfolgend erklärten Phänomene entstehen in 8-13km hohen Zirruswolken durch Brechung, Reflektion und Interferenz in höchstens 0,1mm großen sechseckigen Eiskristallen. Der jeweilig auftretende Effekt ist abhängig von der Art und Orientierung der Eiskristalle zum Licht (siehe Abbildung 4).

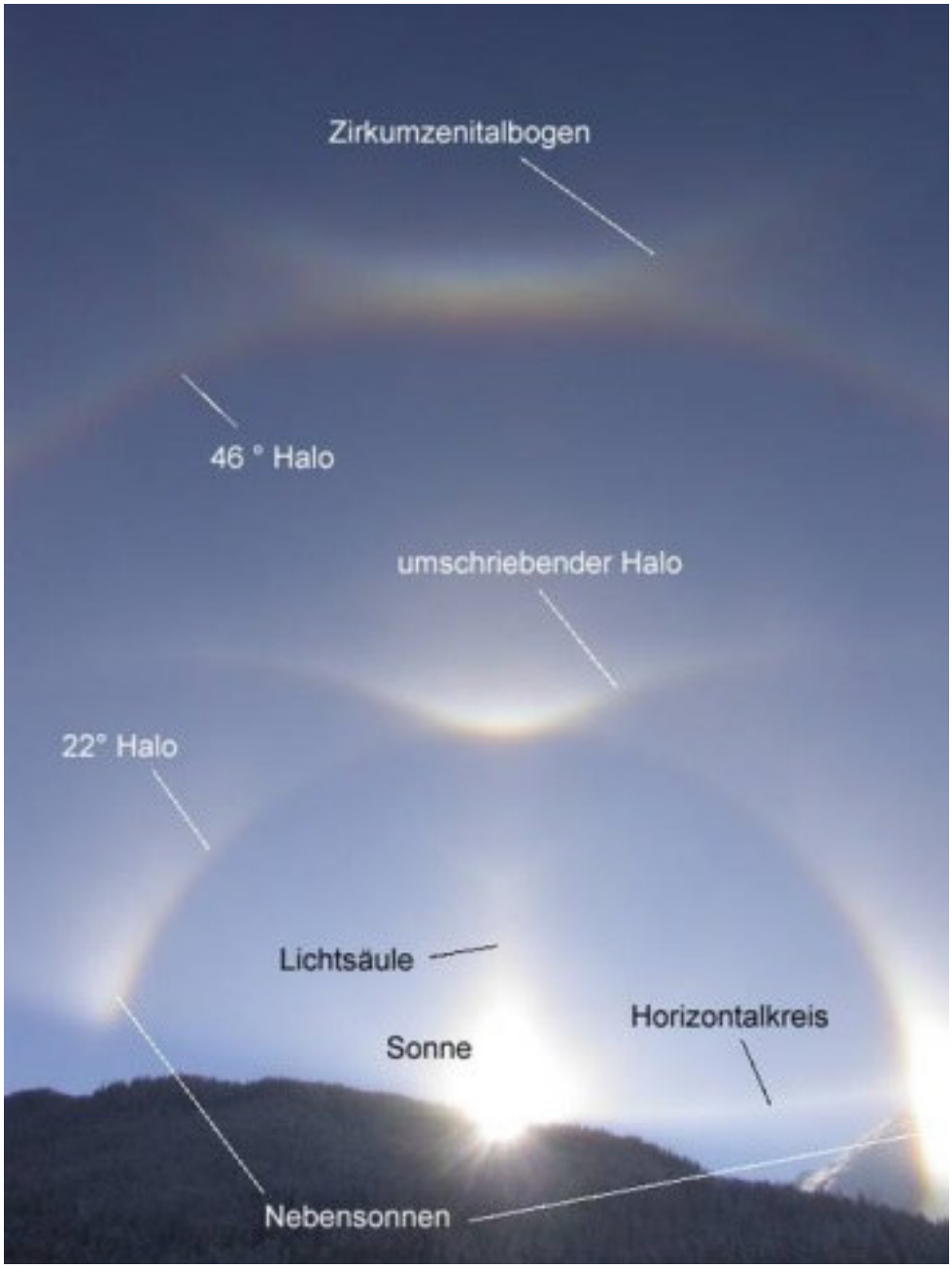


Abbildung 4: Verschiedenste Erscheinungen durch Lichtbrechung in Eiskristallen (siehe Abbildungsverzeichnis)

4.1.1. 22°/46°-Halo

Halos erscheinen um Sonne und Mond.

Der 22°-Halo entsteht durch Lichtbrechung in unregelmäßig verwirbelten Zirruswolken mit horizontal ausgerichteten Eisplättchen und Eissäulen. Der Eiskristall ist hexagonal aufgebaut und wirkt wir ein Prisma mit einer brechenden Kante von 60°. Der Brechungsindex von Eis beträgt n=1,31. Die minimale Lichtablenkung ist hier α=22°.

Ein 46°-Halo entsteht durch regellos verwirbelte Säulenkristalle. Diese bilden ein Prisma mit einer 90° brechenden Kante. Die minimale Ablenkung beträgt hier, wie am Namen schon zu erkennen ist, 46°. Der 46°-Halo ist weniger hell als der 22°-Halo, da durch den engen Einfallswinkel mehr Licht reflektiert wird.

Ein Halo ist nach innen hin rötlich und wird zur Mitte gelblich, weil kürzere Wellenlängen stärker gebrochen werden. Danach geht das gelb in ein weiß über, da sich alle Spektralfarben überlagern (siehe Abbildung 5).[3]

Abbildung 5: Halo (siehe Abbildungsverzeichnis)

[3] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

4.1.2. Zirkumzenitalkreis

Der Zirkumzenitalkreis ist ein in allen Spektralfarben schillernder Lichtkreis um den Zenit. Er entsteht bei einer Sonnenhöhe von bis zu 32°. Der Lichtstrahl tritt nun in die obere Seitenfläche des horizontal ausgerichteten rotierenden Eiskristalls ein und verlässt ihn nach der Brechung an der Stirnseite. Rotiert der Eiskristall um die vertikale Achse, hat der Lichtstrahl einen konstanten Winkel zur Rotationsachse. Bei rotem Licht beträgt dieser 45°, bei violettem Licht 47,2°. Deshalb ist der Zirkumzenitalkreis zur Sonne hin rot gefärbt (siehe Abbildung 4).
Der Zirkumzenitalkreis wird nicht oft beobachtet, da die meisten Menschen nur selten auf den Zenit schauen, weshalb ein solcher gar nicht erst bemerkt wird.[4]

Zirkumhorizontalkreis

Der Zirkumhorizontalkreis ist ein den Horizont umspannender, in allen Spektralfarben schillernder Lichtkreis (siehe Abbildung 4). Er entsteht bei einer Sonnenhöhe von über 58°. Hierbei tritt der Lichtstrahl an der Kantenfläche des horizontal ausgerichteten Kristalls ein und tritt nach der Brechung an der unteren Seitenfläche wieder aus.[5]

[4] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)
[5] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

4.1.3.Nebensonnen

Eine Nebensonne ist ein zur Sonne hin rötlich gefärbter Teilbogen. Die rötliche Färbung zur Mitte hin kommt auch hier von der wellenlängenabhängigen Brechung des Lichtes. Sie entsteht, wenn man auf eine 22° von der Sonne entfernte Zirruswolkenschicht blickt (siehe Abbildung 6). Die Eisplättchen sind horizontal ausgerichtet, denn so kann das Licht die Normalebene der Eisplättchen durchqueren. Diese Erscheinung ist jedoch ab einer Sonnenhöhe von 61° nicht mehr sichtbar, da das Licht das Plättchen dann nicht mehr an den Seitenflächen verlassen kann. Man kann diesen Effekt auch 90° und 120° von der Sonne entfernt erkennen.[6]

Abbildung 6: Nebensonne mit 22° Halo (siehe Abbildungsverzeichnis)

[6] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

4.1.4. Lichtsäule

Eine Lichtsäule kann man unter der tiefstehenden Sonne bzw. dem tiefstehenden Mond beobachten (siehe Abbildung 7). Sie entsteht durch die Reflektion an den Außenseiten der horizontal ausgerichteten Eiskristallplättchen. Wenn zu den Eiskristallplättchen noch Säulen hinzukommen, wird die Erscheinung unregelmäßig. Im Idealfall sind die Eiskristalle exakt horizontal ausgerichtet. Dann wird die Lichtsäule zu einem reflektierten Sonnenbild, der „Untersonne“.[7]

Abbildung 7: Lichtsäule (siehe Abbildungsverzeichnis)

[7] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

4.2. Lichtbrechung in Regentropfen

4.2.1. Regenbögen

Es gibt einige bekannte Legenden bezüglich Regenbögen. In einer heißt es, dass, sollte man das Ende eines solchen erreichen, dort ein Topf mit Gold auf einen wartet. Doch ist es uns überhaupt möglich, dorthin zu gelangen?

Einen Regenbogen kann man erkennen, wenn man mit dem Rücken zur Sonne steht und auf eine Nebelwand blickt (zum Beispiel direkt nach einem Regenguss). Er entsteht durch die Spiegelung des Lichtes an der Rückseite des Regentropfens. Das Licht tritt an der Vorderseite des Tropfens ein (der Tropfen wird hier idealerweise als kugelförmig betrachtet, in der Natur ist diese Eigenschaft insbesondere bei größeren Tropfen nicht immer gegeben). An seiner Rückseite wird es reflektiert und tritt wieder aus dem Tropfen aus (siehe Abbildung 8). Bei diesem Vorgang werden die verschiedenen Wellenlängen aufgrund der Dispersionseigenschaften des Lichtes sichtbar. Die roten Wellenlängen werden in einem Winkel von 42,3° und die violetten Wellenlängen in einem Winkel von 40,6° gebrochen. Dadurch nehmen wir das Rot durch die höheren und das Violett durch die niedrigeren Regentropfen war. Die Bogenform entsteht dadurch, dass eine Häufung von gebrochenen Lichtstrahlen bei einem Winkel von 42° entsteht. Zieht man diesen Winkel um den antisolaren Punkt (die Verlängerung von der Sonne und dem Beobachter), entsteht die bekannte Halbkreisform.

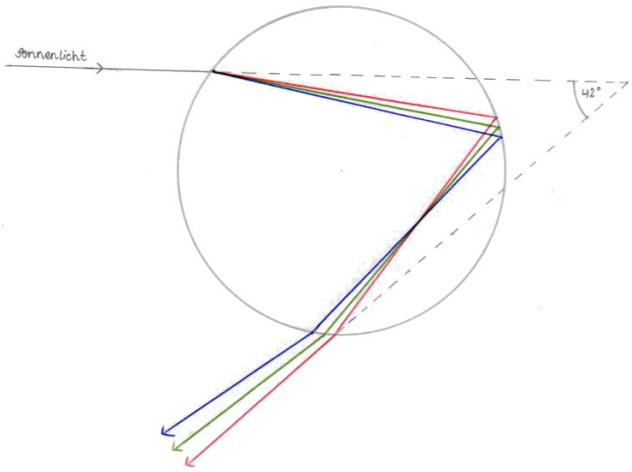


Abbildung 8: Entstehung eines Regenbogens

Je größer die Wassertropfen sind, desto farbintensiver wird der Bogen. Er ist dann im Scheitelpunkt oft verschwommen, denn die Tropfen sind im oberen Bereich größer. Sind sie größer als 0,1mm, so verformen sie sich im freien Fall. Dadurch sind die Spektralfarben verschmiert.

Bei besonders günstigen Bedingungen kann es auch zu einem doppelten Regenbogen bei 51° kommen. Hierbei wird der Lichtstrahl im Regentropfen nicht nur einmal, sondern zweimal im Regenbogen reflektiert, bevor er aus diesem wieder heraustritt.

Dementsprechend ist die Reihenfolge der Spektralfarben bei diesem Bogen umgekehrt, sodass violett oben (53,6°) und rot unten (50,7°) ist.
Bei idealen Bedingungen könnte man sogar noch einen dritten Bogen erkennen, die Farben wären wieder in der ursprünglichen Farbreihenfolge Rot-Gelb-Blau-Violett.
Innerhalb des Hauptbogens hellt der Himmel stark auf. Hierfür sind die Wassertropfen verantwortlich, die nicht zum Bogen beitragen. Sie reflektieren das Licht und lassen so den Himmel heller erscheinen.
Abschließend kann man erkennen, dass man auch mit allen Mitteln der Welt niemals das Ende eines Regenbogens erreichen wird, da er um den antisolaren Punkt sichtbar wird, der vom Beobachter abhängig ist. Somit ist die Geschichte vom Schatz, der dort auf einen wartet, leider nur eine Legende.[8]

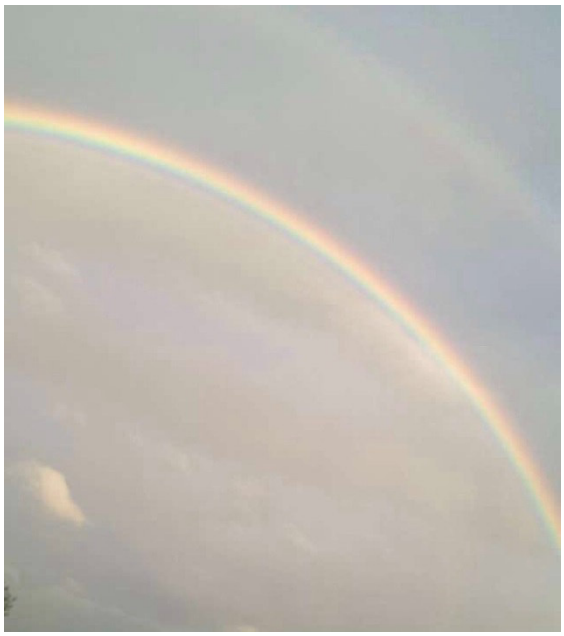


Abbildung 9: Regenbogen

Hier kann man sogar bei genauer Betrachtung die umgekehrten Spektralfarben beim doppelten Regenbogen erkennen (siehe Abbildung 9).

[8] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch), http://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/regenbogen

4.2.2. Mondregenbogen

Ein Mondregenbogen entsteht wie ein Regenbogen bei Tag. Jedoch ist hier das Mondlicht für den Effekt verantwortlich. Auch der Mondregebogen besteht theoretisch aus den Spektralfarben. Diese sind jedoch für das menschliche Auge nicht sichtbar, da es nachts zu dunkel ist. Die menschliche Sehfähigkeit reicht nicht aus, um sie wahrzunehmen, wie es das Sprichwort „Nachts sind alle Katzen grau“ beschreibt.
Mit einer langen Belichtungszeit können die Spektralfarben jedoch sichtbar werden (siehe Abbildung 10). [9]

Abbildung 10: Mondregenbogen (siehe Abbildungsverzeichnis)

[9] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

4.2.3. Weißer Regenbogen/Nebelbogen

Bei einem weißen Regenbogen sind die Wassertropfen kleiner als 50µm, sodass sich die einzelnen monochromatischen Regenbogenbilder gegenseitig zu einem weißen Bogen überlagern (siehe Abbildung 11). Dieser kann nach oben hin noch leicht rötlich und nach unten violett schimmern.[10]

Abbildung 11: Weißer Regenbogen (siehe Abbildungsverzeichnis)

[10] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

4.3. Phänomene durch Lichtbeugung

4.3.1. Aureole und Korona

Aureole und Korona werden durch Lichtbeugung hervorgerufen. Sie entstehen in der Regel durch Wassertropfen, in seltenen Fällen auch durch Eiskristalle oder Pollen. Die Wolken sind für die Entstehung notwendig, dürfen jedoch gleichzeitig nicht zu dicht sein.

Aureole bezeichnet die helle Scheibe in der Mitte, eine Korona ist der farbige Rand (siehe Abbildung 12).

Abbildung 12: Korona um den Vollmond (siehe Abbildungsverzeichnis)

Das Mondlicht wird durch die Tropfen abgelenkt und gebeugt, wobei die längeren Wellenlängen mehr abgelenkt werden. Die monochromatischen Erscheinungen ergänzen sich zu einem Spektrum.

Das Hauptmaximum aller Wellenlängen liegt in der Mitte bei einem Ablenkungswinkel von 0°. Deshalb überlagern sich dort alle Wellenlängen zu weißem Licht. Der Ort des ersten Minimums ist jedoch bereits wellenlängenabhängig. Dadurch, dass rotes Licht mehr abgelenkt wird als blaues und der Sehwinkel gleich dem Ablenkungswinkel ist, ist die blaue Fläche kleiner als die rote. So wird der Eindruck erweckt, als ob der Rand der Korona rot-gelb ist. In Wirklichkeit werden die kleineren Wellenlängen einfach nur vom Hauptmaximum überstrahlt, weshalb sie nicht sichtbar sind. Auch das nächste Maximum ist wieder verschoben. Hier liegt rot ebenfalls weiter außen als blau.

Durch die Lichtbeugung wird das Licht aufgespalten. Der Ablenkungsradius ist jedoch nicht nur abhängig von der Wellenlänge, sondern auch von der Tropfengröße. Je kleiner die Wassertropfen sind, desto größer ist der Radius der Aureole und umgekehrt. Deshalb benötigen die Tropfen auch eine Mindestgröße, die bei 10µm liegt. Sind die Tropfen zu klein, überlagern sich die verschiedenen Wellenlängen wieder zu weißem Licht.

Wichtig ist auch, dass die Tropfen annähernd die gleiche Größe haben, da sich sonst die verschiedenen monochromatischen Ringe zu weißem Licht überlagern.

Koronen und Aureolen werden hauptsächlich um den Mond sichtbar. Das heißt nicht, dass sie nur dort entstehen. Sie existieren auch bei der Sonne und bei Sternen. Bei der Sonne sind sie jedoch sehr schwierig zu beobachten, da die Sonne die Erscheinung meistens überstrahlt. Das Licht der Sterne ist in der Regel zu schwach ist, um die Tropfenfront zu durchdringen.[11]

[11] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch), http://www.physik.wissenstexte.de/korona.htm

4.3.2. Glorie

Abbildung 13: Glorie (siehe Abbildungsverzeichnis)

Eine Glorie kann man beobachten, wenn man aus dem Flugzeugfenster in Richtung des antisolaren Punktes auf eine Wolkenwand blickt. Man erkennt dort einen Lichtkreis. In seiner Mitte kann man den Schatten des Flugzeuges erkennen (siehe Abbildung 13).

Der Lichtkreis, der nach außen in den Spektralfarben leuchtet, entsteht durch Rückstrahlung der Sonnenstrahlen. Diese werden in Anschluss von den Regentropfen in der Wolkenwand gebeugt. Dadurch entsteht, wie bei einer Korona, die Kreisform mit dem farbigen Rand.

Der Winkelradius beträgt hier 1-4°. Dieser ist, im Gegensatz zur Größe des Schattens nicht abhängig von der Entfernung des Flugzeuges zur Wolkenwand, sondern nur von der Größe der Wassertropfen.[12]

[12] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch), https://www.meteoros.de/themen/atmos/beugung-interferenz/brockengespenst-und-glorie/

4.3.3. Brockenhexe

Abbildung 14: Brockenhexe mit Glorie (siehe Abbildungsverzeichnis)

Die Brockenhexe entsteht ähnlich wie die Glorie. Allerdings ist sie von der Erde aus sichtbar. Sie entsteht bei tiefstehender Sonne im antisolaren Punkt, wenn sich dieser in einer Nebelwand befindet. Man erkennt dort nun den eigenen Schatten (vergleichbar mit dem Flugzeugschatten der Glorie). Bei guten Bedingungen kann man um den Kopf herum eine Glorie erkennen (siehe Abbildung 14). Sie entsteht ebenso wie die aus dem Flugzeug beobachtete Glorie.

Diese Erscheinung macht oft einen gespenstischen Eindruck, da sich die Nebelwand bewegt. Hierdurch entstehen gespenstische Formen und angsteinflößende Bewegungen des Schattens auf der Nebelwand. Da die Brockenhexe im antisolaren Punkt erscheint, kann man sie am besten auf erhöhten Orten, zum Beispiel auf einem Berg, beobachten.[13]

[13] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch), https://www.meteoros.de/themen/atmos/beugung-interferenz/brockengespenst-und-glorie/

4.4. Lichtbrechung durch die Atmosphäre

4.4.1. Warum ist der Himmel blau?

Vom Mond aus erscheint einem der Himmel immer schwarz und die Sonne sieht weiß aus. Aber warum ist der Mittagshimmel von der Erde aus betrachtet blau und die Sonne gelb?

Hierzu muss man wissen, dass das Licht der Sonne nicht unmittelbar von der Sonne zur Erde geht. Es muss zuerst die Atmosphäre durchqueren. Die Atmosphäre der Erde besteht hauptsächlich aus Sauerstoff, Stickstoff und Argon Molekülen, dazu kommen noch Staubkörner und kleine Wassertropfen. Das Sonnenlicht, das wir als weiß wahrnehmen, besteht eigentlich aus einem kontinuierlichen Spektrum aller Farben von blau bis rot (mit einigen Absorptionslinien). Wenn das Sonnenlicht die Atmosphäre durchquert, treffen die einzelnen Lichtwellen auf die Moleküle und werden gestreut.

Abbildung 16: Blauer Himmel

Da das blaue Licht eine kürzere Wellenlänge hat, wird es aufgrund der Rayleigh-Strahlung an den Molekülen in der Atmosphäre viel häufiger gestreut und erscheint somit überall am Himmel, sodass dieser blau erscheint (siehe Abbildung 16). Das rote und grüne Licht kann die Atmosphäre tagsüber weitgehend ungestört durchqueren. Somit erscheint uns die Sonne dann auch gelb, da grün und rot addiert gelb ergeben. Morgens und abends erscheint uns die Sonne allerdings nicht mehr gelb, sondern rot (siehe Abbildung 15), denn um diese Zeit ist der Weg durch die Atmosphäre viel weiter. Auf diesem längeren Weg wird auch das grüne Licht stark gestreut. Nur das langwellige rote Licht durchquert die Atmosphäre noch annähernd ungestört. Somit erscheint uns die Sonne am Morgen und am Abend rot. Auch die Wolken nehmen eine rötliche Färbung an, da sie das rote Licht streuen. Auf der Seite, von der das Sonnenlicht kommt, erscheint der Himmel rötlich. Auf der anderen Seite sieht die Farbe des Himmels aus wie cyan, der Mischfarbe aus blau und grün.[14]

Abbildung 15: Sonnenaufgang

[14] https://www.youtube.com/watch?v=ws1Z7Q96Pn8

Die Wolken, die aus kleinen Wassertropfen bestehen, sehen weiß aus, weil sie das gesamte Licht gleichmäßig streuen (siehe Abbildung 17). Diese Streuung nennt sich Mie-Streuung. Dadurch, dass alle Farben ungefähr gleich gut gestreut werden, addieren sie sich wieder zu weiß. Das Gleiche passiert auch wenn viel Staub in der Luft ist oder eine hohe Luftfeuchtigkeit herrscht. Dadurch wird das Licht aller Wellenlängen mehr gestreut und es wird diesig oder der Himmel sieht weiß aus.

Abbildung 17: Wolkiger Himmel

Je dichter Wolken sind, desto schwieriger ist es für das Licht, sie zu durchdringen. Gewitterwolken und Wolken vor einem gewaltigen Regenguss sehen oft sogar dunkelgrau aus, weil die Wassertropfen größer und mehr sind und nur noch wenig Licht durch sie dringt.[15]

Ein kleiner Versuch macht das Phänomen deutlich: Man nimmt sich ein großes Glasgefäß und füllt es mit Wasser. Dazu gibt man einige Tropfen Milch und verrührt dies. Das Wasser-Milch-Gemisch stellt die Atmosphäre dar, die kleinen Fett Tröpfchen haben die gleiche Funktion wie die Moleküle und die Staubkörnchen in der Atmosphäre. Leuchtet man jetzt mit einer Lampe, die die Sonne darstellt, dort hinein, sieht man, dass die Flüssigkeit bläulich leuchtet, da auch hier der blaue Anteil des Lichtes öfter gestreut wurde und so von überall blaues Licht ins Auge fällt. Die Lampe, die man durch das Glasgefäß betrachtet, erscheint jetzt auch gelblich (siehe Abbildung 18). Wieder wurde größtenteils der blaue Anteil des Lichtes raus gefiltert, sodass hauptsächlich grün und rot übrigbleibt, was addiert gelb ergibt.[16]

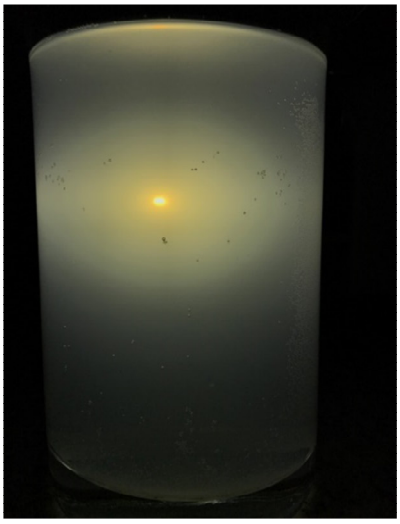


Abbildung 18: Versuch zur Veranschaulichung des blauen Himmels

[15] http:// www.focus.de/familie/lernen/kinderfragen/warum-sind-wolken-weiss-meteorologie_id_2057603.html
[16]https://www.youtube.com/watch?v=GJ78G9AqfjM

4.4.2. Der Grüne Blitz

Der Grüne Blitz ist ein sehr selten beobachtetes Phänomen. Er entsteht am Ende des Sonnenuntergangs oder am Anfang des Sonnenaufgangs.

Die Ursache des Grünen Blitzes ist die Dispersion in der Erdatmosphäre. Das auf die Erde fallende Licht wird durch die Erdatmosphäre gebrochen. Je näher das Objekt am Horizont ist, desto stärker ist dieser Effekt. Deshalb hat die Sonne beim Aufgang und beim Untergang immer einen roten und einen blauen bzw. grünen Farbrand. Diese Farbränder sind allerdings so gering, und das Sonnenlicht so hell, dass sie hiervon überstrahlt werden. Beim Sonnenunter- und -aufgang kann es jedoch sein, dass die Sonne gerade so tief steht, dass sie selber noch nicht bzw. nicht mehr zu sehen ist, sondern nur der blau-grüne Farbrand (siehe Abbildung 19). Da das blaue Licht größtenteils in der Atmosphäre herausgefiltert wird (siehe „Warum ist der Himmel Blau?“) ist dieser Farbrand dann grün. Nur bei äußerst guten Bedingungen kann er teilweise auch blau oder sogar violett sein. Der Grüne Blitz ist allerdings nur sehr selten zu beobachten. Das liegt zum einen daran, dass die Bedingungen sehr gut sein müssen: Man brauch freie Sicht, am besten auf ein Meer oder von einem Berg aus, sehr gutes Wetter und die richtigen Luftbedingungen. Andererseits ist dieses Phänomen meist nur für Bruchteile von Sekunden oder höchstens einige Sekunden sichtbar, was es sehr schwierig zu beobachten macht. Besonders gut ist der Grüne Blitz zu sehen, wenn es in der Atmosphäre Schichten mit unterschiedlichen Brechungsindizes gibt. Dadurch bilden sich ab 1° Höhe so genannte „Abschnürungen“. Wenn die Sonne dann gerade so weit untergegangen ist, dass sie selbst nicht mehr zu sehen ist, sondern nur eine Abschnürung, kann es gut sein, dass diese sich grün färbt. Solche Bedingungen hat man jedoch nur ganz selten.

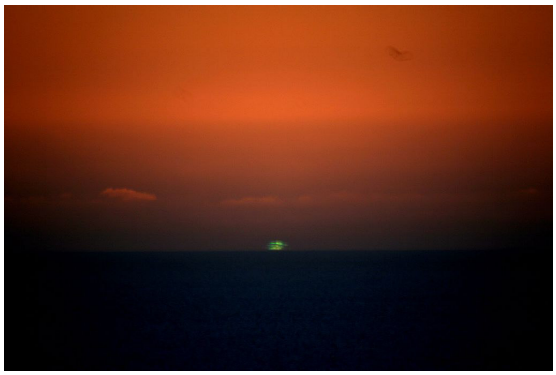


Abbildung 19: Grüner Blitz bei Santa Cruz (siehe Abbildungsverzeichnis)

Der Grüne Blitz ist also ein in der Theorie sehr einfach nachzuvollziehendes, in der Praxis allerdings nur sehr schwer zu beobachtendes Phänomen, jedoch trotzdem ein sehr schönes.[17]

[17] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch), https://www.meteoros.de/themen/atmos/luftschichten/gruener-strahl/

5. Experiment zur atmosphärischen Dispersion

5.1. Vorbereitung des Experiments:

5.1.1. Atmosphärische Refraktion

Wie schon in den theoretischen Grundlagen erklärt wurde, wird Licht beim Übergang in ein dichteres Medium zum Lot hin gebrochen. Im Weltall herrscht annähernd ein Vakuum, der Brechungsindex ist also n=1. Der Brechungsindex unserer Erdatmosphäre ist zwar auch sehr gering, da sie gasförmig ist, allerdings ist er trotzdem größer als der Brechungsindex des Weltalls, weshalb das Licht der Himmelskörper beim Eintritt in die Atmosphäre zum Lot hin gebrochen wird.

Z ist die Zenitdistanz. Diesen Winkel kann man anhand der scheinbaren Position des Himmelskörpers messen. R_0 ist der Winkel zwischen der scheinbaren und der wirklichen Position, also der Refraktionswinkel.

Durch das Snelliussche Brechungsgesetzt gilt jetzt:

$$\sin(Z + R_0) = n * \sin(Z)$$

Mithilfe eines der trigonometrischen Gesetzte kann man die linke Seite der Gleichung aufspalten, sodass gilt:

$$\sin(Z) * \cos(R_0) + \cos(Z) * sin(R_0) = n * \sin(Z)$$

Die Refraktion ist, obwohl man sie beobachten kann, sehr gering, R_0 ist höchstens ein halbes Grad. Deshalb gilt näherungsweise: $\cos(R_0) \approx 1$ und $\sin(R_0) \approx R_0$ (im Bogenmaß)

Daraus folgt dann:

$$\sin(Z) + \cos(Z) * R_0 = n * \sin(Z)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\sin(Z)}{\cos(Z)} + R_0 = n * \frac{\sin(Z)}{\cos(Z)}$$

$$\Leftrightarrow R_0 = n * \frac{\sin(Z)}{\cos(Z)} - \frac{\sin(Z)}{\cos(Z)}$$

Daraus folgt das Refraktionsgesetzt:

$$R_0 = (n - 1)\tan(Z)$$

Nun kann man $n - 1$ mit der Dispersionsformel berechnen, die von einer Temperatur von 15°C und einem Druck von 1013hPa ausgeht:

$$(n - 1)10^{-7} = 643{,}28 + \frac{294981}{146 - \sigma^2} + \frac{2554}{41 - \sigma^2}$$

σ ist die Wellenlänge in μm^{-1}, also gilt $\sigma = \frac{1}{0{,}55}$, da die die Kamera Wellenlängen von 400nm bis 700nm detektiert und 550nm der Mittelwert ist.

Mithilfe der Dispersionsformel ergibt sich:

$$n - 1 = 0{,}0002778$$

Bei Umwandelung ins Winkelmaß erhält man nun das Refraktionsgesetz:

$$R_0 = 57{,}28\,''\tan(Z)$$

Die Refraktionskonstante ist somit 57,28".

Diese Betrachtung der Refraktion ist allerdings nur eine Annäherung, da davon ausgegangen wird, dass die Dichte der Erdatmosphäre überall gleich ist, was nicht der Wirklichkeit entspricht. Eigentlich ist die Atmosphäre in mehrere Schichten mit verschiedenen Dichten aufgeteilt (siehe Abbildung 20). Die oberste Schicht ist hierbei die am wenigsten dichte. Mit abnehmender Höhe nimmt die Dichte der Erdatmosphäre immer mehr zu. Deshalb wird das einfallende Licht auch nicht nur einmal gebrochen, sondern sehr oft immer nur ein bisschen.

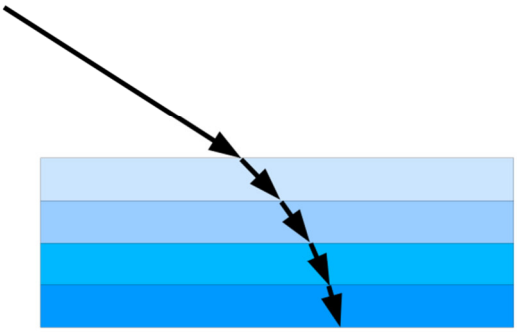


Abbildung 20: Brechung des Lichts durch die verschiedenen Schichten der Erdatmosphäre (siehe Abbildungsverzeichnis)

Trotzdem ergibt diese Modell für Z≤80° Werte, die nur höchstens 13'' vom echten Wert abweichen. Deshalb reicht es für unsere Arbeit, mit dieser vereinfachten Vorstellung zu arbeiten.[18]

[18] „Handbuch der Astrofotografie" (Bernd Koch)

5.1.2. Atmosphärische Dispersion

Auch die atmosphärische Dispersion ist ein wichtiges Phänomen der Lichtbrechung in der Atmosphäre. Um diese wird es in unserem Versuch gehen.
Dieser Effekt tritt besonders bei horizontnahen Sternen auf.
Die Dispersion tritt ebenfalls bei Licht auf, das auf dem Universum durch die Atmosphäre auf unsere Erde fällt.
Der Weltraum hat einen Brechungsindex von $n = 1$. Der Brechungsindex der Atmosphäre ist allerdings etwas über 1. Deshalb wird das Licht, wie schon bei der Refraktion beschrieben, ganz leicht gebrochen. Dadurch, dass die Refraktion wellenlängenabhängig ist, wird das Licht zu einem Spektrum aufgespalten: dem Refraktionsspektrum.
Dieses Phänomen lässt sich besonders bei horizontnahen Objekten beobachten, da hier der Weg, den das Licht durch die Atmosphäre zurücklegen muss, sehr groß ist. Bei zenitnahen Objekten jedoch lässt sich die atmosphärische Dispersion kaum bis gar nicht beobachten. Sie hängt also, genau wie die Refraktion, mit dem Höhenwinkel zusammen.
In unserem Experiment wollen wir die Abhängigkeit von dem Tangens der Zenitdistanz und der Dispersion nachweisen.
Zur Berechnung des Refraktionsspektrums berechnen wir die wellenlängenabhängige Brechung von 400nm und 700nm, um diese dann von einander abzuziehen. Dazu benötigen wir wieder die Dispersionsformel für den Brechungsindex:

$$(n-1)10^{-7} = 643{,}28 + \frac{294981}{146-\sigma^2} + \frac{2554}{41-\sigma^2}$$

Die von uns benutzte Kamera hat Grenzwellenlängen von 400nm und 700nm. Diese kann man in das vereinfachte Modell der Refraktion für Zenitdistanzen Z≤80° einsetzten:

$$\Delta R = R_{400nm} - R_{700nm} = (n_1 - n_2)\tan(Z)$$

$$\Delta R = 1{,}4'' \tan(Z)$$

Wir erwarten also, wenn wir unser Experiment durchführen, einen Zusammenhang, der zeigt, dass die Dispersion einerseits proportional zum Tangens der Zenitdistanz ist und zusätzlich die Ausgleichsgerade eine Steigung von ungefähr 1,4 haben wird.[19]

[19] „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)

5.2. Experimenteller Aufbau

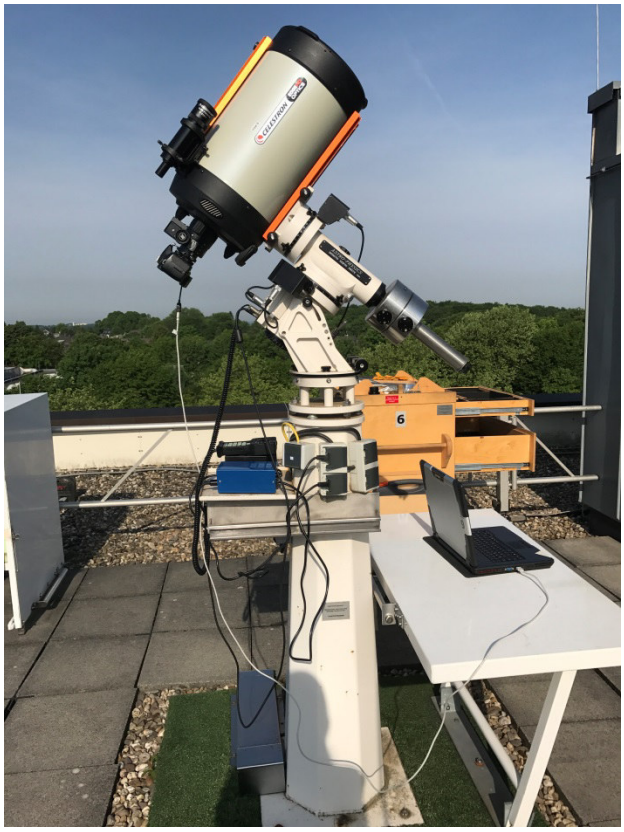


Abbildung 22: Versuchsaufbau

Abbildung 21: C11 mit Canon EOS 450D

Wir haben unsere Bilder auf der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums mit Hilfe eines Celestron 11 als Teleskop sowie einer Canon EOS 450D aufgenommen (siehe Abbildung 21, 22).

5.2.1. Celestron 11

Öffnung	279mm
Brennweite	2800mm
Öffnungsverhältnis	f/10
Maximal sinnvolle Vergrößerung	Ca. 560fach
Grenzgröße visuell	15m5
Auflösungsvermögen	0,42“
Abschattung durch den Fangspiegel	34%
Länge des Tubus	61cm
Gewicht	Ca. 13,1kg
Typ	Reflektor

Das Celestron 11 (siehe Abbildung 23) ist ein besonders für Hobbyfotografen gut geeignetes Teleskop.
Es liefert durch die 279mm-Öffnung hoch auflösende Bilder und ist trotz der langen Brennweite eher kurz und auch nicht sehr schwer, weshalb es gut zu transportieren ist.
Dass das Teleskop trotz der langen Brennweite so kurz ist, liegt an der Cassegrain-Optik. Das einfallende Licht trifft auf den sphärischen Hauptspiegel. Auf diesem wird das Licht bereits gebündelt. Das Licht wird also reflektiert und trifft gebündelt auf den Sekundärspiegel. Dort wird es wieder reflektiert und zum Okular geleitet. Durch das Verschieben des Hauptspiegels wird das Scharfstellen ermöglicht. Das gesamte System ist geschlossen und ist daher gut gegen Staub geschützt. [20]

Abbildung 23: Celestron 11

[20] http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p1006_Celestron-C11-SC-XLT---280-2800mm-optischer-Tubus.html, http://www.astroshop.de/celestron-schmidt-cassegrain-teleskop-sc-279-2800-c11-ota/p,12232#tab_bar_1_select

5.2.2. Canon EOS 450D

Kameratyp	DSLR
Bildsensor	CMOS
Auflösung	12,2 Megapixel
Bildgröße	4272 ∗ 2848 Pixel
Prozessor	DIGIC-III-Prozessor
Sucher	Pentaspiegel
Farbtiefe	14 Bit pro Kanal
Aufnahmen pro Sekunde	3,5 Bilder
Interner Pufferspeicher	6 RAW / 53 Large-JPEG Bilder
Displaydiagonale	3 Zoll
Displayauflösung	230 000 Pixel

[21]

Abbildung 24: Canon EOS 450D

[21] http://www.digitalkamera.de/Testbericht/Canon_EOS_450D/4839.aspx

5.3. Durchführung

Am 5. Januar 2017 war es endlich soweit: wir hatten Glück mit dem Wetter, sodass wir auf die Sternwarte gehen konnten. Das Wetter hatte vorher nicht immer mitgespielt: Wind, Regen oder Wolken haben uns davon abgehalten, unser Experiment durchzuführen.

Zur Durchführung haben wir viele verschiedene Sterne in verschieden Höhen fotografiert (siehe Abbildung 25, 26). Bei diesen haben wir darauf geachtet, dass die Dispersion des Lichtes, sofern vorhanden, durch die Erdatmosphäre gut erkennbar war. Deshalb haben wir verschiedene Belichtungszeiten ausprobiert, um gut auswertbare Aufnahmen zu erhalten.

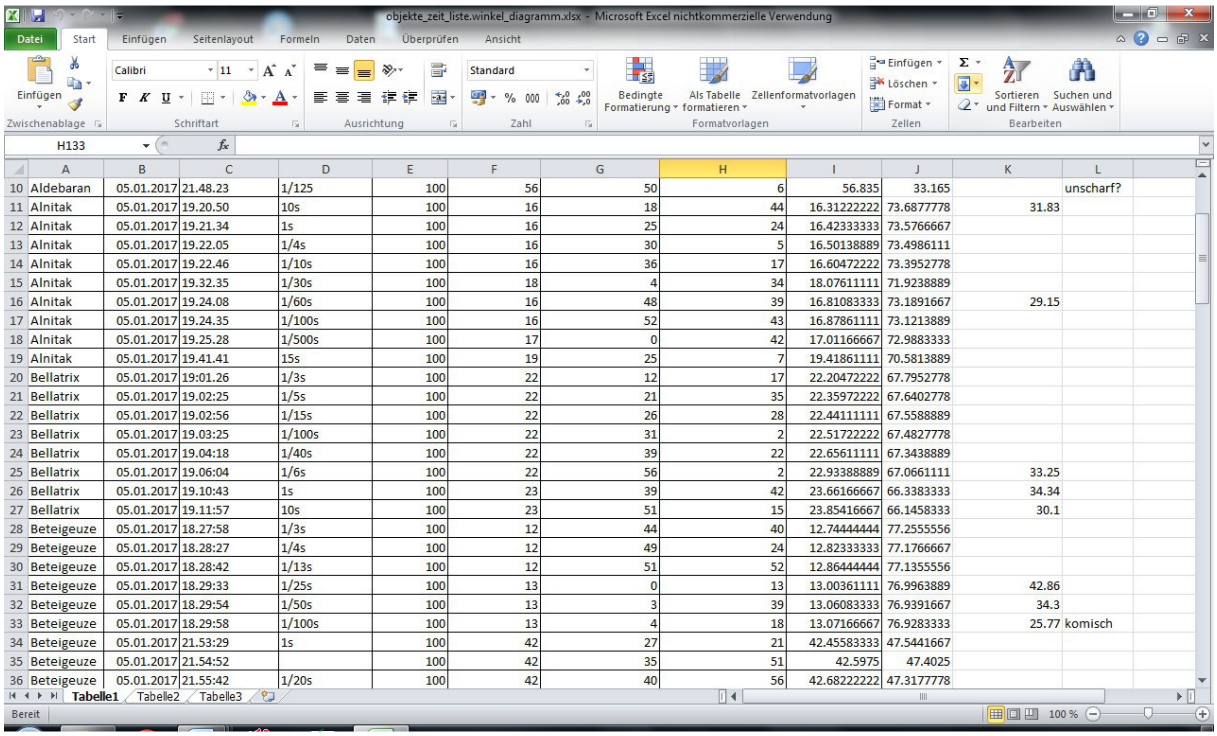
Wir haben hierbei neun Himmelskörper fotografiert: Aldebaran, Alnitak, Bellatrix, Beteigeuze, Capella, Procyon, Rigel, Sirius und Venus.

Abbildung 26: Christina am Teleskop

Abbildung 25: Vivien am Teleskop

5.4. Auswertung der Aufnahmen

5.4.1. Erstellen einer Tabelle mit Excel



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
10	Aldebaran	05.01.2017	21.48.23	1/125	100	56	50	6	56.835	33.165		unscharf?
11	Alnitak	05.01.2017	19.20.50	10s	100	16	18	44	16.31222222	73.6877778	31.83	
12	Alnitak	05.01.2017	19.21.34	1s	100	16	25	24	16.42333333	73.5766667		
13	Alnitak	05.01.2017	19.22.05	1/4s	100	16	30	5	16.50138889	73.4986111		
14	Alnitak	05.01.2017	19.22.46	1/10s	100	16	36	17	16.60472222	73.3952778		
15	Alnitak	05.01.2017	19.32.35	1/30s	100	18	4	34	18.07611111	71.9238889		
16	Alnitak	05.01.2017	19.24.08	1/60s	100	16	48	39	16.81083333	73.1891667	29.15	
17	Alnitak	05.01.2017	19.24.35	1/100s	100	16	52	43	16.87861111	73.1213889		
18	Alnitak	05.01.2017	19.25.28	1/500s	100	17	0	42	17.01166667	72.9883333		
19	Alnitak	05.01.2017	19.41.41	15s	100	19	25	7	19.41861111	70.5813889		
20	Bellatrix	05.01.2017	19:01.26	1/3s	100	22	12	17	22.20472222	67.7952778		
21	Bellatrix	05.01.2017	19.02:25	1/5s	100	22	21	35	22.35972222	67.6402778		
22	Bellatrix	05.01.2017	19.02:56	1/15s	100	22	26	28	22.44111111	67.5588889		
23	Bellatrix	05.01.2017	19.03:25	1/100s	100	22	31	2	22.51722222	67.4827778		
24	Bellatrix	05.01.2017	19.04:18	1/40s	100	22	39	22	22.65611111	67.3438889		
25	Bellatrix	05.01.2017	19.06:04	1/6s	100	22	56	2	22.93388889	67.0661111	33.25	
26	Bellatrix	05.01.2017	19.10:43	1s	100	23	39	42	23.66166667	66.3383333	34.34	
27	Bellatrix	05.01.2017	19.11:57	10s	100	23	51	15	23.85416667	66.1458333	30.1	
28	Beteigeuze	05.01.2017	18.27:58	1/3s	100	12	44	40	12.74444444	77.2555556		
29	Beteigeuze	05.01.2017	18.28:27	1/4s	100	12	49	24	12.82333333	77.1766667		
30	Beteigeuze	05.01.2017	18.28:42	1/13s	100	12	51	52	12.86444444	77.1355556		
31	Beteigeuze	05.01.2017	18.29:33	1/25s	100	13	0	13	13.00361111	76.9963889	42.86	
32	Beteigeuze	05.01.2017	18.29:54	1/50s	100	13	3	39	13.06083333	76.9391667	34.3	
33	Beteigeuze	05.01.2017	18.29:58	1/100s	100	13	4	18	13.07166667	76.9283333	25.77	komisch
34	Beteigeuze	05.01.2017	21.53:29	1s	100	42	27	21	42.45583333	47.5441667		
35	Beteigeuze	05.01.2017	21.54:52		100	42	35	51	42.5975	47.4025		
36	Beteigeuze	05.01.2017	21.55:42	1/20s	100	42	40	56	42.68222222	47.3177778		

Abbildung 27: Tabelle erstellen

Um unsere Bilder auszuwerten, haben wir zunächst eine Tabelle mit Isowert, Belichtungszeit sowie Datum und Uhrzeit der Aufnahmen in Mitteleuropäischer Zeit erstellt. Aus dem Zeitpunkt der Aufnahme haben wir mithilfe von Stellarium den Höhenwinkel in Grad, Bogenminuten und Bogensekunden ermittelt (siehe Abbildung 28). Daraus haben wir den kompletten Höhenwinkel h in Grad und somit auch die Zenitdistanz z mit berechnet (siehe Abbildung 27).

5.4.2. Ermittlung des Höhenwinkels

Abbildung 28: Ermittlung des Höhenwinkels mithilfe von Stellarium

5.4.3. Abstand messen

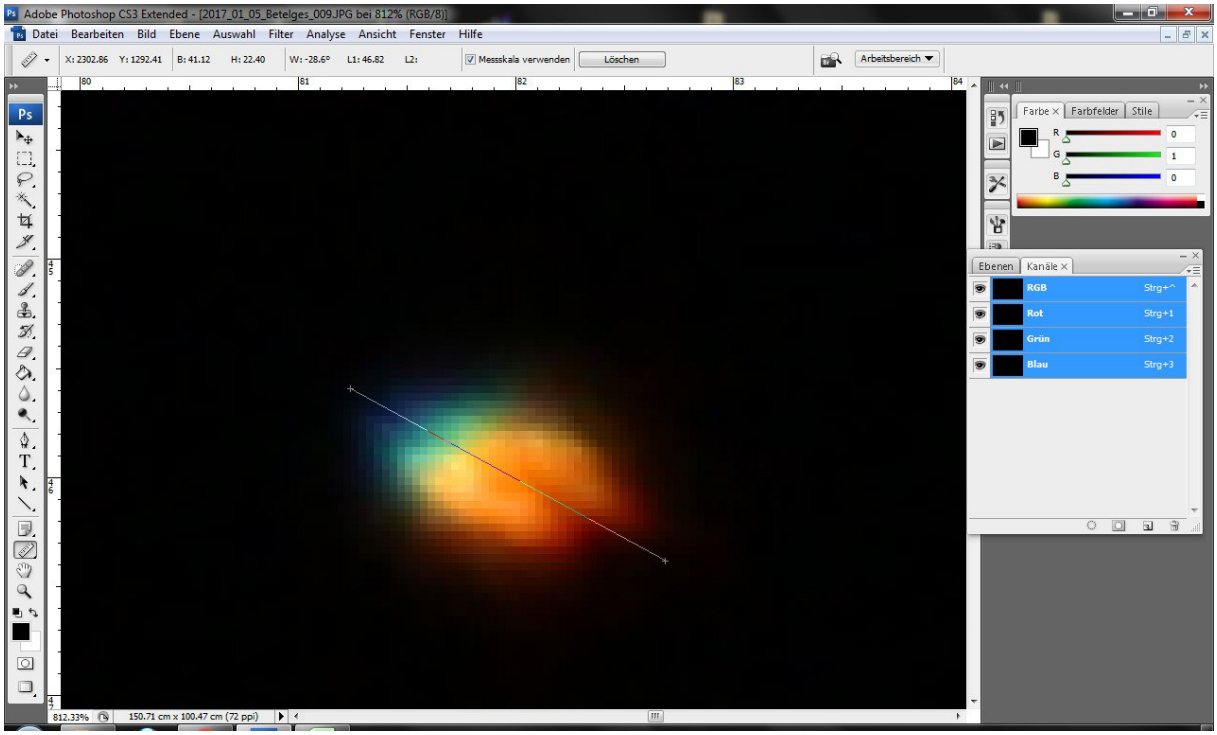


Abbildung 29: Messen der Dispersion in Pixeln

Zur Auswertung der Aufnahmen haben wir diejenigen Aufnahmen ausgesucht, auf denen die atmosphärische Dispersion, sofern vorhanden, gut zu erkennen war. Mithilfe des Lineal Werkzeugs bei Photoshop haben wir den Abstand zwischen blauem und rotem Farbrand in Pixeln gemessen, um diesen auch in die Tabelle einzutragen (siehe Abbildung 29).

Allerdings haben wir auch Bilder ausgewertet, auf denen keine Dispersion zu erkennen war. Ziel unseres Versuchs war es, den linearen Zusammenhang zwischen dem Tangens der Zenitdistanz und der Dispersion in Bogensekunden zu beweisen. Deshalb war es wichtig, auch Bilder, die nah am Zenit aufgenommen wurden, zu messen, da auch diese in die Berechnung mit einfließen mussten.

5.4.4. Maßstab ermitteln

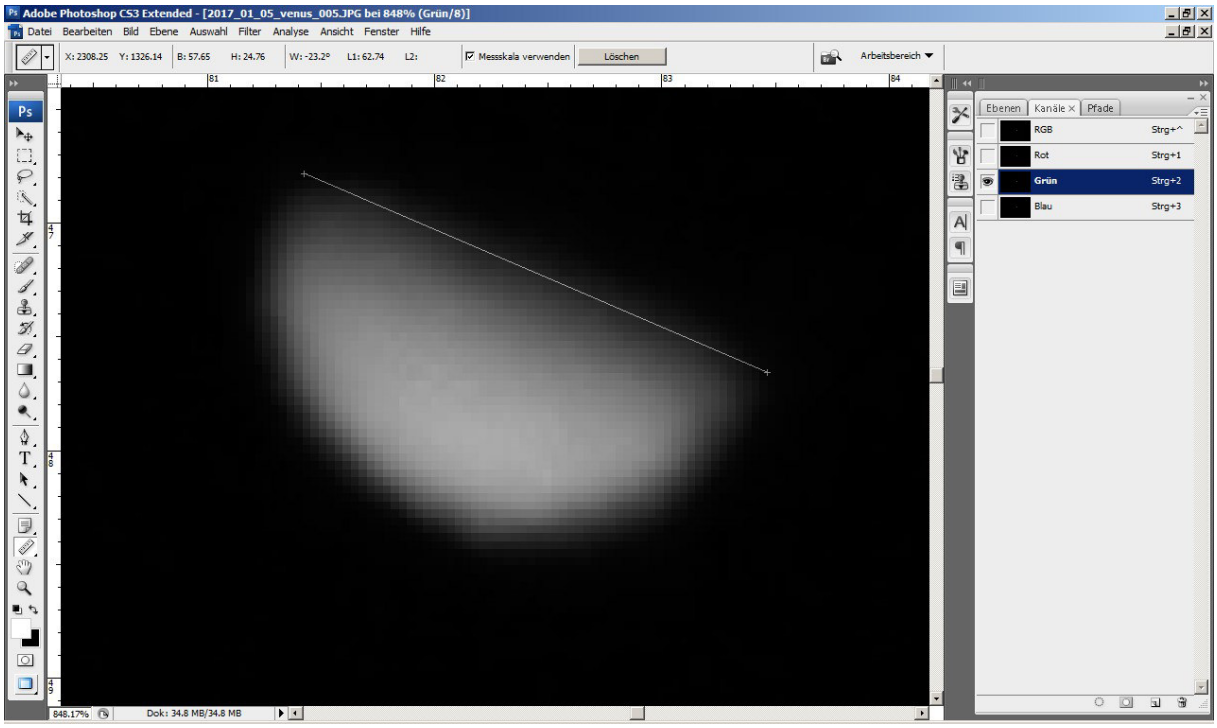


Abbildung 30: Ermitteln des Maßstabes

Durch das Messen mit Photoshop haben wir die Dispersion in Pixeln ausgemessen. Um an die Dispersion in Bogensekunden zu gelangen, haben wir anhand des Durchmessers der Venus den Maßstab berechnet. Hierzu haben wir mithilfe von Stellarium den Durchmesser der Venus zum Zeit der Beobachtung ermittelt. Dann haben wir wieder mit dem Lineal Werkzeug von Photoshop den Durchmesser der Venus in Pixeln gemessen (siehe Abbildung 30). Mit dem Quotienten dieser beiden Werte sind wir auf einen Maßstab von $\frac{2270}{6074}\,\frac{''}{px}$ gekommen.

5.4.5. Diagramm erstellen

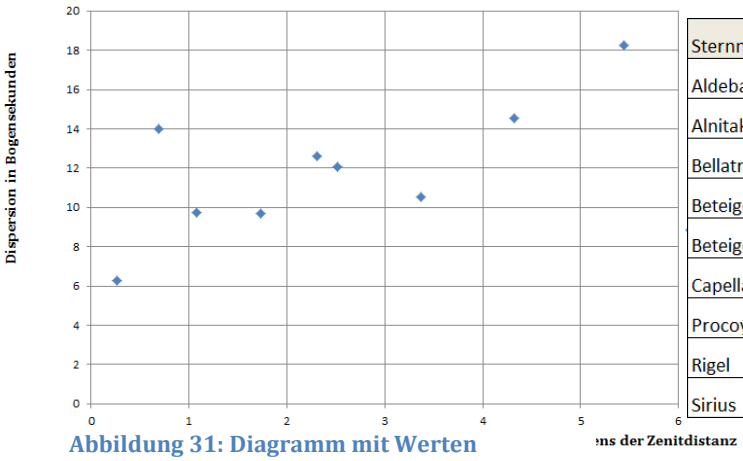


Abbildung 31: Diagramm mit Werten

Sternname	tan(z)	Dispersion in Bogensekunden
Aldebaran	0,69	14,00
Alnitak	3,36	10,52
Bellatrix	2,30	12,63
Beteigeuze	4,32	14,57
Beteigeuze	1,08	9,76
Capella	0,26	6,26
Procoyn	1,73	9,68
Rigel	2,51	12,05
Sirius	5,44	18,24

Abbildung 32: Tabelle mit Werten

Mit dem bekannten Maßstab war es uns nun möglich, die atmosphärische Dispersion in Bogensekunden zu berechnen. Hierzu haben wir lediglich den Dispersionswert in Pixeln mit dem Maßstab multipliziert. Die ermittelten Werte haben wir der Tabelle hinzugefügt.

Aus den uns nun bekannten Werten haben wir eine Tabelle erstellt, in der nur der Extrakt der vorherigen enthalten war: der Name des Sterns, der Tangens der Zenitdistanz und die Dispersion in Bogensekunden (siehe Abbildung 32).

Aus dieser haben wir ein XY-Diagramm erstellt (siehe Abbildung 31). Hierbei war auf der X-Achse der Tangens der Zenitdistanz und auf der Y-Achse die Dispersion in Bogensekunden.

5.4.6.1. Ausgleichsgerade mit Excel bestimmen

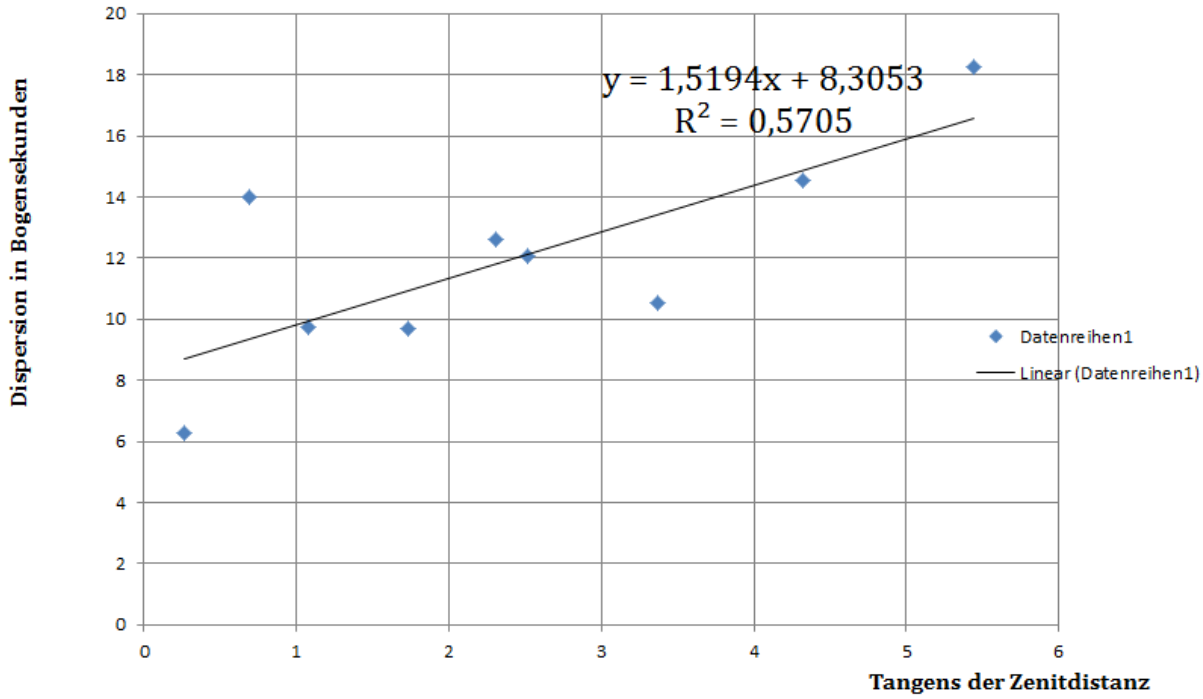


Abbildung 33: Ausgleichsgerade bestimmen

Mithilfe der Trendlinienfunktion von Excel konnten wir eine Ausgleichsgerade bestimmen (siehe Abbildung 33).

5.4.6.2. Ausgleichsgerade mit der linearen Regression bestimmen

Sternname	tan(z)	Dispersion in Bogensekunden	tan(z)*Dispersion	(tan(z))^2
Aldebaran	0,693710322	13,99596641	9,709146364	0,48123401
Alnitak	3,363462589	10,52406981	35,39731507	11,3128806
Bellatrix	2,302384133	12,63000494	29,07912297	5,3009727
Beteigeuze	4,320410414	14,56900999	62,94410248	18,6659461
Beteigeuze	1,077011213	9,761672703	10,51343096	1,15995315
Capella	0,260895352	6,258943859	1,63292936	0,06806638
Procoyn	1,728273741	9,684436396	16,73735712	2,98693013
Rigel	2,511606795	12,05473682	30,2767589	6,30816869
Sirius	5,440203036	18,23586599	99,2068135	29,5958091
Summe:	21,69795759	107,7147069	295,4969767	75,8799609
m=	1,51935817			
b=	8,305304197			

Abbildung 34: Ermittlung der Ausgleichsgerade mit der linearen Regression

Die Ausgleichgerade haben wir allerdings auch selber berechnet. Dies geht mit dem Prinzip der kleinsten Quadrate. Für die Gerade $y = mx + b$ gibt es folgende Formel zur Berechnung der Steigung und des Y-Achsenabschnittes.

$$m = \frac{n * \sum xy - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum xy}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$ [22]

Hierbei gibt n die Anzahl der Punkte, $\sum x$ die Summe aller X-Werte, $\sum y$ die Summe aller Y-Werte, $\sum xy$ die Summe aller Produkte von je zwei zusammengehörigen X- und Y-Werten und $\sum x^2$ die Summe aller quadrierten X-Werte an.

In unserem Fall ist der X-Wert der Tangens der Zenitdistanz und der Y-Wert ist die Dispersion in Pixeln. Alle benötigten Werte konnten wir nun berechnen, in die gegebene Formel eingeben und sind so auch auf dasselbe Ergebnis gekommen, wie Excel mit seiner Ausgleichsgeradenberechnung, wobei unseres sogar noch genauer ist (siehe Abbildung 34). Dies unterstützt noch einmal, dass diese Ausgleichsgerade wirklich die ist, die am wenigsten von allen Werten abweicht, sodass wir uns sicher sein können, dass sie uns das bestmögliche Ergebnis liefert.

[22] „Astronomical Formulae for Calculators" (Jean Means)

5.4.7. Fehlerbetrachtung

Beim Betrachten der Geraden fällt auf, dass besonders Aldebaran stark abweicht. Wir haben somit diese Bild noch einmal genauer angeschaut. Hierbei haben wir gemerkt, dass die Fokussierung nicht genau war. Zoomt man sehr nah an den Stern heran, so kann man einen schwarzen Punkt in seiner Mitte erkennen, was ein Zeichen für Unschärfe ist (siehe Abbildung 35). Durch diesen wurde der Durchmesser des Sternes vergrößert und verfälscht. Deshalb haben wir beschlossen, diesen aus der Wertung herauszunehmen.

Abbildung 35: Unscharfes Bild von Aldebaran

Abbildung 36: Überbelichtetes Bild von Sirius

Außerdem ist uns beim erneuten Betrachten aller Bilder aufgefallen, dass die Fotos von Sirius stark überbelichtet sind. Das erkennt man daran, dass die Aufnahme des Sterns in der Mitte weiß ist (siehe Abbildung 36). Folglich haben wir auch diesen aus der Wertung ausgeschlossen.
Allerdings kann man anhand dieses Fotos die atmosphärische Dispersion äußerst gut erkennen, da sowohl der rote als auch der blaue Farbrand zu sehen sind.

5.4.8. Neue Ausgleichsgerade mit der linearen Regression bestimmen

Sternname	tan(z)	Dispersion in Bogensekunden
Alnitak	3,36346259	10,52406981
Bellatrix	2,30238413	12,63000494
Beteigeuze	4,32041041	14,56900999
Beteigeuze	1,07701121	9,76167270
Capella	0,26089535	6,25894386
Procoyn	1,72827374	9,68443640
Rigel	2,51160679	12,05473682
Summe:	15,56	75,48
m=	1,67449256	
b=	7,060142605	

Abbildung 37: Lineare Regression mit den endgültigen Werten

Nach dem Rauswurf von Aldebaran uns Sirius musste eine neue Ausgleichgerade bestimmt werden, da sich sowohl die Steigung als auch der Y-Achsenabschnitt durch das Weglassen der Werte verändert haben. Dies haben wir wieder mit der Formel für die lineare Regression gemacht, die wir auch schon für die erste Ausgleichsgerade benutzt haben.

Durch

$$m = \frac{n * \sum xy - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{\sum y * \sum x^2 - \sum x * \sum xy}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

folgte also

$$y \approx 1{,}6745x + 7{,}0601 \quad \text{(siehe Abbildung 37)}$$

Für unsere Messung bedeutet das:

$$\Delta R \approx 1{,}6745 \tan(z) + 7{,}0601$$

5.5. Endergebnis

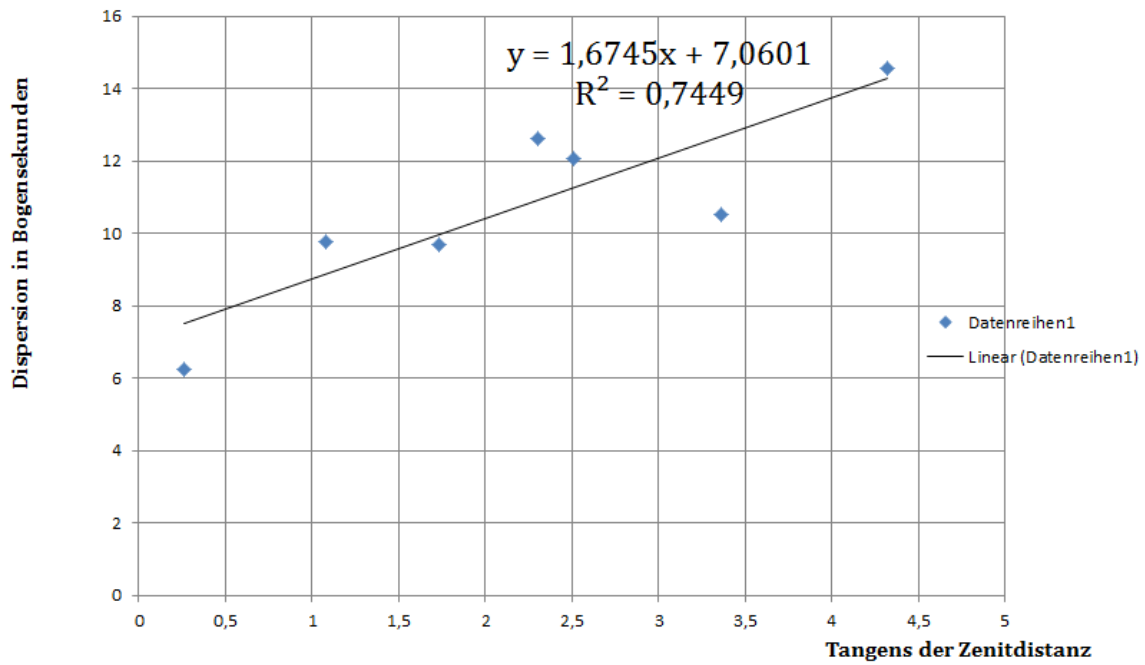


Abbildung 38: Verbesserte Ausgleichsgerade

Die fertige Ausgleichsgerade hat den Funktionsterm $y = 1{,}6745x + 7{,}0601$ (siehe Abbildung 38). Also ergibt sich die von der Zenitdistanz abhängende Dispersion $\Delta R = 1{,}6745\tan(z) + 7{,}0601$.

In der Berechnung hatten wir den Term $\Delta R = 1{,}4\tan(z)$ berechnet.

Alles in einem lässt auch sagen, dass die ermittelte Steigung unserer Ausgleichsgeraden relativ nah an den Katalogwert herankommt.

An der Gleichung lässt sich zudem erkennen, dass ein fotografierter Stern niemals den Durchmesser 0 haben kann, was durch den Y-Achsenabschnitt deutlich wird. Das liegt daran, dass die Kamera den Stern nicht nur als Punkt aufnimmt, sondern sein Licht leicht gestreut wird. Der Schnittpunkt mit der Y-Achse gibt an, wie viel die Kamera streut, was man also anhand dieses Ergebnisses auch ermitteln kann.

Unser Experiment war somit erfolgreich und bestätigt die Annahme zu der Proportionalität der Dispersion zum Tangens der Zenitdistanz.

Schlussendlich ist zu erkennen, dass keiner der Werte genau auf der Geraden liegt. Das ist nachvollziehbar, da es immer Abweichungen von den eigentlichen Werten gibt:

Der Faktor, durch welchen Aufnahmen oft verfälscht werden ist das Seeing.

Zudem sind unsere Fotos natürlich nicht perfekt aufgenommen und teilweise nicht ganz fokussiert, wodurch sie manchmal etwas unscharf sind.

Abschließend ist jedoch trotzdem zu sagen, dass mit unserem Experiment die Proportionalität der Dispersion und dem Tangens der Zenitdistanz bestätigt wurde.

6. Quellenangabe

- Internetquellen
  - http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/sensorik/opt_grundlagen/opt_grundlagen.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/sensorik/optik/snellius.vscml.html
  - http://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/regenbogen
  - https://www.meteoros.de/themen/atmos/beugung-interferenz/hoefe-und-kraenze-um-sonne-und-mond/
  - http://www.atoptics.co.uk/droplets/corcols.htm
  - https://www.meteoros.de/themen/atmos/beugung-interferenz/brockengespenst-und-glorie/
  - https://www.youtube.com/watch?v=ws1Z7Q96Pn8
  - https://www.youtube.com/watch?v=GJ78G9AqfjM
  - http:// www.focus.de/familie/lernen/kinderfragen/warum-sind-wolken-weiss-meteorologie_id_2057603.html
  - https://www.meteoros.de/themen/atmos/luftschichten/gruener-strahl/
  - http://www.teleskop-express.de/shop/product_info.php/info/p1006_Celestron-C11-SC-XLT---280-2800mm-optischer-Tubus.html
  - http://www.astroshop.de/celestron-schmidt-cassegrain-teleskop-sc-279-2800-c11-ota/p,12232#tab_bar_1_select
  - http://www.digitalkamera.de/Testbericht/Canon_EOS_450D/4839.aspx
- Literatur
  - „Handbuch der Astrofotografie“ (Bernd Koch)
  - „Astronomical Formulae for Calculators“ (Jean Means)
- Sonstiges
  - Unterricht bei Bernd Koch
  - Physik Leistungskurs und Kurse bei Michael Winkhaus
  - Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums

7. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 3
  - Titel: Light_dispersion_conceptual_waves
  - Autor: Lucas V. Barbosa
  - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_dispersion_conceptual.gif#/media/File:Light_dispersion_conceptual_waves.gif
  - Lizenz: Public Domain
- Abbildung 4
  - Titel: Die verschiedenen Haloerscheinungen über dem Bülenberg bei Davos, GR (20.12.2005)
  - Autor: Dr. Christian Rixen
  - http://www.slf.ch/schneeinfo/wochenbericht/Schwerpunktthema/Haloerscheinungen/index_DE
  - Lizenz: Copyright SLF/Christian Rixen
- Abbildung 5
  - Titel: Kreisrunder-regenbogen-serfaus
  - Autor: Gerrit Eickner
  - https://de.wikipedia.org/wiki/Halo_(Lichteffekt)#/media/File:Kreisrunder-regenbogen-serfaus.jpg
  - Lizenz: CC-BY-SA 4.0
- Abbildung 6
  - Titel: Nebensonne Klimahaus
  - Autor: Klimahaus bhv
  - https://de.wikipedia.org/wiki/Nebensonne#/media/File:Nebensonne_Klimahaus.jpg
  - Lizenz: CC-BY-SA 4.0
- Abbildung 7
  - Titel: Lichtsäule
  - Autor: Wikipedia User: „Schnargel“
  - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lichts%C3%A4ule.jpg
  - Lizenz: CC-BY-SA 3.0, GNU Free Documentation License

- Abbildung 10
  - Titel: Mondregenbogen 20141009 061710
  - Autor: Andreas Tille
  - https://de.wikipedia.org/wiki/Mondregenbogen#/media/File:Mondregenbogen_20141009_061710.jpg
  - Lizenz: CC-BY 3.0
- Abbildung 11
  - Titel: Nebelbogen
  - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nebelbogen.jpg
  - Lizenz: Public Domain
- Abbildung 12
  - Titel: Mond(konora)
  - Autor: Wikipedia User „User: Rabax 63“
  - https://de.wikipedia.org/wiki/Korona_(Atmosph%C3%A4rische_Optik)#/media/File:Mond(konora).jpg
  - Lizenz: CC-BY-SA 4.0
- Abbildung 13
  - Titel: Glorie Boeing 737-800
  - Autor: Heino Sauerbrey
  - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glorie_Boeing_737-800.jpeg
  - Lizenz: CC-BY-SA 3.0
- Abbildung 14
  - Titel: Brockenspecter
  - Autor: Wikipedia User „Hornet97“
  - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brockenspecter.jpg
  - Lizenz: Public Domain
- Abbildung 19
  - Titel: Big green flash
  - Autor: TheBrockenInaGlory
  - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Big_green_flash.JPG
  - Lizenz: CC-BY-SA 3.0

- Abbildung 20
    - Autor: Wiebke Salzmann
    - http://www.physik.wissenstexte.de/halligen.htm

Alle hier nicht erwähnten Bilder haben wir entweder selber erstellt oder sind Screenshots aus den von uns verwendeten Programmen.

8. Danksagung

Zuallererst möchten wir unserem Kursleiter Bernd Koch danken, der es uns ermöglicht hat, eine wissenschaftliche Arbeit zu schreiben, indem er den Projektkurs Astronomie geleitet hat und uns die theoretischen Grundlagen gelehrt hat.
Zudem möchten wir erwähnen, dass wir Zugang zu der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums hatten. Diese ist dank Michael Winkhaus immer auf dem neusten Stand und mit höchstaktueller Technik ausgestattet. Ohne Michael Winkhaus hätte die Schule einen entscheidenden Teil weniger, und es wäre uns nicht möglich gewesen, selber Fotos aufzunehmen und während unserer Schulzeit zu forschen.
Zudem wollen wir uns bei den beiden Studenten und Referendaren Konstantinos Kiosseoglou und Burkhard Sirringhaus bedanken. Sie waren oft im Kurs anwesend und haben uns bei Fragen geholfen.
Ganz besonders wollen wir jedoch auch den diesjährigen Teilnehmern des Projektkurses danken. Wir hatten ein angenehmes Kursklima, in dem man gut und konzentriert arbeiten konnte.

9. Abschlusserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Hausarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt haben. Die Stellen der Hausarbeit, die anderen Quellen im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind durch Quellenangaben kenntlich gemacht. Dies gilt auch für bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.
Wir sind damit einverstanden, dass diese Projektarbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

Ort, Datum, Unterschrift

Ort, Datum, Unterschrift

Für eventuelle Rückfragen wenden Sie sich bitte an
vivien.picard@outlook.de oder christina.picard@outlook.de