

# DPG Tagung München 1985

## DIE GLORIE

W. Schneider, Didaktik der Physik, Universität Erlangen- Nürnberg

### 1. Einleitung

Die Glorie ist ein Phänomen aus der meteorologischen Optik, das weitaus unbekannter ist als z. B. Regenbogen, 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 sie mit einer Glorie - einem oder mehreren Ringen - umgeben wird. Darstellungen dieser Art findet man in fast allen Kulturkreisen, und es ist zu vermuten, daß diese Verwendung der Glorie etwas mit der Art ihrer Entstehung bzw. ihrer Beobachtbarkeit zu tun hat.

### 2. Historischer Rückblick

Die erste überlieferte wissenschaftliche Beschreibung der Glorienscheinung erfolgt, relativ spät, erst im Jahr 1735 im Zusammenhang mit einer französischen Andenexpedition (der Regenbogen wurde z. Vergleich bereits von Aristoteles beschrieben und von ihm stammt auch ein erster Deutungsversuch). Aus den Aufzeichnungen von A. Ulloa, einem Begleiter der Expedition, stammt die in Abb. 1 gezeigte Dar-

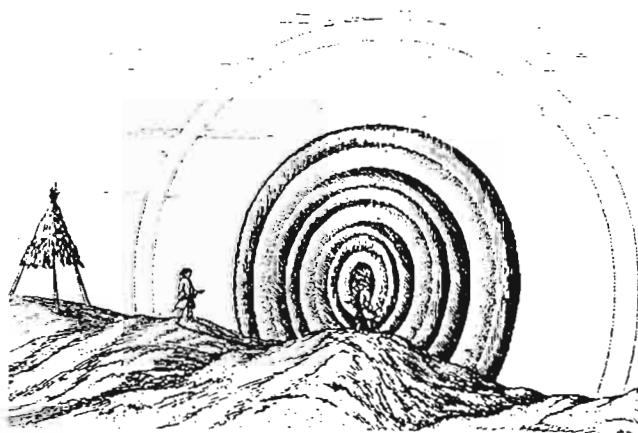
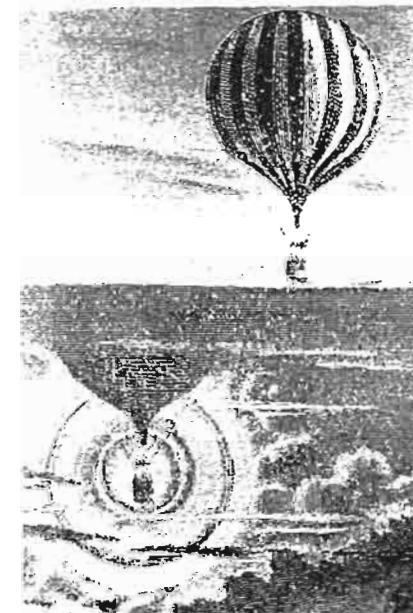


Abb. 1: Erste überlieferte zeichnerische Darstellung einer Glorienscheinung (/2/). (Anm.: Die Zeichnung ist aus dem Gedächtnis entstanden und ist perspektivisch falsch. Sie zeigt nicht, daß die Erscheinung nur in die durch Sonne und Beobachter definierten Rückwärtsrichtung zu sehen ist).

stellung einer Glorie, die deren typische Merkmale aufweist (zitiert in (/2/)): Der Schatten einer Person fällt auf eine Nebelwand und die Person sieht dann, daß ihr Schatten 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.  $10^\circ$  (typisch ca.  $3^\circ$ ) reichen. Dies hängt von der Tropfendicke 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 praktisch nur in der durch Sonne und Beobachter definierten Rückwärtsrichtung zu beobachten ist. Schon für einen danebenstehenden 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, die zur Verwendung der Glorie in mystischen Darstellungen führte.

Es ist einsichtig, daß die zum Auftreten und Beobachten notwendigen meteorologischen Bedingungen bei einem normalen Standort sehr selten anzutreffen sind. Die Beobachtung ist eher möglich, sobald man sich oberhalb der Wolken befindet. Dies ist von Bergspitzen,



vom bemannten Ballon oder vom Flugzeug aus leicht zu erreichen. Die Wolken ersetzen dann die Nebelwand, und das von dort über den Beobachter hinaus zur Sonne zurückgestreute Licht kann leicht beobachtet werden. Abb. 2 zeigt

Abb. 2: Beobachtung einer Glorie von einem Ballon aus. Die Abb. 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. Hinweis: Farbige moderne Darstellungen von Glorienscheinungen findet man z. B. in (/8/) und (/12/).

eine der ersten Darstellungen einer Glorie, deren Beobachtung von einem bemannten Ballon aus gemacht wurde (Tissandier 1873, zitiert in (/2/)). Eine umfassende Darstellung der bis ca. 1922 erfolgten Beschreibungen zur Glorie sind 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... . 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 genauer untersucht (/4/ - /9/), zumal es bald möglich wurde, mit leistungsfähigen Computern das zugehörige Streuproblem (Mie-Streuung (/13/)) rechnerisch exakt zu behandeln.

Interesse hat die Glorie auch außerhalb der meteorologischen Optik gefunden, da ähnlich wie "Regenbogeneffekte" auch "Glorieneffekte" bei atomaren und Kernstoßprozessen vorhergesagt und beobachtet wurden (/10/, /11/).

### 3. Physikalische Deutung:

Die exakte Beschreibung der Glorie ist z.B. in (/13/) und (/5/) durchgeführt. Das zugrundeliegende Mie-Streuproblem ist zu komplex, um hier dargestellt werden zu können. Ferner ist der dabei zugrundeliegende physikalische Zusammenhang nicht leicht zu erkennen. Wir werden uns daher bei der Deutung von den experimentellen Beobachtungen leiten lassen und nur die Ergebnisse der Rechnungen verwenden.

Für die Glorie wurde festgestellt, daß sie aus konzentrischen Ringen besteht, bei denen vom Spektrum jeweils rot außen und blau innen zu finden ist, und daß der Ringdurchmesser von der Tropfendicke abhängt. Diese Fakten weisen darauf hin, daß es sich hier

um ein Lichtbeugungsphänomen handeln muß, bei dem die Streuung an vielen, unregelmäßig angeordneten Scheibchen erfolgt. In Vorwärtsrichtung sind ähnliche Erscheinungen einfach zu beobachten, wenn man z. B. eine punktförmige Lichtquelle durch eine behauchte oder z. B. mit Lykopodiumsporen bestreute Glasscheibe betrachtet. In der Meteorologie beobachtet man ähnliches, wenn Sonnen- oder Mondlicht durch dünne Wolken- oder Nebelschichten zum Beobachter gelangt. Die dann auftretende Beugungserscheinung farbige, konzentrische Ringe - nennt man Kranz oder Hof (/2/). In Rückwärtsrichtung ist das Auftreten dieser Beugungserscheinung nicht so selbstverständlich, da schon aus einfachen geometrisch-optischen Überlegungen, wie sie z. B. im Zusammenhang mit der Deutung des Regenbogens üblich sind (z. B. /14/), folgt, daß in Rückwärtsrichtung außer in axialer Richtung kein Licht zurückreflektiert wird. Dieses in axialer Richtung zurückreflektierte Licht ist allerdings für das Beugungsphänomen nicht verantwortlich. Es bewirkt nur den oft bei der Rückstreuung von Licht z. B. durch betautes Gras zu beobachtenden Effekt ("Katzenaugeneffekt"), daß der Schatten einer Person von einem hellen Saum umgeben ist. In der Meteorologie ist diese Erscheinung unter dem Namen Heiligenschein bekannt (/2/). Sie hat aber nichts mit dem Ringsystem der Glorie zu tun. Die Glorie könnte man erklären, wenn man davon ausgehen könnte, daß die Tropfen jeweils von einem leuchtenden, einige Wellenlängen dicken Saum umgeben wären, der Licht tangential in alle Richtungen aussenden würde. In der Tat zeigen Mie-Theorie (/13/) und Laborexperimente (/15/), daß dieser Lichtsaum mit den genannten Eigenschaften vorhanden ist. Es handelt sich hierbei um quergedämpfte Oberflächenwellen, wie sie bei Totalreflexion im dünneren Medium an der Grenzschicht angeregt werden. 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 Innern des Tropfens jeweils unter dem Winkel der Totalreflexion auf die Grenzfläche auftreffen und die quergedämpften Oberflächenwellen anregen (s. Abb. 3). Aus Symmetriegründen ist nur das in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung ausgesandte Licht in Phase, und es können die erwähnten Beugungserscheinungen auftreten.

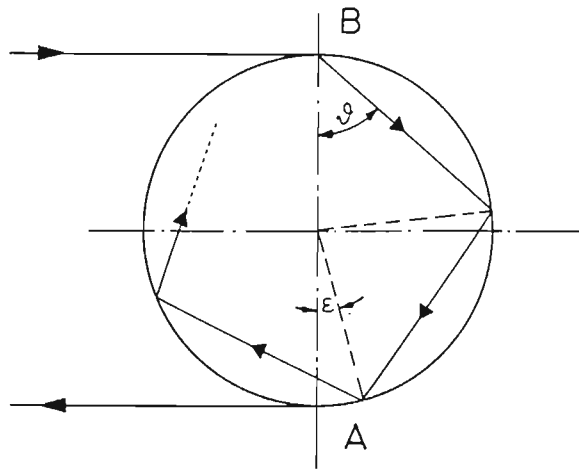


Abb. 3:  
Darstellung der Strahlen, die hauptsächlich zur Anregung der für die Glorie verantwortlichen Oberflächenwellen verantwortlich sind (Brechzahl für Wasser  $n = 1,333$ ,  $\psi = 48,6^\circ$ ). Den Hauptbeitrag liefern nach (/8/) die Totalreflexion bei A nach einem halben Umlauf ( $\epsilon = 14,4^\circ$ ) und nach dreieinhalb Umläufen ( $\psi = 18^\circ$ ) im Tropfen - entsprechendes gilt für B. Aufgrund der Geometrie der Anordnung

sind nur die in Vorwärts- oder Rückwärtsrichtung bei A und B emittierten Strahlen in Phase.

Betrachtet man einen Schnitt durch einen Tropfen (Abb. 4), so wirkt

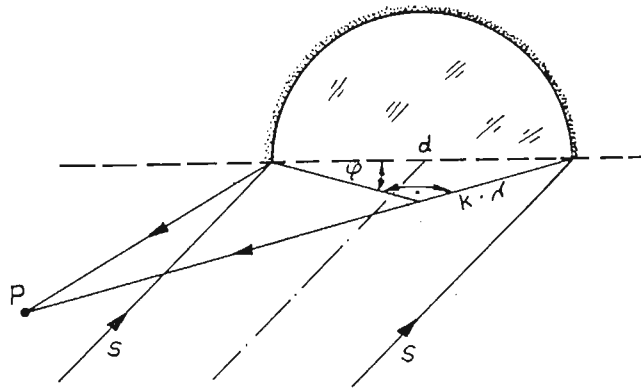


Abb. 4: Deutung der Glorie als Beugung an rotationssymmetrisch aneinandergereihten Doppelspalten. Gezeichnet ist eine Ebene durch das Zentrum eines Tropfens. Die Schichtdicke des Saums um den Tropfen beträgt nur einige Wellenlängen. (d: Tropfendurchmesser; S: parallel einfallende Sonnenstrahlen; k: Interferenzordnung; P: Aufpunkt; Bsp.: für  $\lambda = 550\text{nm}$ ,  $k = 1$ ,  $d = 0,01\text{mm}$  erhält man  $\psi \approx 3^\circ$ )

der Saum in dieser Ebene praktisch wie ein Doppelspalt und für die zugehörigen Beugungsmaxima gilt:  $k\lambda = d \sin \psi$ .

Wegen der Rotationssymmetrie der Anordnung erhält man keine Beugungsstreifen sondern Beugungsringe. Für eine bestimmte Ordnung k gehören zum roten Spektralbereich die größeren  $\psi$ -Werte und zum blauen die kleineren.

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 Intensitätsverteilung im Ringsystem beeinflusst.

#### 4. Simulation der Glorienerscheinung

Die experimentellen Bedingungen zur Beobachtung der Glorie sind im Labor schwer zu erreichen. Die Beobachtung ist jedoch über die Verwendung künstlich hergestellter Beugungsobjekte (allgemeine Hinweise zur Erstellung dieser Objekte sind in (/16/) angegeben) möglich. Hierzu wurden auf einem DIN-A4-Blatt ca. 400 Kreise ( $\phi$  4mm, Strichstärke 0,5 mm) statistisch verteilt gezeichnet. Durch Abfotografieren aus verschiedenen Abständen wurden die Kreise z.B. bis auf  $d = 1/100\text{mm}$  bzw.  $2/100\text{mm}$  verkleinert; damit ist später auch der Einfluß der Tropfendicke demonstrierbar. Auf dem Negativ erscheinen die schwarzen Kreise als durchsichtige Ringe. Beleuchtet man das Negativ mit Laserlicht so kann man auf einem entsprechend aufgestellten Schirm das Beugungsbild (Ringsystem) beobachten. Hierbei wird allerdings die Glorie nur in Vorwärtsrichtung simuliert. Um sie auch in Rückwärtsrichtung demonstrieren zu können, 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 "Reflexionsgitter", das zusätzlich einen hohen Beugungswirkungsgrad aufweist. Mit diesen so präparierten Negativen lassen sich ohne großen Aufwand die zur Glorie führenden Beugungserscheinungen in Rückwärtsrichtung - auch in einem größeren Hörsaal - mit bis zu ca. 10 Ordnungen relativ lichtstark demonstrieren.

Den Einfluß des direkt in der Achse zurückreflektierten Strahls auf den Beugungsvorgang kann man zeigen, indem man z.B. die eine Hälfte der Kreise der Vorlage zusätzlich mit einem Punkt im Zentrum versieht. Schiebt man das so erhaltene Negativ am Laserstrahl vorbei, so sieht man, daß beim Übergang von den ungepunkteten zu den gepunkteten Kreisen der "zusätzliche" Strahl nur eine Intensitätsverschiebung im Ringsystem bewirkt. Der Radius der Ringe bleibt konstant.

Genauere Angaben über die Selbsterstellung von "Reflexionsgittern" beliebiger "Gitterstruktur" werden in einem Artikel in Physik und Didaktik erfolgen.

## 5. Literaturverzeichnis

- /1/ Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik  
Bd. III Optik, Berlin 1978
- /2/ Pernter-Exner, Meteorologische Optik, Wien 1922
- /3/ C.T.R. Wilson, Nobelpreisreden 1927
- /4/ H.C. van de Hulst, Light Scattering from Small Particles,  
New York 1957
- /5/ D. Deirmendjian, R. Clasen, W. Vieze, J. Opt.Soc.Am. 51,620  
(1961)
- /6/ T.S. Fahlen, H.C. Bryant, J.Opt.Soc.Am. 56,1635 (1966)
- /7/ V. Khare, H.M. Nussenzweig, Phys. Rev. Lett. 33, 976 (1974)
- /8/ H.C. Bryant, N. Jarmie, Sc. Am. 7/74 S. 60-71
- /9/ H.M. Nussenzweig, Sc. Am. 4/77 S. 116-127
- /10/ K. W. Ford, J. A. Wheeler, Annals of Phys. 7, 259 (1959)
- /11/ H. C. Bryant, N. Jarmie, Annals of Phys. 47, 127 (1968)
- /12/ Dia-Serie: Atmosphärische Phänomene, Baader-Planetarium,  
München
- /13/ H.C. Bryant, A.J. Cox, J.Opt. Soc. Am. 56,1529 (1966)
- /14/ H. Haberland, Physik i. u. Zeit 8, 82 (1977)
- /15/ T. S. Fahlen, H. C. Bryant, J. Opt. Soc. Am. 56, 1935 (1966)
- /16/ G. Koppelman, H. Rudolph, Ph. u. D. 3, 220 (1977)