

Ignaz-Günther-Gymnasium
Prinzregentenstr. 32-34
83022 Rosenheim

Jahrgang 2018/2019

Seminararbeit

im W-Seminar „Licht“

Warum Sterne strahlen

Experimente zur Erforschung des Phänomens

von

Theresa Ebner



Abb. 1: Sternenhimmel.

Betreuende Lehrkraft: Herr Dr. Thomas Grillenbeck

Abgabetermin: 06.11.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Strahlen auf Fotos von Sternen.....	3
2. Experimente zum Erklären der Strahlen	4
2.1 Versuchsaufbau	4
2.2 Interferenz und Beugung erklärt durch den Versuch an einer runden Blende.....	5
2.3 Erklärung des Huygensschen Prinzips durch die Beugung an einer Kante.....	7
2.4 Beugung an Blenden mit einer ungeraden Kantenanzahl	9
2.4.1 Beugung an einer Dreieckblende.....	9
2.4.2 Beugung an einer Fünfeckblende.....	9
2.5 Beugung an Blenden mit einer geraden Kantenanzahl und Formeln zur Berechnung der Abstände der Interferenzmaxima	10
2.5.1 Beugung an einer Viereckblende	10
2.5.2 Beugung an einer Sechseckblende.....	11
2.6 Weitere Untersuchungen	12
3. Ergebnisse und die Zusammenfassung der Theorie.....	13
4. Vergleich von Theorie und Praxis.....	14
5. Literaturverzeichnis.....	15
6. Abbildungsverzeichnis	16
7. Erklärung der eigenständigen Erstellung	18

1. Strahlen auf Fotos von Sternen

Viele von uns betrachten wahrscheinlich gerne den Sternenhimmel bei Nacht. Als ich ihn eines Tages fotografieren wollte, ist mir etwas aufgefallen, das zuvor noch nie meine Aufmerksamkeit erregt hatte: Auf dem Foto waren mehrere Strahlen ausgehend aus den Zentren der Sterne zu sehen. Sobald ich aber wieder den Sternenhimmel betrachtete, konnte ich mit dem Auge keine Strahlen mehr entdecken.

Wodurch also entstehen diese Strahlen auf den Fotos? Zusätzlich bemerkte ich, dass dieses Phänomen auch bei Fotos von Lampen, vor allem aufgenommen in der Dunkelheit, zu sehen ist. Meine Neugier war umso mehr geweckt und so begann ich zu recherchieren. Ich fand jedoch im Internet zum Großteil nur Informationen, wie man nahezu perfekte Fotos von Sternen schießen könne. Nur ein einziger Artikel wies darauf hin, dass die Strahlen von der Blende der Kamera abhingen.¹ Aber eine richtige physikalische Erklärung konnte ich nicht finden.

Deshalb habe ich mir einen Versuchsaufbau ausgedacht, wie ich dieses Phänomen physikalisch erforschen und erklären könnte. Da ich die meisten Utensilien für diesen Versuch nicht zu Hause hatte, durfte ich ein Praktikum am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in München machen, um dort meine Experimente durch zu führen.

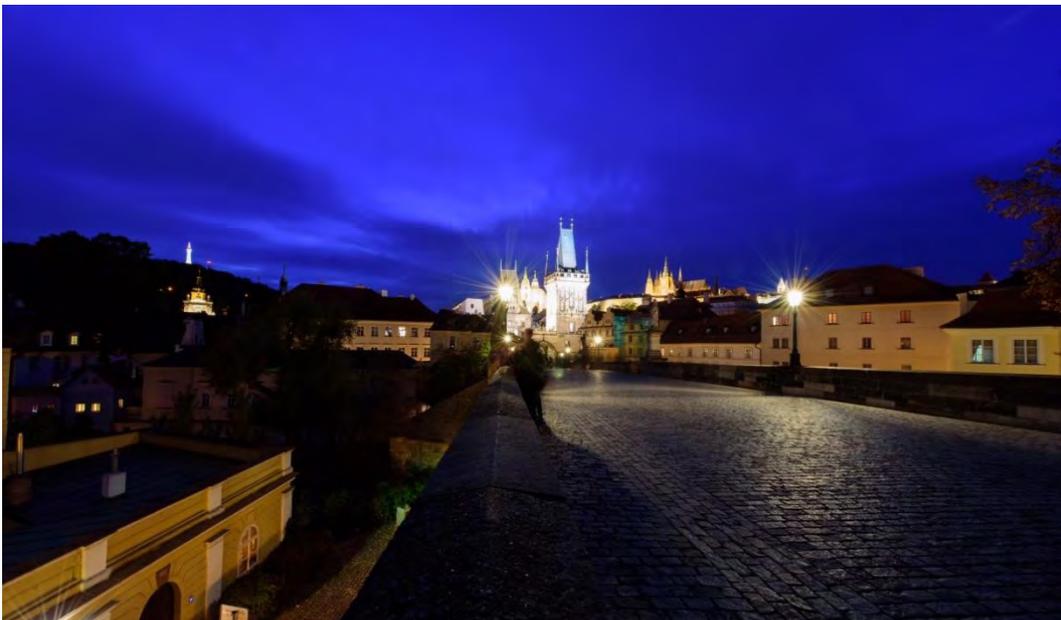


Abb.2: Phänomen bei Laternen in der Nacht.

¹ vgl. Ludolph, 2015

2. Experimente zum Erklären der Strahlen

2.1 Versuchsaufbau

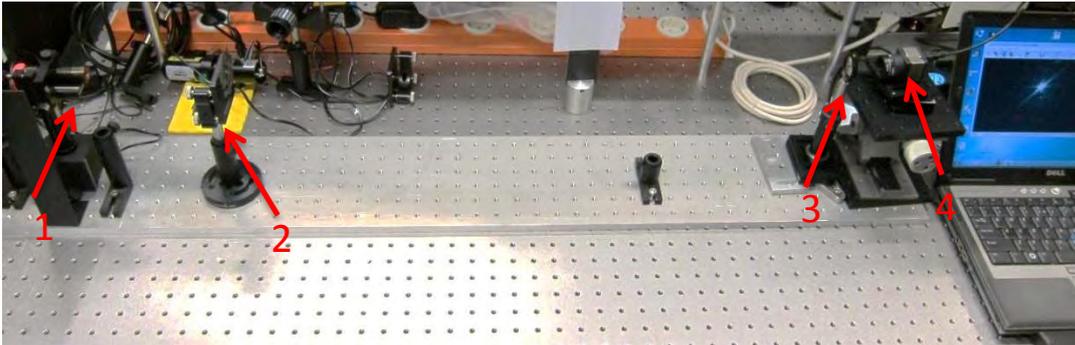


Abb.3: Versuchsaufbau.

Der Versuch bestand aus:

- (1) einem Laser als Lichtquelle, also stellvertretend für den Stern oder die Lampe
- (2) je nach Versuch verschiedenen Blenden ,die die Öffnung der Kamera verkörpern sollten
- (3) einer Linse, um das Licht des Lasers möglichst zentriert zu haben
- (4) einem Beamprofiler (ein spezielles Aufnahmegerät) – angeschlossen an einen Laptop – , der das Foto oder Display darstellen sollte

Das Licht des Lasers trifft also zuerst auf die Blende, danach auf die Linse und dann auf den Beamprofiler. Anschließend wird das Bild auf dem Laptop angezeigt. Der Abstand zwischen Blende und Laser war größer als der, der auf dem Bild zu sehen ist, er betrug ca. 80 cm.

2.2 Interferenz und Beugung erklärt durch den Versuch an einer runden Blende

Als Erstes war eine runde Blende im Einsatz. Einfach aus dem Grund, da ich dachte, die Blende einer Kamera sei ein rundes Loch. Ich erwartete also Strahlen als Ergebnis.

So leicht war es allerdings nicht. Es entstanden Ringe.

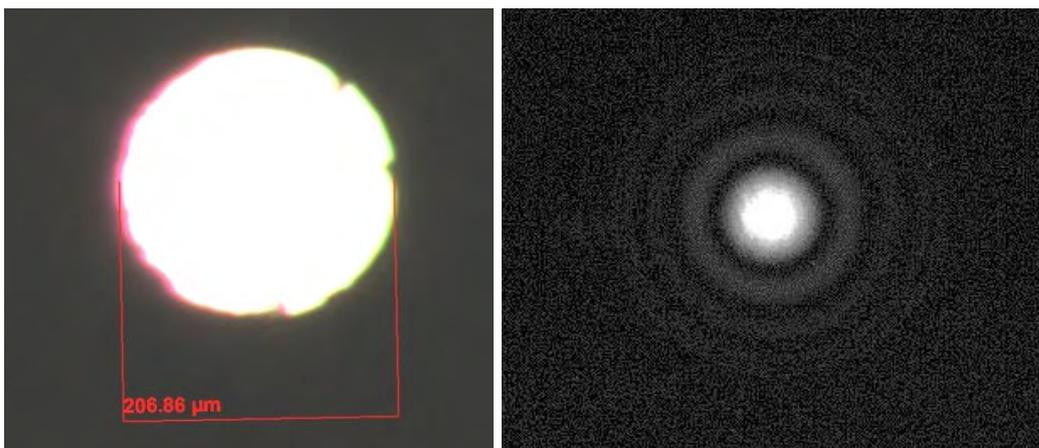


Abb.4: Runde Blende.

Abb.5: Beugung an der runden Blende.

Um diese Erscheinung zu verstehen, braucht man zu allererst Grundkenntnisse über zwei physikalische Wellenphänomene. Man stellt sich hierbei das Licht nämlich als Welle vor.

Das erste Phänomen wird Beugung genannt. Es besagt, dass eine Welle abgelenkt wird, sobald sie auf ein Hindernis trifft. Das zweite Phänomen ist die Interferenz. Diese entsteht wenn sich einzelne Elementarwellen überlagern. Dabei gibt es zwei Fälle: Entweder die einzelnen Wellen verstärken sich dadurch, dies nennt man konstruktive Interferenz, oder sie löschen sich gegenseitig aus, dies nennt man destruktive Interferenz. Es entstehen also Maxima und Minima. Voraussetzung für dieses Phänomen ist, dass die zwei Wellen, die sich überlagern, einen Gangunterschied Δs besitzen.

Bei einer konstruktiven Interferenz gilt: $\Delta s = \lambda \cdot k$, $k \in \{0; 1; 2; 3; \dots\}$

Bei einer destruktiven Interferenz gilt: $\Delta s = (k + 0,5) \cdot \lambda$, $k \in \{0; 1; 2; 3; \dots\}$

λ = Wellenlänge; k = Ordnung des Maximums bzw. Minimums²

² vgl. Joachim Herz Stiftung

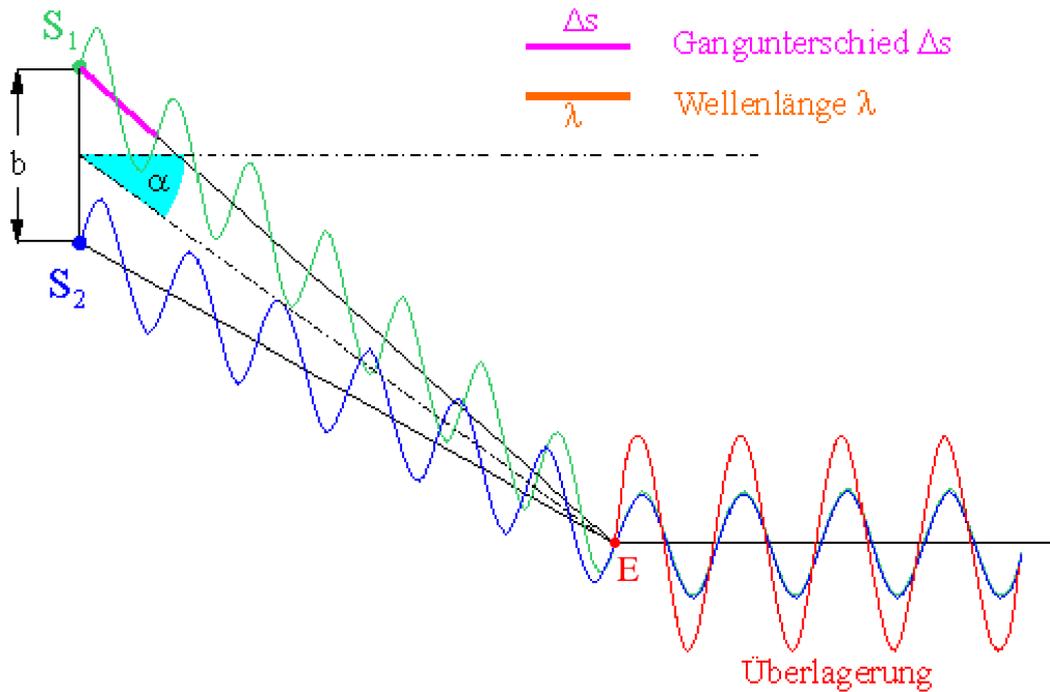


Abb.6 Interferenz. Die Wellen S_1 und S_2 haben den Gangunterschied Δs und interferieren im Punkt E .

Die Lichtwellen werden also bei einer Kreisblende so abgelenkt, dass sie sich überlagern und Interferenzringe schließlich als Beugungsbild erscheinen. Deshalb kann die Blendenöffnung einer Kamera nicht rund sein. Man sähe sonst auf jedem Foto Ringe um Laternen oder Sterne und keine Strahlen.

2.3 Erklärung des Huygensschen Prinzips durch die Beugung an einer Kante

Als nächsten Schritt habe ich die runde Blende entfernt und stattdessen eine Rasierklinge als Kante dazwischen gestellt, um zu testen, ob die Blende einer Kamera womöglich ein Vieleck sei.

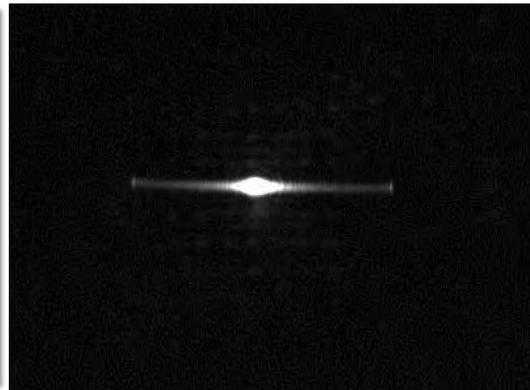
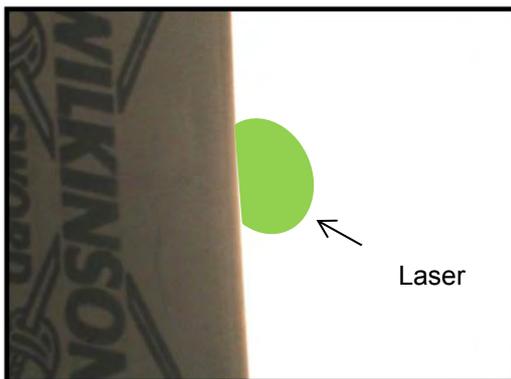


Abb.7. Rasierklingenkante.

Abb.8 Beugung an der Kante.

Es entstanden schließlich zwei zur Kante senkrechte Strahlen.

Die Strahlen kann man mit dem Huygensschen Prinzip erklären. Jeder einzelne Punkt einer Wellenfront wird als Ausgangspunkt einer neuen Kugelwelle (Elementarwelle) angesehen. Die Überlagerung dieser Wellen, also die äußerste einhüllende Welle, ergibt dann das Gesamtbild hinter einem Hindernis, also den Strahl.³

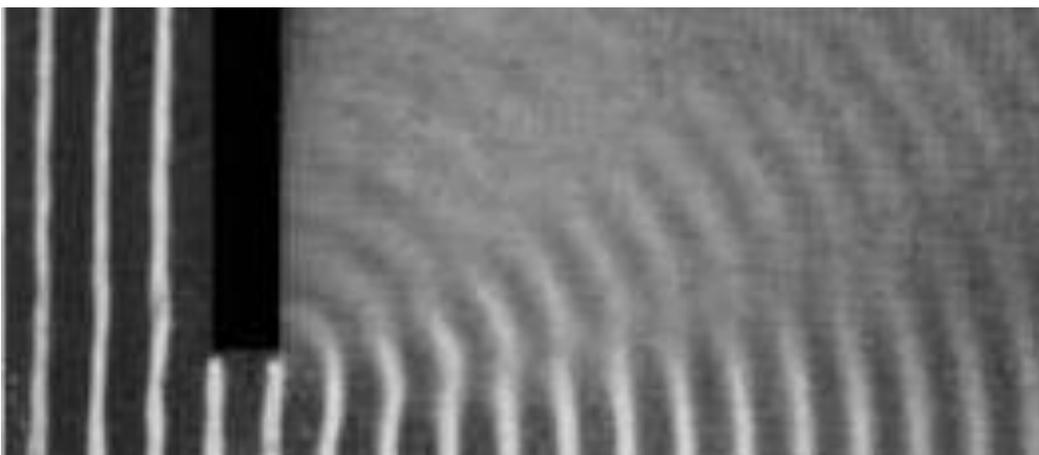


Abb.9 Beugung an der Kante.

³vgl. Bergmann/Schäfer 2008, S. 470

Folglich kann man diese Theorie formulieren: Pro Kante entstehen zwei darauf senkrechte Strahlen. Die Blende einer Kamera hat also Kanten, wobei jede einzelne zwei Strahlen erzeugt.

Durch diesen Versuch kann man nun auch verstehen, warum bei einer runden Blende Interferenzringe entstehen.

Bei einer Kreisblende, die nahezu unendlich viele kleine Kanten besitzt, entstehen also unendlich viele Strahlen, die sich überlagern, so dass man durch Interferenz keine einzelnen Strahlen sehen kann, sondern Ringe.

2.4 Beugung an Blenden mit einer ungeraden Kantenzahl

2.4.1 Beugung an einer Dreieckblende

Um zu testen, ob diese Theorie auch tatsächlich bei Formen mit Kanten funktioniert, habe ich aus Rasierklingen andere Blendenformen gebastelt, wie z.B. eine Dreieckblende.

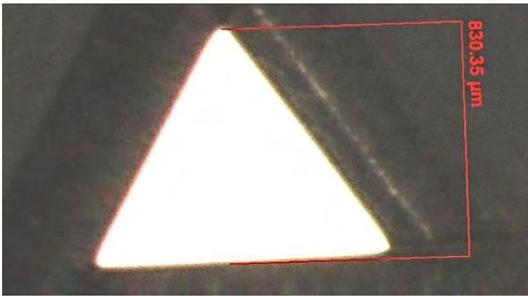


Abb.10: Dreieckblende.

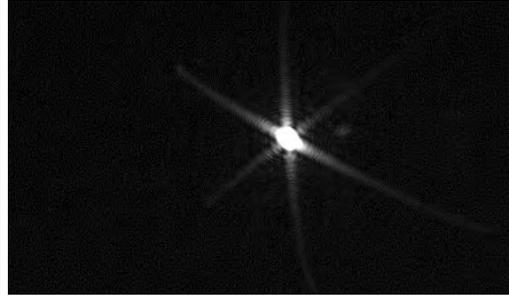


Abb.11: Beugung an der Dreieckblende.

Es entstanden sechs Strahlen, also insgesamt ein großer Strahl pro Kante. Dieses Ergebnis spricht also für die aufgestellte Theorie.

2.4.2 Beugung an einer Fünfeckblende

Anschließend wurde derselbe Versuch mit einer Fünfeckblende gemacht.



Abb.12: Fünfeckblende.

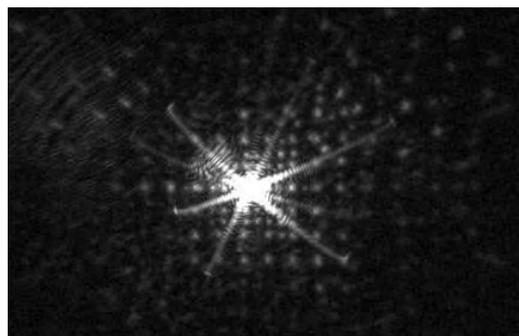


Abb.13: Beugung an der Fünfeckblende.

Es entstehen zehn Strahlen (zwei senkrechte Strahlen sind hier schlechter zu erkennen).

Das heißt, dass auch hier die Theorie Recht behält.

2.5 Beugung an Blenden mit einer geraden Kantenanzahl und Formeln zur Berechnung der Abstände der Interferenzmaxima

2.5.1 Beugung an einer Viereckblende

Als Nächstes habe ich einen Versuchsaufbau mit einer Viereckblende – wieder aus Rasierklingen - erstellt.

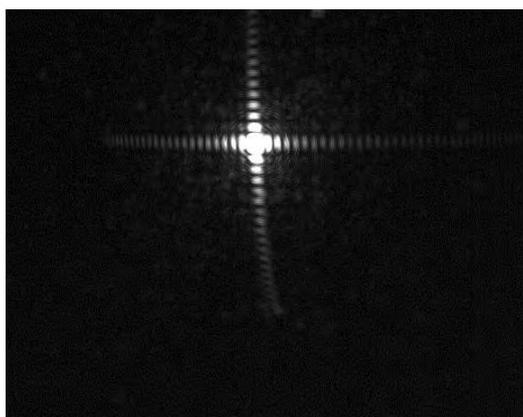
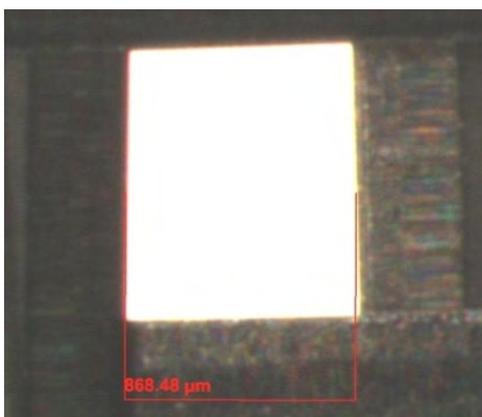


Abb.14: Viereckblende.

Abb.15: Beugung an der Viereckblende.

Vier Strahlen waren zu sehen. Da sich beim Viereck jeweils zwei Kanten gegenüberliegen, überlagern sich jeweils zwei Strahlen, weshalb keine acht Strahlen zu sehen sind. Durch die Überlagerung interferieren die Elementarwellen miteinander. Es entstehen Maxima und Minima. Deshalb haben die Strahlen kleine Unterbrechungen.

Diese Interferenz erscheint immer bei zwei gegenüberliegenden Kanten, also einem Spalt. Hierbei kann man auch die Abstände zwischen den Maxima ausrechnen.

Der Abstand der beiden Kanten ist $b = 868,5 \mu\text{m}$ und die Wellenlänge $\lambda = 513 \text{ nm}$ (grüner Laser). Um den Abstand zwischen dem 0. und 1. Maxima auszurechnen, benötige ich $k = 1$.

$$\Delta s = \lambda \cdot k$$

$$\Delta s = 513 \text{ nm} \cdot 1 = 513 \text{ nm}$$

$$\Delta s = b \cdot \sin(\alpha)$$

$$\sin(\alpha) = \Delta s : b = 513 \text{ nm} : 868,5 \mu\text{m} = \frac{57}{96500}$$

$$\alpha = 0,0338^\circ$$

Der Abstand zwischen der Blende und dem Beamprofiler ist $d = 80\text{cm}$. Um den Abstand x zwischen dem 0. und 1. Maximum berechnen zu können, braucht man schließlich diese Formel:

$$\tan(\alpha) = \frac{x}{d}$$

$$x = \tan(\alpha) \cdot d = \tan(0,0338^\circ) \cdot 80 \text{ cm} = 4,719 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Der Abstand zwischen dem 0. und 1. Maxima beträgt also $4,719 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.⁴

Leider war es mir nicht möglich den Abstand bei dem Versuch zu messen, ich konnte dieses Ergebnis also nicht überprüfen.

2.5.2 Beugung an einer Sechseckblende

Denselben Versuch habe ich dann noch einmal, nur mit einer Sechseck Blende, gemacht.



Abb. 16: Sechseckblende.

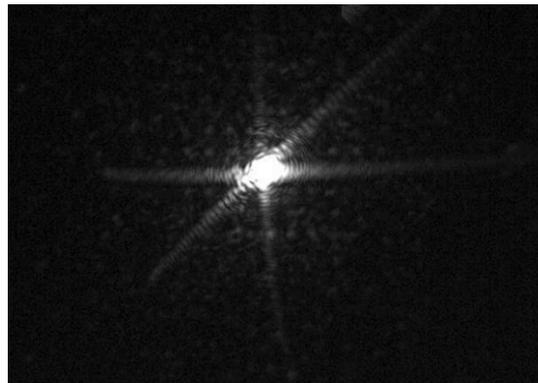


Abb. 17: Beugung an der Sechseckblende.

Es entstehen sechs Strahlen mit Interferenzunterbrechungen. Man könnte somit wieder den Abstand der Maxima berechnen.

⁴ vgl. Bayrisches Staatsministerium für Unterricht und Kultur/Cornelsen Verlag GmbH 2016, S.25

2.6 Weitere Untersuchungen

Der Abstand zwischen Kamera und Blende, muss groß sein, da sonst Fresnelsche Beugung, also Beugung im Nahfeld, auftritt, wobei schließlich keine Strahlen entstehen. Beugung im Fernfeld nennt man Fraunhofer-sche Beugung, hierbei entstehen auch die Strahlen.⁵ Dies kann man auch selbst entdecken. Denn wenn man zu nahe an eine Lampe herantritt, sieht man auf dem Foto ab einen gewissen Punkt keine Strahlen mehr.

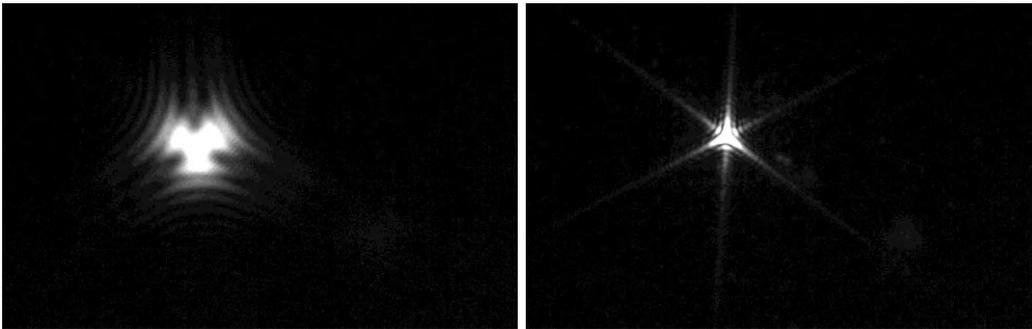


Abb.18: Beugung im Nahfeld (15cm Abstand). Abb.19: Beugung im Fernfeld mit einer Linse (80cm Abstand).

Bei der Durchführung meiner Versuche erkannte ich außerdem, dass je mehr Lamellen die Blende hat, desto schlechter die Strahlen zu sehen sind. Bei einer Blende mit 21 Lamellen erschienen sogar Interferenzringe.

Bei einer Blende mit kleinerem Durchmesser waren die Strahlen zudem deutlicher zu erkennen, als bei einem größeren Durchmesser.

⁵vgl. Hecht 2014, S.751

3. Ergebnisse und die Zusammenfassung der Theorie

Blendenform	Anzahl der Kanten in der Blende	Anzahl der entstehenden Strahlen
Rund	-	-
Rasierklingenkante	1	2
Dreieck	3	6
Viereck	4	4
Fünfeck	5	10
Sechseck	6	6

Abb.20: Experimentergebnisse.

Licht hat Welleneigenschaften: Es wird also gebeugt, wenn es auf ein Hindernis trifft, und kann sich verstärken oder auslöschen, sobald eine Lichtwelle auf eine andere mit dem Gangunterschied Δs trifft.

Wenn Licht auf eine Kante trifft, so wird es darauf senkrecht gebeugt und es entstehen zwei Strahlen. Die Blendenöffnung einer Kamera ist ein Vieleck mit Kanten. Das Licht wird also auf jede dieser Kanten senkrecht gebeugt.

Bei Blenden mit einer ungeraden Anzahl an Kanten entsteht eine doppelte Anzahl an Strahlen, da pro Kante zwei Strahlen erzeugt werden.

Bei Blenden mit einer geraden Anzahl an Kanten, liegen sich jeweils zwei Kanten gegenüber. Dies bedeutet, es überlagern sich jeweils zwei Strahlen. Bei monochromatischem Licht, also derselben Farbe/Wellenlänge, kann man deshalb Interferenzmaxima und -minima sehen.

Die Öffnung einer Kamera ist also nicht rund, sondern hat eine eckige Blendenform mit vielen Kanten. An diesen wird das Licht immer senkrecht darauf gebeugt. Dieses Phänomen kann man auch mit dem eigenen Auge erleben: Wenn man die Augen etwas zusammenkneift, kann man vor allem senkrechte Strahlen sehen, da über dem Auge eine Kante, das Lid, erscheint.

4. Vergleich von Theorie und Praxis

Um zu testen, ob meine Theorie auch wirklich funktioniert, habe ich die Strahlen der Laterne auf dem Foto und die Kantenanzahl der Blende von der Kamera, die das Foto gemacht hat, verglichen. Glücklicherweise hatte die Laterne 18 Strahlen, während die Blende neun Kanten hatte.

Dies bedeutet meine Theorie über den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Kanten einer Kamerablende und der Anzahl der Strahlen aus dem Zentrum der Laterne oder des Sternes hält auch in der Realität Stand.



Abb.21: 18 Strahlen.



Abb.22: Kamerablende mit neun Kanten.

Auf den Kamerafotos von Sternen oder Laternen sieht man allerdings nie Interferenzmaxima und -minima.

Diese kann man nur erkennen wenn monochromatisches Licht verwendet wird, also das Licht mit nur einer Wellenlänge. Denn sobald Polychromatisches Licht verwendet wird, also Licht mit mehreren Wellenlängen, überdecken sich die einzelnen Maxima und Minima der verschiedenen Wellenlängen.

Da Sterne und Laternen weißes Licht verbreiten, also Licht mit verschiedenen Wellenlängen, kann man keine Interferenzmuster auf den Kamerafotos bemerken.

5. Literaturverzeichnis

Bücher

BAYRISCHES Staatsministerium für Unterricht und Kultur/Cornelsen Verlag GmbH (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Formelsammlung für die bayrischen Gymnasien. Cornelsen Verlag GmbH, Berlin, 2016

BERGMANN, Ludwig/Schäfer, Clemens (Hrsg.): Lehrbuch der Elementarphysik Band 1. Mechanik, Akustik, Wärme. De Gruyter, Berlin, 2008

HECHT, Eugene: Optik. De Gruyter, Berlin, 2014

Internetquellen

JOACHIM Herz Stiftung (Hg.): Beugung und Interferenz.
Unter: <https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz>
(Stand: 30.10.2018)

LUDOLPH, Patrick: Blendensterne – wie bekommt man den Sterneffekt bei Nachtaufnahmen.
Unter: <https://neunzehn72.de/blendensterne-wie-bekommt-man-den-sterneffekt-bei-nachtaufnahmen/>:14.02.2015
(Stand: 05.04.2018)

6. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Sternenhimmel. S.1, Foto von NASA, ESA/Hubble (Hg.): Large and small stars in harmonious coexistence.

Unter: <https://www.spacetelescope.org/images/heic0607a/>
(Stand: 02.11.2018)

Abb.2: Phänomen bei Laternen in der Nacht. S.3, Foto privat

Abb.3: Versuchsaufbau. S.4, Foto privat

Abb.4: Runde Blende. S.5, Foto privat

Abb.5: Beugung an der runden Blende. S.5, Foto privat

Abb.6: Interferenz. S.6, Foto von Joachim Herz Stiftung: Beugung und Interferenz.

Unter: <https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz>
(Stand: 30.10.2018)

Abb.7: Rasierklingenkante. S.7, Foto privat

Abb.8: Beugung an der Kante. S.7, Foto privat

Abb.9: Beugung an der Kante. S.7, Niedersächsisches Landesinstitut für schulische Qualitätsentwicklung: Beugung und Streuung.

Unter: <http://www.nibis.de/~ursula/Physik/SekII/BeugStreu.htm>
(Stand 02.11.2018)

Abb.10: Dreieckblende. S.9, Foto privat

Abb.11: Beugung an der Dreieckblende. S.9, Foto privat

Abb.12: Fünfeckblende. S.9, Foto privat

Abb.13: Beugung an der Fünfeckblende. S.9, Foto privat

Abb.14: Viereckblende. S.10, Foto privat

Abb.15: Beugung an der Viereckblende. S.10, Foto privat

Abb.16: Sechseckblende. S.11, Foto privat

Abb.17: Beugung an der Sechseckblende. S.11, Foto privat

Abb.18: Beugung im Nahfeld (15cm Abstand). S.12, Foto privat

Abb.19: Beugung im Fernfeld mit einer Linse (80cm Abstand). S.12, Foto privat

Abb.20: Experimentergebnisse. S.13, eigene Darstellung

Abb.21: 18 Strahlen. S.14, Foto privat

Abb.22: Kamerablende mit neun Kanten. S.14, Foto privat



Seminararbeit

Erklärung der eigenständigen Erstellung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers/der Verfasserin