

BEITRAG AUS DER REIHE:

Karl-Heinz Lotze, Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik Band 5 Naturphänomene und Astronomie

ISBN 3 - 7896 - 0666 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 2002

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Werner B. Schneider

Die Glorie

1 Einleitung

Die Glorie oder auch Aureole ist ein Phänomen der meteorologischen Optik, das weitaus unbekannter ist als z. B. Regenbogen, Korona, Hof, Heiligenschein oder Kranz [1]. Vielen Menschen ist die Glorie nur aus mystischen Darstellungen bekannt, in denen die Einzigartigkeit einer Person z.B. in einem Bild dadurch ausgedrückt wird, dass der Kopf der Person mit einer Glorie - einem oder mehreren Ringen - umgeben wird. Darstellungen dieser Art findet man in fast allen Kulturkreisen (siehe Abb. 1), und es ist zu vermuten, dass diese Verwendung der Glorie etwas mit der Art ihrer Entstehung bzw. ihrer Beobachtbarkeit zu tun hat.



Abb. 1: Ausschnitt aus dem Isenheimer Altar von M. Grünewald (1513-15) (links), rechts eine vor einer Nebelwand positionierte Person, deren Kopf von einer Glorie umgeben ist. Die S/W-Wiedergabe kann die ganze Schönheit der Aufnahme nur ahnen lassen (Fotos: W. B. Schneider, Christl Vogel)

2 Historischer Rückblick

Die erste überlieferte wissenschaftliche Beschreibung einer Glorienerscheinung erfolgt - relativ spät - erst im Jahr 1735 im Zusammenhang mit der Expedition der französischen Gradmessungskommission in die Anden - der Regenbogen wurde bereits von Aristoteles beschrieben und von ihm stammt auch ein erster Deutungsversuch. Aus den Aufzeichnungen von A. de Ulloa und P. Bouguer, Teilnehmer der Andenexpedition, stammt die in Abb. 2 gezeigte Darstellung einer Glorie, die deren typische Merkmale aufweist (nach [2]): Der Schatten einer Person fällt auf eine Nebelwand und die Person sieht dann, dass der Schatten des

Kopfes von einem System konzentrischer, farbiger Ringe umgeben ist. Jeder Ring zeigt die typischen Regenbogenfarben mit dem Merkmal, dass sich bei jedem Ring jeweils rot außen und blau innen befindet. Der Öffnungswinkel für das Ringsystem kann bis ca. 10° (typisch ca. 3°) reichen. Dies hängt von der Tropfengröße und von der Homogenität der Tropfen ab. Im Nebel findet man Tropfendurchmesser im Bereich von ca. 10^{-1} bis 10^{-4} mm. Bezeichnend ist, dass die Glorie nur in der durch Sonne und Beobachter definierten Richtung im rückgestreuten Licht zu beobachten ist. Schon für einen daneben stehenden Begleiter ist die Erscheinung, die den Schatten seines Begleiters umgibt, nicht mehr zu sehen. Er sieht wiederum nur seine eigene Glorie. Vermutlich ist es diese Besonderheit, der die Glorie ihre Bedeutung in mystischen Darstellungen verdankt.

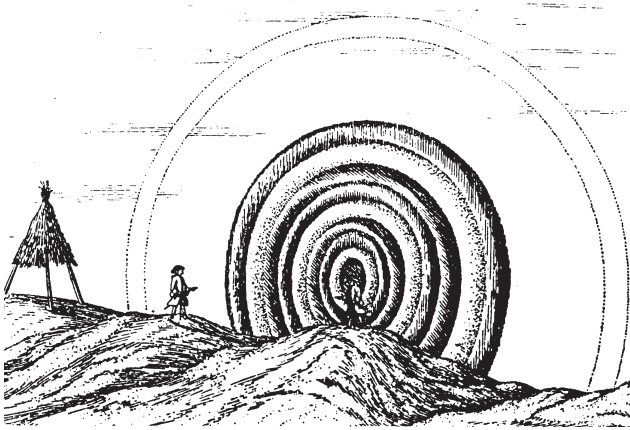


Abb. 2: Erste überlieferte zeichnerische Darstellung einer Glorienerscheinung (A. de Ulloa und P. Bouguer 1735 nach [2]). (Anm.: Die Zeichnung muss aus dem Gedächtnis entstanden sein und ist perspektivisch falsch. Sie zeigt nicht, dass die Erscheinung nur in der durch Sonne und Beobachter definierten Rückwärtsrichtung zu sehen ist)

Die meteorologischen Bedingungen für das Auftreten einer Glorie sind normalerweise sehr selten anzutreffen, so dass die Beobachtung einer Glorie zu einem besonderen Ereignis wird. Die Beobachtung einer Glorie wird wahrscheinlicher, sobald man sich oberhalb des Nebels oder der Wolken befindet. Dies ist in Bergregionen mit viel Nebel eher gegeben. Das Brockengebiet und Schottland scheinen nach den historischen Überlieferungen hier besonders geeignet zu sein. Das dort häufigere Auftreten hat dazu geführt, dass z.B. für die Glorie auch die Bezeichnung Brockengespenst üblich geworden ist. Noch häufiger ist die Bedingung für das Beobachten einer Glorie vom Ballon oder vom Flugzeug aus zu erfüllen. Abb. 3 zeigt eine der ersten Darstellungen einer Glorie, die von einem bemannten Ballon aus beobachtet wurde (Tissandier 1873, zitiert in [2]).

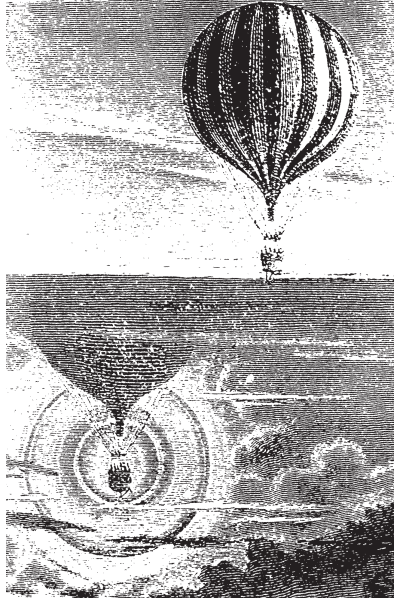


Abb. 3: Erste zeichnerische Darstellung der Beobachtung einer Glorie von einem Ballon aus. Das Bild stammt aus G. Tissandier: „Observations meteorologiques en ballon“ aus dem Jahr 1873 (zitiert in [2]). Auch hier handelt es sich um eine Zeichnung aus dem Gedächtnis mit falscher Perspektive.

Mit der bemannten Ballonfahrt und der Entwicklung der Flugzeuge ergaben sich viele Möglichkeiten für die Beobachtung und der wissenschaftlichen Untersuchung der Bedingungen für das Auftreten einer Glorie. Eine umfassende Darstellung der bis ca. 1922 erfolgten Beschreibungen zur Glorie ist in der von Pernter und Exner verfassten „Meteorologischen Optik“ zu finden [2]. Anzumerken ist noch die historisch interessante Tatsache, dass die „Wilsonsche Nebelkammer“ im Grunde wegen der Glorie erfunden worden ist. C.T.R. Wilson sagt dazu in seiner Nobelpreisrede [3] im Jahr 1927:

„In September 1894 I spent a few weeks in the Observatory which then existed on the summit of Ben Nevis, the highest of the Scottish hills. The wonderful optical phenomena shown when sun shone on the clouds surrounding the hill-top, and especially the coloured rings surrounding the sun (coronas) or surrounding the shadow cast by the hill-top or observer on mist or cloud (glories) greatly excited my interest and made me wish to imitate them in the laboratory. At the beginning of 1895 I made some experiments for this purpose - making clouds by expansion of moist air after the manner of Coulier and Aitken. Almost immediately I came across something which promised to be of more interest than the optical phenomena which I had intended to study.“

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Glorienerscheinung unter neuen Gesichtspunkten genauer erforscht ([4] bis [9]). Neben neuen Erkenntnissen aus der Optik spielten leistungsfähige Computer, mit denen das die Glorie exakt beschreibende Mie-Streuproblem numerisch gelöst werden konnte, eine entscheidende Rolle (z.B. [13]). Bald wurde die Glorie auch für Gebiete der Physik außerhalb der meteorologischen Optik interessant, da ähnlich wie „Regenbogeneffekte“ auch „Glorieneffekte“ bei Atom- und Kernstoßprozessen vorhergesagt und beobachtet wurden ([10], [11] und [14]).

Abb. 4 zeigt zwei neuzeitliche, aus einem Flugzeug gemachte Aufnahmen einer Glorie, deren Pracht allerdings durch die S/W-Abbildung verloren geht.



Abb. 4: Beobachtung von Glorien aus dem Flugzeug. Bei einer nahen Wolke sieht man den Schatten im Zentrum der Glorie (links). Ist sie weit entfernt, so sieht man die Glorie fast allein (rechts). Hinweis: Farbige moderne Darstellungen von Glorienerscheinungen findet man z. B. in [8] und [12]. (Fotos: W. B. Schneider)

3 Physikalische Deutung

Theoretische Ansätze zur Beschreibung der Glorie sind z.B. in [4],[5], [12] und [13] zu finden. Das der Glorie zugrundeliegende Mie-Streuproblem ist zu komplex, um hier dargestellt werden zu können. Wir werden uns daher bei der Deutung von experimentellen Beobachtungen leiten lassen, nur Ergebnisse der veröffentlichten Berechnungen verwenden und einige Modellexperimente zur Glorie angeben. Für die Glorie gilt, dass ihre Entstehung an Wassertropfchen gebunden ist und dass sie aus konzentrischen Ringen besteht, bei denen vom sichtbaren Spektrum jeweils rot außen und blau innen zu finden ist, und dass der Ringdurchmesser von der Tropfengröße abhängt. Ferner kann die Glorie nur in einem sehr engen Winkelbereich in Rückwärtsrichtung zur Lichtquelle beobachtet werden.

Ein erster Deutungsversuch könnte darin bestehen, die Glorie auf die Beugung an vielen, unregelmäßig angeordneten Scheibchen, die im Mittel einen größeren Abstand als einige Wellenlängen voneinander aufweisen, zurückzuführen. Sind die Scheibchen statistisch verteilt, so addiert sich nur die Strahlungsleistung, die

von jedem einzelnen Streulichtzentrum (Beugung an einer Scheibe, zu vergleichen mit der Beugung am Einfachspalt; s. z.B. [17]) ausgeht, was insgesamt zu einer Erhöhung der Energiestromdichte im Empfänger führt. In Vorwärtsrichtung ist diese Erscheinung einfach zu beobachten, wenn man eine punktförmige Lichtquelle z.B. durch eine behauchte oder mit Lykodiumsporen bestreute Glasscheibe betrachtet. In der Natur tritt diese Beugungserscheinung auf, wenn Sonnen- oder Mondlicht durch dünne Wolken- oder Nebelschichten zum Beobachter gelangt. Man sieht dann eine kreisförmige Aufhellung um die Lichtquelle, die einen oder manchmal mehrere farbige, konzentrische Ringe aufweist. Man nennt diese Aufhellung Kranz, Korona, oder Hof ([1], [2] und [17]) (siehe Abb. 5). Die zwar der Glorie manchmal sehr ähnliche Erscheinung hilft nicht bei der Deutung der Glorie, da Kranz, Hof oder Korona nur in Vorwärtsrichtung auftreten. Wie später gezeigt wird, kann die Glorie zwar auch in Vorwärtsrichtung auftreten, ist dann aber in der Natur nicht beobachtbar, da sie von anderen Erscheinungen wegen ihrer geringen Helligkeit überdeckt wird.

Ein anderes Phänomen, das oft mit der Glorie wechselt, ist der sogenannte Heiligenschein, ein Phänomen, das wie die Glorie nur in perfekter Rückwärtsrichtung zu beobachten ist. Fällt der Schatten des Kopfes einer Person auf betautes Gras, so ist für die Person der Schatten des Kopfes von einem hellen „Schein“ umgeben. Dieses Phänomen wird in dem Beitrag von Schlichting [19] genauer beschrieben. Es handelt sich hier um den sogenannten „Katzenaugeneffekt“. Die Tropfen auf dem Gras wirken wie eine Linse mit dem Brennpunkt auf dem Gras. Von dort wird das aus der Richtung Sonne-Beobachter kommende Licht wieder vorzugsweise auf dem gleichen Weg zurückgestreut. Dabei können jedoch keine farbigen Ringe entstehen. Auch der Heiligenschein eignet sich somit nicht zur Deutung der Glorie.

Man hat lange nach einer physikalisch einsichtigen Erklärung für die Glorie gesucht. Strahlenoptische Überlegungen offenbaren schnell das unüberwindlich erscheinende Hindernis. Man konnte nicht erklären, wie das Licht das für die Streuung in die perfekte Rückwärtsrichtung notwendige Bogenstück um den Tropfen durchläuft (s. Abb. 6). Die Bemühungen um die Deutung der Glorie bekamen einen wesentlichen Impuls durch H.C. van de Hulst im Jahr 1948 (s. [4]). Er bemerkte, dass man die Glorie erklären könne, falls die Tropfen von einem leuchtenden, einige Wellenlängen dicken Saum umgeben wären, der Licht tangential in



Abb. 5: Fotografie eines Hofes um den Mond. Die SW-Wiedergabe verbirgt die feinen farbigen Strukturen dieses Ringsystems (Foto: W. B. Schneider)

alle Richtungen aussendet. Er gab auch einen Hinweis auf die mögliche Entstehung dieses Lichtsaums, und zwar verwies er auf die zu dieser Zeit aktuell erforschten quergedämpften Wellen bei Licht, wie sie bei Totalreflexion im dünneren Medium angeregt werden (Goos und Hähnchen [20] (experimentell) und z.B. Wolter [21] (theoretisch)).

In der Tat zeigen Mie-Theorie [12] und Laborexperimente [15], dass dieser Lichtsaum bei einem Tröpfchen mit den genannten Eigenschaften vorhanden ist. Der Hauptbeitrag zur Glorie erfolgt daher durch die Strahlen, die im Abstand $d/2$ (d : Tropfendurchmesser) von der Achse tangential zum Tropfen einfallen, die dann im Inneren des Tropfens jeweils unter dem Winkel der Totalreflexion auf die Grenzfläche auftreffen und die quergedämpften Oberflächenwellen anregen (s. Abb. 6). Die experimentelle Bestätigung am Beispiel eines Tropfens ist in Abb. 7 dargestellt.

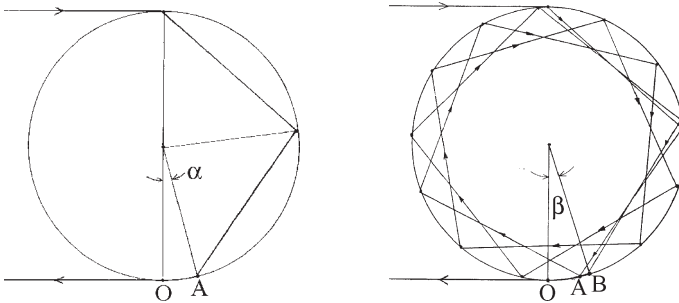


Abb. 6: Strahlenverlauf für einen tangential verlaufenden Strahl, von dem ein Teil unter dem Winkel der Totalreflexion in den Tropfen eindringt und im Tropfen an der Grenzschicht total reflektiert wird. Dadurch werden im Außenraum quergedämpfte Wellen angeregt. Im linken Bild werden zwei Totalreflexionen angedeutet. Die Überwindung des zu $\alpha=14,4^\circ$ (im Tropfen) gehörenden Bogens von B nach O konnte lange nicht gedeutet werden. Im rechten Bild werden die vielen möglichen Reflexionen im Inneren des Tropfens schematisch dargestellt (ein weiterer beitragender Anteil tritt z.B. für den Winkel von $\beta=17,7^\circ$ (3,5 Umläufe im Tropfen) auf, Bogen B nach O).

Aus Symmetriegründen ist nur das eng um die Vorwärts- oder Rückwärtsrichtung vom Saum ausgehende Licht in Phase, und es können die erwähnten Interferenzerscheinungen auftreten. Betrachtet man einen Schnitt durch einen Tropfen (Abbildung 8), so wirkt der Saum in dieser Ebene praktisch wie ein beleuchteter Doppelspalt, für den die zugehörigen Beugungsmaxima für $k\lambda = d \sin\varphi$ auftreten. Wegen der Rotationssymmetrie nehmen die Doppelspalte alle möglichen Orientierungen an, so dass keine Beugungsstreifen sondern Beugungsringe auftreten. Für eine bestimmte Ordnung k gehören zum roten Spektralbereich die größeren φ -Werte und zum blauen die kleineren, so dass der äußere Teil der Ringe rot und

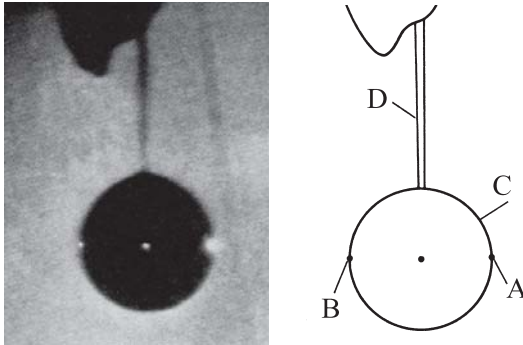


Abb. 7: Experimentelle Bestätigung für die Rückstreuung des tangential einfallenden Laserlichts (linkes Bild Fotografie, rechtes Bild Schema mit der Eintrittsstelle bei A und der Austrittsstelle bei B; der Tropfen C hat einen Durchmesser von 2mm, der Glasfaden D eine Dicke von 0,04mm) (Bilder nach [15])
 der innere blau erscheint. Der in Richtung der Achse zurückreflektierte Strahl kann - je nach Phasenlage - auch an der Spaltbeugung beteiligt sein. Der zugehörige Spaltabstand beträgt $d/2$ und ändert die Durchmesser der Beugungsringe nicht. Es wird nur die Streulichtverteilung im Ringsystem beeinflusst.

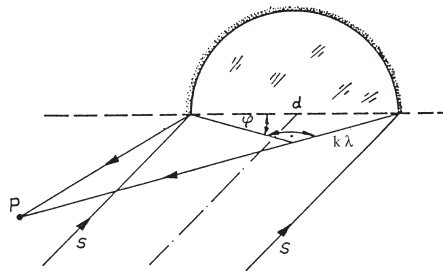


Abb. 8: Skizze zur Deutung der Glorienringe über die Beziehung beim Doppelspalt. Gezeigt ist eine Schnittenebene. Das vom Saum links und rechts ausgehende Licht interferiert und es ergeben sich je nach Weglängenunterschied in Abhängigkeit vom Winkel helle und dunkle Streifensegmente, die sich aufgrund der Rotationssymmetrie zu Ringen zusammensetzen. Die Glorie kann damit als Beugungsbild von Ringblenden gedeutet werden.

4 Experimente zur Glorienerscheinung

Das schönste Experiment zur Glorie ist deren Beobachtung und Dokumentation in der Natur. Allerdings ist man auf Zufälle angewiesen. Es gilt auch hier eine Art „Murphysches Gesetz“: Siehst du die schönste Glorie deines Lebens, so hast du den Fotoapparat nicht dabei oder bis der „Foto“ betriebsbereit ist, ist die Glorie wieder verschwunden. Ähnliches gilt leider auch für andere Phänomene der me-

teorologischen Optik. Am einfachsten ist die Beobachtung vom Flugzeug aus (s. Abb. 4). Die Beobachtungen der Glorie in der Natur sind zwar wichtig und für den Beobachter besonders erlebnisreich, sie ermöglichen jedoch nicht, gezielt Parameter zu ändern, so wie es sich Wilson bei der Konstruktion der Nebelkammer sicher gewünscht hatte. Die Experimente mit einem kleinen Tropfen (s. Abb. 7) sind im normalen Labor nicht so einfach und in der Schule praktisch nicht durchzuführen. Man ist daher auf Modellversuche angewiesen. Im Folgenden werden zwei in diesem Zusammenhang wenig bekannte Experimente beschrieben, die in Modellexperimenten charakteristische Eigenschaften der Glorie plausibel machen können.

4.1 Simulation der Glorienerscheinung durch ein Modell

Die Glorie lässt sich, wie in Abb. 8 skizziert ist, auf die Interferenz am Doppelspalt zurückführen. Es liegt daher nahe, im Modell den Saum um den Tropfen durch eine angepasste Beugungsstruktur zu erzeugen. Hierzu wurden (s. auch [8]) auf einem DIN-A4-Blatt ca. 400 Kreise ($d \sim 4\text{mm}$, Strichstärke 0,5 mm) statistisch verteilt mit einer Schablone gezeichnet. Man kann dies auch einfacher durch einen Computer mit passendem Drucker durchführen lassen (Ausschnitt in Abb. 9). Durch Abfotografieren aus verschiedenen Abständen wurden die Kreise z.B. bis auf $d = 0,01\text{ mm}$ bzw. $d = 0,02\text{ mm}$ verkleinert; damit ist später auch der Einfluss der Tropfengröße demonstrierbar. Auf dem Negativ erscheinen die schwarzen Kreise

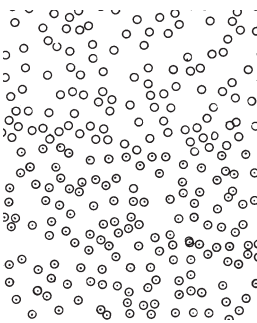


Abb. 9: Ausschnitt der Vorlage mit gezeichneten Ringen: obere Hälfte ohne - untere Hälfte mit Punkt

als durchsichtige Ringe (allgemeine Hinweise zur Erstellung von Beugungsobjekten sind in [16] angegeben). Beleuchtet man das Negativ mit Laserlicht, so wird in Vorwärtsrichtung Licht gestreut und es kommt zu den erwarteten Beugungsringen, die man auf einem Schirm auffangen kann. Der offensichtliche Nachteil dieses Modells ist, dass die Glorie nur in Vorwärtsrichtung simuliert wird, in der sie in der Natur nicht beobachtet werden kann. Um die Glorie auch in Rückwärtsrichtung zu demonstrieren, wurde die Schichtseite der Negative mit einer Aluminiumschicht im Hochvakuum bedampft. Die Schicht des Negativs ist an den durchsichtigen Stellen wegen des dort herausgelösten Silbers eingefurcht, wie man unter einem Mikroskop erkennen kann. Durch das Bedampfen erhält man damit eine Art „Reflexionsphasengitter“, das durch die Ver-

spiegelung zusätzlich einen hohen Beugungswirkungsgrad aufweist. Mit diesen so hergestellten Beugungsstrukturen lassen sich ohne großen Aufwand die zur Glorie führenden Beugungsringe in Rückwärtsrichtung - auch in einem größeren Hörsaal - mit bis zu ca. 10 Beugungsordnungen demonstrieren. In Abb.10 sind zwei Beispiele für $d = 0,01\text{mm}$ gezeigt. Das linke Bild zeigt die erwartete Streulicht-

verteilung. Beim Bild in der Mitte beobachtet man die gleichen Ringdurchmesser aber mit einer anderen Streulichtverteilung. Die zugehörige Beugungsvorlage unterscheidet sich dadurch, dass die Scheibchen in der Mitte beim Zeichnen mit einem Punkt versehen wurden, der das direkt in Richtung der Achse zurückreflektierte Licht simuliert (s. Abb. 9). Man erkennt, dass durch die „Halbierung“ des Spaltabstandes die Abmessungen des Ringsystems nicht beeinflusst werden - lediglich die Streulichtverteilung ändert sich.

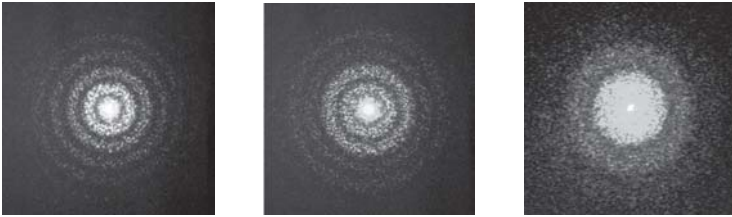


Abb. 10: Interferenzerscheinung erzeugt mit der beschriebenen Modellanordnung zur Glorie bei Beleuchtung mit einem Laser und der Beobachtung in Rückwärtsrichtung. Links: Ringblende ohne, Mitte: mit Punkt im Zentrum der Ringblende (s. Abb. 9). Der zusätzliche Punkt bewirkt nur eine andere Verteilung der Strahlungsleistung, ohne die Ringdurchmesser zu beeinflussen. Zum Beleg des Unterschieds zum Hof oder Kranz ist im rechten Bild die Beugungerscheinung für volle Streuscheiben (Bärlappsporen) in Vorwärtsrichtung dargestellt (vgl. Abb. 5). (Fotos: W.B. Schneider)

Der Effekt ist im Experiment besonders deutlich zu sehen, wenn man den Laserstrahl über die Grenze zwischen den beiden Ringarten führt (s. Abb. 9). Verwendet man die Struktur mit dem größeren Ringdurchmesser ($d = 0,02$ mm), so haben die simulierten Glorienringe den erwarteten kleineren Durchmesser. Die hier vorgestellte Simulation erlaubt es, einige Aspekte der Glorie eindrucksvoll zu demonstrieren. Allerdings darf man nicht vergessen, dass der Lichtsaum in der Simulation durch einen Vorgang erzeugt wurde, der nichts mit den quergedämpften Wellen zu tun hat. Um auch etwas Vertrauen in die Ursache des Lichtsaums, die quergedämpften Wellen, zu bekommen, werden in 4.2 einige Modellexperimente zu diesem Phänomen angegeben.

4.2 Modellexperimente zu quergedämpften Wellen

Mit cm-Wellen lassen sich viele Eigenschaften von sichtbarem Licht einfacher und instruktiver demonstrieren als mit Licht selbst. Dazu gehören auch Experimente zu quergedämpften Wellen. Quergedämpfte Wellen sind nicht nur wegen der Glorie von Interesse. Sie sind auch Gegenstand aktueller Forschung im Zusammenhang mit der Entwicklung von „Überlichtmikroskopen“ und „Atomoptiken“. Darüber hinaus spielen sie bei Lichtleiterfasern eine wichtige Rolle. Weitere Anregungen für Experimente mit cm-Wellen findet man z.B. in den Experimentieranleitungen zum jeweils von Lehrmittelfirmen angebotenen Gerätesatz [22]. Wir



Abb. 11: Anordnung zur Untersuchung quergedämpfter Wellen (cm-Wellen).
 Bestandteile: cm-Wellensender (rechts), 90° -Prisma aus Kunststoff (Mitte, totalreflektierend an der Hypotenuse für senkrecht auf eine Kathete fallende cm-Wellen), Empfänger bestehend aus einer Diode (gleichzeitig Empfangsdipol) mit einem Abschirmblech (s. vergrößerten Ausschnitt rechts oben); das Empfangssignal liegt im mV-Bereich (Foto: W.B. Schneider)

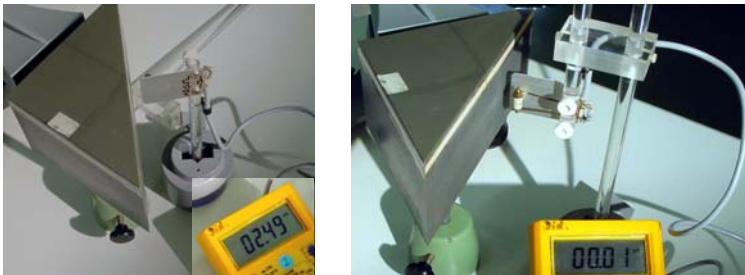


Abb. 12: Nachweis der Ausbreitungsrichtung der quergedämpften Welle mit Hilfe des Empfängers. Das linke Bild zeigt anhand der Anzeige des DV-Voltmeters die zur Diode hinlaufende Welle, während im rechten kein Ausschlag festzustellen ist, d.h. die Wellen laufen in dem Bild von oben nach unten. (Foto: W.B. Schneider)

wählen die in Abb. 11 dargestellte Anordnung, die aus einem 90° -Prisma (Hypotenuse: ca. 18cm) aus Kunststoff, einem Sender (Wellenlänge ca. 2cm) und einem richtungsempfindlichen Empfänger besteht. Der Brechungsindex dieses Kunststoffes ist so gewählt, dass bei senkrechtem Einfall auf eine Kathete Totalreflexion an der Hypotenuse auftritt. Auf der „Luftseite“ der Hypotenuse werden dann quergedämpfte Wellen angeregt, die sich entlang der Hypotenuse ausbreiten und wieder in das Material eintreten. Die Ausbreitung und die Dämpfung quer

zur Ausbreitungsrichtung lassen sich mit dem Empfänger demonstrieren (s. Abb. 12 und Abb.13). Mit der Anordnung in Abb. 11 kann man insgesamt die Eigenschaften der quergedämpften Wellen demonstrieren, und man kann Vertrauen in die für die Entstehung der Glorie verantwortlichen Wellen gewinnen. Man kann allerdings nicht die Abstrahlung zeigen. Dazu wäre eine Kugel mit passendem Brechungsindex notwendig.

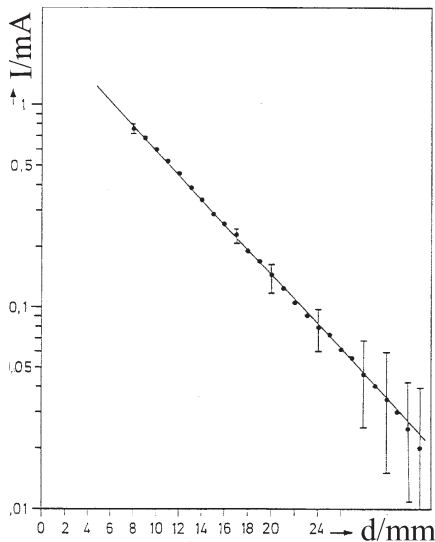


Abb. 13: Abhängigkeit des Diodenstroms (Strahlungsleistung) vom Abstand d zur Hypotenuse in halblogarithmischer Auftragung. Der Empfänger wird schrittweise entlang der Senkrechten zur Hypotenuse nach außen bewegt. Man erkennt den geradlinigen Verlauf, der den exponentiellen Abfall bestätigt und zeigt, dass sich die quergedämpfte Welle in einem ein bis zwei Wellenlängen dicken Saum entlang der Grenzfläche (Hypotenuse) ausbreitet (s. z.B. [1])

5. Ausklang

Für den Autor ist die Glorie von den an Tropfen gebundenen optischen Himmelserscheinungen die faszinierendste. Hier spielen ihr relativ seltenes, oft überraschendes Auftreten und ihre optische Schönheit eine wesentliche Rolle. Es lohnt sich, mit dem Foto Jagd auf sie zu machen. Entdeckt man doch dabei noch manch andere interessante optische Erscheinung. Auch Jugendliche lassen sich für die „Jagd“ auf diese seltene Naturerscheinung besonders begeistern, zumal sich hinter der Glorie noch sehr viel Geheimnisvolles verbirgt.

Aktualisierte Fassung eines Beitrags in Didaktik der Physik, Tagungsband des Fachverbandes Didaktik der Physik der DPG, München 1985

6 Literaturverzeichnis

- [1] BERGMANN-SCHAEFER: *Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III Optik*, Berlin 1978; Anmerkung: Das Kapitel über „Optik der Atmosphäre“ ist ab der 8. Auflage leider nicht mehr berücksichtigt.
- [2] PERNTNER-EXNER: *Meteorologische Optik*, Wien 1922
- [3] Wilson, C.T.R.: *Nobelpreisreden 1927*
- [4] van de Hulst, H.C.: *Light Scattering from Small Particles*, New York 1957 (berichtigter Nachdruck Dover Publications, New York 1981)
- [5] DEIRMENDJIAN, D.; R. CLASEN, W. VIEZE: *J. Opt.Soc.Am.* 510 (1961) 62
- [6] FAHLEN, T.S.; H.C. BRYANT: *J.Opt.Soc.Am.* 56 (1966) 1635
- [7] KHARE, V.; H.M. NUSSENZVEIG: *Phys. Rev. Lett.* 33 (1974) 976
- [8] BRYANT, H.C.; N. JARMIE: *Sc. Am.* 7 (1974) 60 - 71
- [9] NUSSENZVEIG, H.M.: *Sc. Am.* 4 (1977) 116 - 127
- [10] FORD, K. W.; J. A. WHEELER: *Annals of Phys.* 7 (1959) 259
- [11] BRYANT, H. C.; N. JARMIE: *Annals of Phys.* 47 (1968) 127
- [12] BRYANT, H.C.; A.J. COX: *J. Opt. Soc. Am.* 56 (1966) 1529
- [13] ADAM, J.A.: *The mathematical physics of rainbows and glories*. In: *Physics reports* 356 (2002) 229-365
- [14] HABERLAND, H.: *Physik in unserer Zeit* 8 (1977) 82
- [15] FAHLEN, T. S.; H. C. BRYANT: *J. Opt. Soc. Am.* 56 (1966) 1935
- [16] KOPPELMANN, G.; H. RUDOLPH: *Physik und Didaktik* 3 (1977) 220
- [17] Sommerfeld, A.: *Vorlesungen zur theoretischen Physik – Optik (Band 4)*, Leipzig 1959
- [18] DITTMANN, H.; W.B. SCHNEIDER: *Zur Deutung der inneren Regenbögen*. In diesem Band (Wege in der Physikdidaktik Band V, Erlangen 2002)
- [19] Schlichting, H.-J.: *Der Heiligenschein als Naturscheinung – Physikalische Aspekte einiger unscheinbarer Naturphänomene*. In diesem Band (Wege in der Physikdidaktik Band V, Erlangen 2002)
- [20] GOOS, F., H. HÄHNCHEN: *Ann. d. Physik* 6 (1947) 333-346
- [21] WOLTER, H.: *Z. f. Naturforschung*, 5a (1950) 276-283
- [22] z.B. Experimentieranleitungen der Hersteller (z.B. NEVA), *Praxis der Naturwissenschaften, Physik, Themenheft: Wellenoptik, Mikrowellen, sichtbares Licht*, 1/39 (1990)