

Über  
das Funkeln der Sterne.

Von

**Prof. Dr. Karl Exner.**

---

Vortrag, gehalten den 25. Jänner 1888.

Mit sieben Abbildungen im Texte.



## Hochgeehrte Versammlung!

Ich habe es übernommen, heute über die Entstehungsursache jener lieblichen, Ihnen allen bekannten Erscheinung zu sprechen, welche man das Funkeln oder Scintillieren der Sterne nennt. Und um recht gründlich zu sein, wollen wir zunächst feststellen, worin die Erscheinung besteht, mit welcher wir uns beschäftigen wollen.

Ein scintillierender Stern befindet sich erstlich in einer Zitterbewegung von äußerst kleiner, an die Grenze der Wahrnehmbarkeit gerückter Amplitude, welche den Messungen nach durchschnittlich nur einige Secunden beträgt. Denken wir uns die Mondscheibe in etwa tausend gleiche Theile getheilt, so versinnlicht uns ein solcher Theil den Spielraum, innerhalb dessen sich die Zitterbewegung eines scintillierenden Fixsterne vollzieht. Weit wahrnehmbarer sind die continuierlichen, raschen und unregelmäßigen Änderungen der Helligkeit scintillierender Sterne und, wenn diese dem Horizonte nahe stehen, ebensolche Wechsel der Farbe. Diese Helligkeits- und Farbenwechsel sind sehr

beträchtlich im Gegensatze zur Zitterbewegung. Es ist wohl zu beachten, dass tief stehende Sterne auch bei schwacher Scintillation mit Farbenwechseln scintillieren, hoch stehende Sterne auch bei starker Scintillation nur mit Helligkeits-, aber nie mit Farbenwechseln. Schließlich wird der aufmerksame Beobachter erkennen, dass nur die Fixsterne scintillieren, die Planeten aber nicht oder doch nur in geringem Grade, so dass die letzteren an ihrem milden, ruhigen Lichte erkannt und von den funkelnden Fixsternen unterschieden werden können.

Welche Ursache haben nun die soeben beschriebenen Erscheinungen? Mit dieser Frage haben sich von Aristoteles bis in unsere Tage mehr als ein halbes Hundert Forscher der Reihe nach beschäftigt und dieselbe schließlich zur befriedigenden Beantwortung gebracht. Man hat die Ursache der Scintillation an allen Orten gesucht, in den Sternen selbst, in der unsere Erde umgebenden Atmosphäre und im Auge des Beobachters. Diejenigen, welche die Ursache der Scintillation in der Atmosphäre suchten, haben dies wieder in jedweder Art gethan. Man hat zur Erklärung der Erscheinungen die Brechung des Lichtes, die Reflexion, die Totalreflexion, die Absorption, die Interferenz, die Beugung, selbst elektrische Strömungen herangezogen.

So haben Tycho, Galilei, Kepler und Cartesius die Ursache des Funkelns der Sterne in den Sternen selbst gesucht. Cartesius beispielsweise stellte sich

vor, dass die Fixsterne von flüssigen Wirbeln umkreist würden und dass sie folglich, durch diese Wirbel hindurch gesehen, glitzern müssten wie die Kieselsteine auf dem Grunde eines Baches. Aristoteles, der Vater der Meteorologie, suchte hinwieder die Ursache in unserem Gesichtssinne: die so entfernten Fixsterne scheinen uns zu zittern wegen der Anstrengung unseres Auges, die näheren Planeten nicht.

Dass die Scintillation nicht, wie Aristoteles und andere glaubten, eine subjective Erscheinung ist, folgt aus der Thatsache, dass die Erscheinungen durch Projection objectiv erhalten werden können. Dass ferner

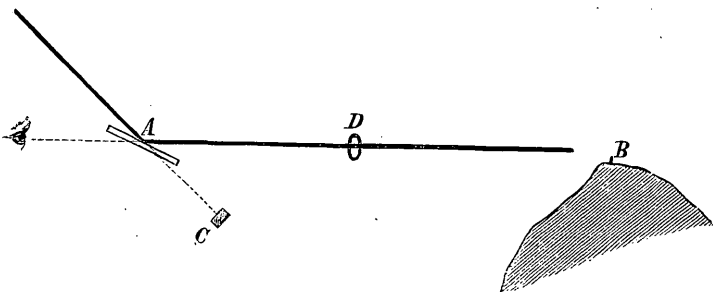


Fig. 1.

die Ursache der Scintillation nicht in den Sternen selbst gesucht werden darf, beweist das folgende Experiment. Wir sehen hier (Fig. 1) einen sogenannten Heliotropen A. Die Sonnenstrahlen werden von dem nur wenige Centimeter langen und breiten Heliotropenspiegelchen nach B reflectiert, treten aber auch an einer von der

Belegung befreiten Stelle durch den Spiegel und gelangen nach einer Reflexion an einer kleinen weißen Fläche und einer zweiten Reflexion an der Rückseite des Spiegels in das Auge des Heliotropierenden. Dieser gewahrt durch die von der Belegung befreite Stelle des Spiegelchens hindurch eine mattleuchtende, scheinbar in der Luft schwebende helle Scheibe *D*, welche ihren Ort verändert, wenn das Spiegelchen gedreht wird. Bringt der Heliotropierende das Spiegelchen in solche Lage, dass die helle Scheibe einen entfernten Ort deckt, z. B. den Gipfel eines Berges, auf welchem sich ein zweiter Beobachter befindet, so ist der Heliotropierende versichert, dass der vom Spiegel reflectierte Strahl *AB* in das Auge dieses Beobachters gelangt. Dieser gewahrt bei *A* einen hellleuchtenden Punkt, einen künstlichen Stern. Wie verhält sich dieser künstliche Stern zur Scintillation? So lange die Entfernung *AB* gering ist, gewahrt man nichts weiter als einen intensiv, aber ruhig leuchtenden, d. i. nicht scintillierenden Punkt. In dem Maße jedoch, als die Entfernung *AB* sich vergrößert, treten der Reihe nach die verschiedenen Erscheinungen der Scintillation hervor. Schon bei einer Entfernung von einigen tausend Metern gewahrt man sehr lebhaftes Helligkeitswechsel und bei einer Entfernung von etwa zwei Meilen sah ich die raschen und unregelmäßigen Farbenwechsel auftreten. Auch alle übrigen Erscheinungen der Scintillation, welche nicht mit unbewaffnetem Auge, sondern unter Anwendung gewisser optischer Instrumente,

dersogenannten Scintillometer, wahrgenommen werden, zeigt ein solcher künstlicher Stern so lebhaft und lebhafter als der bestfunkelnde Stern, der Sirius. Nun, hier haben wir es mit einem künstlichen, selbstgemachten Sterne zu thun, dessen Beschaffenheit uns wohl bekannt ist. Der Heliotropenspiegel ist nicht umflossen von den hypothetischen Wirbeln des Cartesius und besitzt auch keine von den sonstigen Eigenschaften, welche andere Forscher den Sternen ertheilt haben, um zu einer Erklärung der Scintillation zu gelangen. Hier entsteht die Scintillation ersichtlich nur durch die eingeschaltete Luftstrecke. In der unsere Erde umgebenden Atmosphäre also muss die Ursache der Scintillation der Sterne gesucht werden. Dies wird bewiesen durch das Vorhandensein der terrestrischen Scintillation, welche jeder, wenn auch in unvollkommener Weise, schon zu beobachten Gelegenheit hatte; ich erinnere an das Glitzern des Sonnenbildchens in einem sehr entfernten vergoldeten Thurmknäufe, oder an das Scintillieren sehr entfernter, von der Sonne beschienener Fensterscheiben.

Es ist also gewiss, dass die Scintillation in unserer Atmosphäre entsteht. Diese richtige Ansicht finden wir zuerst bei einem Schriftsteller des zwölften Jahrhunderts, Averrhoës, einem Commentator des Aristoteles, in seinem Buche „De Coelo et de Mundo“. Dieser war der Meinung, dass die Lichtstrahlen beim Durchgange durch die stets bewegte Atmosphäre continuierliche kleine Ablenkungen erfahren, und dass

hierdurch die Zitterbewegung der Sterne hervor-  
gebracht werde. Nichts kann richtiger sein als diese An-  
sicht des Averrhoës. In der That, jeder von uns hat schon  
beobachtet, wie beim Blicken über einen erhitzten  
Gegenstand weg, z. B. einen Kalkofen, ein offenes  
Feuer, ein von der Sonne durchhitztes Blechdach, die  
durch die erhitzte Luft hindurch betrachteten Gegen-  
stände eine zitternde Bewegung zeigen. Die Ursache  
hiervon ist bekannt. Die stellenweise stärker erhitzte  
Luft dehnt sich aus, wird leichter, steigt in die Höhe;  
es entsteht oberhalb des heißen Gegenstandes ein Durch-  
einanderfließen warmer und kalter Luftströmchen, der  
Lichtstrahl muss wiederholt aus warmer in kalte und  
aus kalter in warme Luft übertreten. Bei jedem sol-  
chen Übertritte erfährt der Strahl nach den Gesetzen  
der Lichtbrechung eine kleine Ablenkung, er beschreibt  
eine Art Schlangenlinie, um schließlich in einer von  
seiner ursprünglichen etwas verschiedenen Richtung  
in das Auge des Beobachters zu gelangen. Dieser sieht  
den betrachteten Gegenstand etwas von seiner Stelle  
gerückt. Indem nun das System der durcheinander  
fließenden kalten und warmen Luftströmchen sich con-  
tinuierlich verändert, verändert sich auch die schein-  
bare Verschiebung der betrachteten Gegenstände be-  
ständig, sie scheinen sich in einer zitternden Bewegung  
zu befinden. Wir überzeugen uns aber leicht, dass das  
Vorhandensein einer so kräftigen localen Wärmequelle  
wie eines offenen Feuers durchaus nicht nöthig ist,  
um dieselbe Erscheinung hervorzubringen, dass viel-



mehr die immer auf der Erdoberfläche vorhandenen Ungleichmäßigkeiten der Temperatur hierzu genügen, wenn nur die Lichtstrahlen gezwungen sind, eine hinreichend lange Wegstrecke in der Atmosphäre zurückzulegen. So sehen wir durch ein kleines Fernrohr hindurch die Contouren entfernter Gebirgsrücken in zitternder, wellenartiger Bewegung, ebenso die Contouren der Gebirge auf dem Monde, der Sonnenflecken und die Contouren der Sonne, des Mondes und der Planeten selbst. Und wenn nun ein Punkt des Mondrandes infolge der in der Atmosphäre der Erde befindlichen, sich stets verändernden Ungleichheiten eine continuierliche zitternde Bewegung zeigt, sollte dies ein punktförmiger Fixstern nicht thun? Wir werden so mit Nothwendigkeit dahin geführt, die Zitterbewegung der Fixsterne den unregelmäßigen Brechungen und Ablenkungen zuzuschreiben, welche die von dem Fixstern kommenden Lichtstrahlen beim Durchgange durch unsere, das Licht nicht ganz regelmäßig brechende Atmosphäre erfahren. Also nicht eine hypothetische Atmosphäre der Fixsterne bringt die Scintillation hervor, wie Cartesius glaubte, sondern unsere eigene stets in Bewegung befindliche Atmosphäre, durch welche hindurch wir die Sterne zittern sehen wie durch das klare Wasser eines fließenden Baches die blanken Kiesel auf dem Grunde desselben. Der richtigen Anschauung des Averrhoës schlossen sich später viele Forscher an. Doch, müssen wir fragen, ist damit die Scintillation erklärt? Woher die Helligkeitswechsel, die Farben-

wechsel? Warum scintillieren die Sterne nur in der Nähe des Horizontes mit Farbenwechseln, und warum scintillieren die Planeten gar nicht?

Doch wir wollen historisch vorgehen und sehen, wie sich die Erklärungsversuche der Erscheinungen der Scintillation weiter entwickelt haben. Wie verhielt sich der Entdecker des Gravitationsgesetzes, Isaak Newton, der große Astronom und feine Beobachter, zur Erscheinung des Funkelns der Sterne? Nun, er hat eine importante Beobachtung gemacht, welche ich nicht übergehen will. Er fand bei der Beobachtung der Fixsterne durch sehr große Instrumente, d. i. durch Fernrohre mit sehr großen Öffnungen, dass durch solche Instrumente hindurch die Sterne keine Spur von Scintillation zeigen: keine Zitterbewegung, keine Helligkeitsschwankungen, keine Farbenwechsel. Hingegen zeigte sich eine andere Erscheinung: die Fixsterne, welche als Punkte hätten erscheinen sollen, erschienen vielmehr vergrößert als helle, ruhig leuchtende, haarig begrenzte kreisförmige Scheiben. Newton hat keinen Versuch gemacht, das Abhandensein der Helligkeits- und Farbenwechsel zu erklären, doch verdient seine Erklärung des Abhandenseins der Zitterbewegung und der scheinbaren Vergrößerung der Sterne alle Beachtung. Wir sehen hier (Fig. 2) ein nach einem Fixstern gerichtetes Fernrohr. Die von dem Sterne kommenden, auf die Objectivlinse fallenden Lichtstrahlen *A* werden durch diese convergent gemacht und in einem Punkte, dem Focus, gesammelt, um daselbst ein punktförmiges

Bild des Sternes hervorzubringen. Dieses Bild wird mittels einer Loupe, des Oculars *B*, betrachtet. Nun wissen wir schon, dass die auf die Objectivlinse fallenden Strahlen, nachdem sie durch die Atmosphäre gegangen sind, beständig kleine Ablenkungen von ihrer eigentlichen Richtung erfahren, wodurch es geschieht, dass sie auch beständig vom Focus, in welchem sie sich treffen sollten, leicht abgelenkt werden. Nun, sagt Newton, tremulieren die Strahlen, welche auf verschiedene Stellen der großen Objectivlinse fallen, unabhängig voneinander, nachdem sie nicht genau denselben Weg in der Atmosphäre gegangen sind, und so

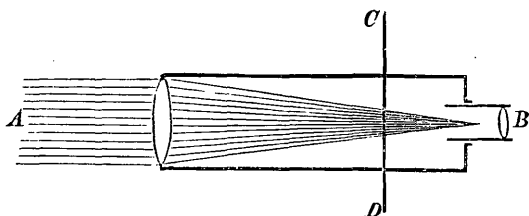


Fig. 2.

muss es geschehen, dass das im Focus entstehende punktförmige Bild des Sternes gleichsam alle möglichen Zitterbewegungen gleichzeitig vollführt, und dass es uns folglich vergrößert, aber selbst ohne jede zitternde Bewegung erscheint. Diese Beobachtung Newtons lehrt uns, dass Strahlen, welche in sehr geringem gegenseitigen Abstände, in einem Abstände von wenigen Centimetern, durch die Atmosphäre gehen, schon völlig

von einander unabhängige Ablenkungen erfahren können, so dass beispielsweise in einem Momente, in welchem der eine Strahl nach rechts abgelenkt ist, der andere nach links abgelenkt sein kann.

Ich will diese Beobachtung Newton's nicht verlassen, ohne auf eine einschlägige Beobachtung des Astronomen Simon Marius einzugehen. Dieser hatte die glückliche Idee, das Ocular des Fernrohres etwas einzuschieben, d. i. dem Objective zu nähern. Das Auge des Beobachters gewahrt dann nicht mehr jene Ebene, in welcher das Bild des Sternes liegt, vielmehr eine dem Objective nähere Ebene *CD* (Fig. 2), welche einen kreisförmigen Querschnitt des im Innern des Fernrohres sich konisch verjüngenden Strahlenbündels enthält. Man sollte bei dieser Stellung des Oculars eine kreisförmige, gleichmäßig helle Scheibe wahrnehmen. Dies ist jedoch, wie eben Simon Marius zuerst beobachtete, nicht der Fall. Hat man das Fernrohr auf einen hochstehenden, also weiß scintillierenden Stern gerichtet, so erscheint die Scheibe in einem gegebenen Momente an verschiedenen Stellen außerordentlich ungleich hell und die Vertheilung der Helligkeiten innerhalb der Scheibe wechselt von einem Moment zum andern unregelmäßig. Steht der Stern tief und scintilliert folglich mit Farbenentwicklung, so erscheint überdies die Scheibe an verschiedenen Stellen verschieden gefärbt und es wechselt die Vertheilung der Helligkeiten und Farben innerhalb der Scheibe von einem Moment zum andern rasch und unregelmäßig. Simon

Marius drückt die tiefe Bewunderung und das lebhaftes Vergnügen aus, welches er bei Betrachtung dieses Phänomens empfand, und fügt hinzu, dass er eine Erklärung desselben nicht zu geben vermöge.

Im achtzehnten Jahrhunderte haben sich viele Forscher mit der Erscheinung der Scintillation beschäftigt, ohne dass etwas Wesentliches erreicht worden wäre. Endlich trat der gefeierte französische Physiker Arago im Jahre 1852 nach vierzigjähriger Beschäftigung mit dem Gegenstande, ein Jahr vor seinem Tode, mit seiner berühmten Abhandlung über das Funkeln der Sterne auf. Er gründete seine Erklärung auf die feinsten Eigenschaften des Lichtes als einer Wellenbewegung des Äthers, auf die sogenannte Interferenz der Lichtstrahlen. Strahlen, welche durch verschiedene Stellen unserer Pupille ins Auge gelangen und folglich durch verschiedene Stellen der Atmosphäre gegangen sind, können durch die wechselnden Ungleichheiten der letzteren Eigenschaften erlangt haben, sogenannte Gangunterschiede, infolge deren sie sich auf der Netzhaut des Auges, wo sie sich in einem Punkte, dem Bilde des Sternes, treffen, gegenseitig nicht nur nicht verstärken, sondern im Gegentheile durch Interferenz zerstören oder doch schwächen. Bei dem stets wechselnden Zustande der Atmosphäre müssen so die Helligkeitswechsel der scintillierenden Sterne entstehen. Aber noch mehr. Wir wissen, dass das weiße Licht nichts Einfaches ist; es ist zusammengesetzt aus einer unzähligen Menge verschiedenartiger homogener

Lichtgattungen, den Spectralfarben. Nun treten die Bedingungen, unter welchen gegenseitige Zerstörung der Strahlen auf der Netzhaut stattfindet, für die verschiedenen Farben, aus welchen das weiße Licht besteht, nicht gleichzeitig ein. Daher ändern die Sterne beständig und unregelmäßig nicht nur ihren Glanz, sondern auch ihre Farbe. Arago schließt seine berühmte Abhandlung mit den Worten: „Allein der Zustand meiner Gesundheit zwingt mich, anderen, Glücklicheren die Aufgabe der Vervollständigung dessen zu überlassen, was ich nur oberflächlich andeuten konnte.“

In der That, es haben sich nach ihm andere, nicht Glücklichere, aber glücklicher mit dem Gegenstande beschäftigt. Aragos Erklärung der Scintillation hat die Kritik späterer Forscher nicht vertragen, sie hat sich als vollständig irrig erwiesen. Es hat sich gezeigt, dass noch feinere Eigenschaften des Lichtes, auf welchen die sogenannte Beugung beruht, die von Arago aus der Interferenz gezogenen Consequenzen eben vollständig aufheben müssen. Zwei Dinge aber hat Arago trotz des Irrthums, in dem er befangen war, doch gelehrt. Er hat gelehrt, über gelegentliche Beobachtungen und Muthmaßungen hinauszugehen und die Frage nach der Ursache der Scintillation mit allen Mitteln der Wissenschaft in Angriff zu nehmen; er hat zweitens in richtiger Weise erklärt, warum die Planeten von der Scintillation ausgeschlossen sind.

Denken wir uns nämlich von den einzelnen Punkten einer planetarischen Scheibe aus die Lichtstrahlen

durch die Atmosphäre hindurch nach dem Auge des Beobachters gezogen, so gehen diese Lichtstrahlen nicht denselben Weg in der Atmosphäre. Und ist auch die planetarische Scheibe so klein, dass sie uns als ein Punkt erscheint, so gehen wegen der Höhe der Atmosphäre die Strahlen in den oberen Luftschichten doch so weit auseinander, dass ihre gegenseitige Distanz bei mittlerer Höhe des Sternes leicht dreißig Meter betragen kann. Halten wir damit die Beobachtung Newtons zusammen, nach welcher eine gegenseitige Distanz zweier Strahlen von einigen Centimetern genügt, damit dieselben unabhängig von einander tremulieren, so gelangen wir leicht zu dem Schlusse, dass, indem die einzelnen Punkte einer planetarischen Scheibe, jeder unabhängig für sich, scintillieren, durch die Vermischung aller dieser Eindrücke in dem kleinen Bilde des Sternes auf unserer Netzhaut der Effect einer gleichmäßigen mittleren Erhellung entsteht. Nur an den Rändern der planetarischen Scheiben gewahren wir durch ein Fernrohr eine wellenartige Bewegung.

So sehen wir zwar die Erscheinung der Zitterbewegung der Sterne und jene der Nichtscintillation der Planeten erklärt, hingegen die wesentlicheren Erscheinungen der Helligkeits- und Farbenwechsel der Sterne noch in der Mitte unseres Jahrhunderts unerklärt. Aragos Irrthum hat aber nicht nur die Kritik, sondern auch den Eifer der Forschung geweckt.

So sehen wir alsbald den rühmlich bekannten belgischen Forscher Montigny mit dem Gegen-

stande beschäftigt und mit einer neuen Erklärung der Helligkeits- und Farbenwechselder Sterne auftreten. Er wendete seine Aufmerksamkeit zunächst dem regulären Gange der Lichtstrahlen durch unsere Atmosphäre zu. Nach dem Gesetze der Lichtbrechung erfährt ein Strahl beim Übergange aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes, z. B. aus dünner in dichte Luft, eine plötzliche Richtungsveränderung, welche um so größer ist, je schief der Strahl auf die Trennungsfäche der beiden Mittel fällt und nur für die senkrechte Incidenz gleich Null wird. Indem also ein von einem Fixstern kommender Strahl in unsere Atmosphäre tritt, erfährt er eine kleine Richtungsveränderung, und da er auf seinem Gange von der oberen Grenze der Atmosphäre zur Erdoberfläche durch immer dichtere Luftschichten gelangt, also beständig aus einem optischen Mittel in ein anderes überzutreten gezwungen ist, wird die Ablenkung eine kontinuierliche, der Strahl beschreibt in der Atmosphäre eine krumme Linie. In Fig. 3 sehen wir den Gang eines solchen Strahles abgebildet. Der Beobachter in *B* sieht den Stern in jener Richtung, welche dem letzten Stückchen des Strahles vor dem Eintritte ins Auge entspricht, sieht also den Stern *S* etwas höher, als er wirklich ist, bei *S'*. Diese sogenannte atmosphärische Refraction ist um so beträchtlicher, je tiefer der Stern steht; sie ist gleich Null für Sterne, welche direct ober uns, in unserem Zenith, stehen, und am größten für Sterne, welche im Horizont stehen, also für auf- oder unter-



gehende Sterne. Hier beträgt die Refraction ungefähr einen Sonnendurchmesser, so zwar, dass die untergehende Sonne in einem Momente, in welchem sie ohne die Refraction eben völlig unter dem Horizonte verschwunden wäre, für unser Auge eben erst unterzugehen beginnt. Der weiße Lichtstrahl ist ferner nichts Einfaches, er besteht aus einer ungezählten

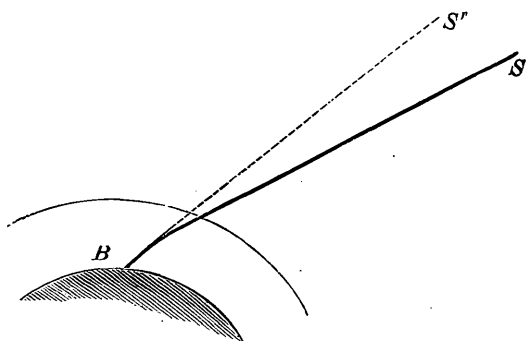


Fig. 3.

Menge farbiger Lichtstrahlen. Bei jeder Brechung werden diese farbigen Lichtstrahlen verschieden stark abgelenkt, roth am schwächsten, violett am stärksten, so dass der weiße Strahl sich in eine ungezählte Menge verschieden gefärbter Strahlen fächerförmig ausbreitet. Ist z. B., Fig. 4,  $AB$  die Grenze zwischen dichter Luft  $M$  und dünner Luft  $N$ , so wird ein Theil des Strahles  $S$ , wenn er bei  $E$  an die Grenze gelangt, im alten Mittel nach  $S'$  zurückreflectiert, während ein anderer Theil,

abgelenkt und in seine prismatischen Farben aufgelöst, ins neue Mittel eindringt. In der Figur sind von den unzähligen verschiedenfarbigen gebrochenen Strahlen nur die äußersten, roth und violett, verzeichnet, während die übrigen eine intermediäre Lage haben.

Montigny hat auch dieses Farbenzerstreungsgesetz in seine Betrachtung eingeschlossen. Geht ein

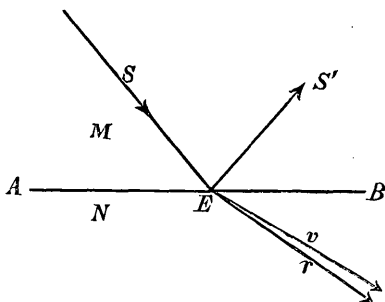


Fig. 4.

weißer, von einem Fixstern kommender Strahl durch die Atmosphäre, so erfährt er nicht nur eine Krümmung, sondern die verschiedenfarbigen Strahlen, aus welchen er sich zusammensetzt, erfahren eine verschieden starke Krümmung und trennen sich folglich in der Atmosphäre von einander. Gelangt also z. B. (Fig. 5) der rothe Strahl AB in das Auge des Beobachters B, so gelangt der violette Strahl AC nicht dahin, sondern trifft die Erdoberfläche an einer anderen Stelle. Sehen wir also den Stern roth? Durchaus nicht, denn es gibt

einen anderen, von demselben Stern  $S$  kommenden weißen Strahl  $SA'$ , welcher etwas höher in die Atmosphäre tritt und dessen violetter Bestandtheil  $A'B$  ins

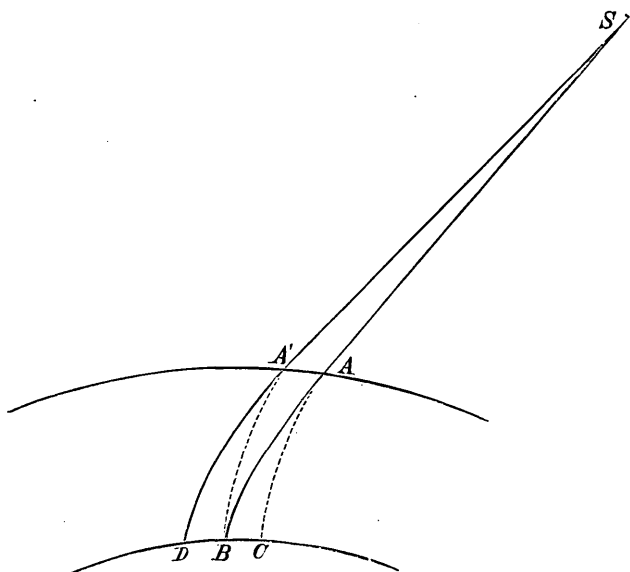


Fig. 5.

Auge des Beobachters gelangt. Zwischen den Eintrittspunkten  $A$  und  $A'$  liegen jene der übrigen Strahlen, von welchen jeder dem Beobachter  $B$  eine andere Farbe des Spectrums zusendet. Alles dies ergibt sich strenge aus den Gesetzen der Lichtfortpflanzung und lehrt uns, dass das weiße Strahlenbündel, welches durch unsere

Pupille tritt, um in unserem Auge ein weißes Bild des Sternes hervorzubringen, vom Auge des Beobachters zurück durch die Atmosphäre verfolgt, sich fächerförmig in die verschiedenfarbigen Strahlen, aus welchen es besteht, auflöst, so dass die letzteren in der Atmosphäre getrennte Bahnen gehen. Diese Thatsache muss uns sofort als äußerst fruchtbar erscheinen, wenn es sich darum handelt, die mit der Scintillation verbundenen Farbenerscheinungen zu erklären. Doch folgen wir Montigny weiter. Es ist uns allen bekannt, dass es eine sogenannte totale Reflexion gibt. Gelangt das Licht aus einem durchsichtigen Mittel an die Grenze eines andern durchsichtigen Mittels, in welchem es sich schneller fortpflanzt, z. B. aus kalter Luft in warme, so tritt bei hinreichender Schiefe des einfallenden Strahles gegen die Trennungsfläche der beiden Mittel totale Reflexion ein, d. h. es gibt keinen gebrochenen, in das neue Mittel eintretenden Strahl, es wird das ganze Licht an der Trennungsfläche total in das alte Mittel zurückreflektiert. So kann das Licht an der Übergangsstelle von kälterer Luft zu wärmerer Luft in seiner Fortpflanzung gehindert werden. Nehmen Sie an,  $AB$  (Fig. 6) wäre ein wärmeres Luftströmchen und der Strahl  $CD$  sollte dasselbe passieren, um nach dem Auge des Beobachters zu gelangen, so kann es bei hinreichend schiefer Incidenz geschehen, dass der Strahl das Luftströmchen nicht passiert, sondern total reflectiert und so, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt, für das Auge des Beobachters, um

Montignys Ausdruck zu gebrauchen, intercipiert wird. Montigny nahm nun an, dass solche Totalreflexionen in der Atmosphäre beständig stattfinden, und es ergibt sich so von selbst

Montignys Erklärung der Scintillation. Betrachten wir noch einmal das fächerförmige Bündel  $BAA'$  (Fig. 5) der verschiedenfarbigen Strahlen in der Atmosphäre, welche in das Auge des Beobachters gelangen, um daselbst ein

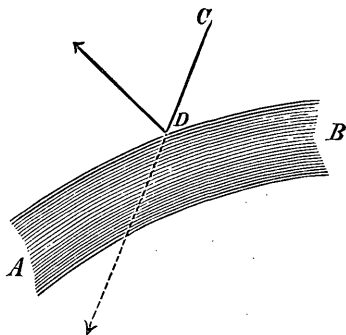


Fig. 6.

weißes Bild des Sternes hervorzubringen. Wird in irgend einem Momente beispielsweise der rothe Strahl in der Atmosphäre durch Totalreflexion intercipiert, so muss der Stern in der complementären Farbe, Grün, erscheinen; wird der grüne Strahl intercipiert, so roth u. s. w. So muss es geschehen, dass der Stern nacheinander in allen Farben des Spectrums erglänzt.

Ist Montignys Erklärung der Farbescintillation richtig? Da müssen wir uns zwei Fragen vorlegen: 1. Ist das Auseinandergehen der verschiedenfarbigen Strahlen in der Atmosphäre ein hinreichendes? 2. Werden wirklich Strahlen durch Totalreflexion in continüierlichem Wechsel ausgeschieden? Die erstere Frage hat der italienische Astronom Mossotti beantwortet.

Derselbe fand auf dem Wege einer eleganten Berechnung, dass der rothe und der violette Strahl innerhalb der Atmosphäre eine gegenseitige Distanz von mehr als zehn Metern gewinnen können. Diese Distanz nimmt mit wachsender Höhe des Sternes ab und wird Null für Sterne, welche im Zenith stehen. Das Auseinandergehen der verschiedenfarbigen Strahlen in der Atmosphäre ist also weitaus ein hinreichendes. Um die zweite Frage zu beantworten, ob die Totalreflexionen in der Atmosphäre wirklich stattfinden und so die Farbescintillation verursachen, habe ich das folgende Experiment angestellt.

Vom Thurme der Centralanstalt für Meteorologie auf der Hohen Warte aus wurde nach der Nordkuppel der Sternwarte in Währing heliotropiert. Das Heliotropenlicht scintillierte lebhaft. Nun wurde ein sechszölliger Refractor nach diesem künstlichen Sterne gerichtet und die Objectivlinse desselben mittels eines Schirmes bedeckt, in welchem sich kleine Löcher befanden. Nur durch diese konnten also Strahlen in das Fernrohr eindringen. Wie dies Simon Marius gethan hatte, wurde das Ocular eingeschoben, so dass eine Ebene deutlich gesehen wurde, in welcher die Strahlen sich noch nicht zu einem Bilde des Sternes vereinigt hatten, also einzeln, jeder für sich beobachtet werden konnte. Demgemäß erblickte man im Fernrohre so viele helle Punkte, als Löcher im Schirme waren; jeder helle Punkt entsprach einem von den übrigen abgesonderten Strahle. Wie verhielten sich nun diese

hellen Punkte zur Scintillation der Lichtquelle? Be- ruht die Scintillation, wie Montigny glaubte, auf Aus- scheidung von Strahlen durch Totalreflexion, so müss- ten in unregelmäßigem Wechsel helle Punkte durch Totalreflexion intercipiirt werden, verschwinden und wieder erscheinen. Dies aber war nicht zu beobachten. Während einer halbstündigen Beobachtungszeit konnte nicht ein einziger Fall von Interception eines der Strahlen durch Totalreflexion beobachtet werden, sämtliche Punkte blieben stets in intensiver Hellig- keit sichtbar. Hingegen zeigten die hellen Punkte con- tinuierliche kleine schwankende Bewegungen um ihre eigentlichen Positionen. Was lehrt dieser Versuch? Er lehrt, dass die von Montigny zur Erklärung der Helligkeits- und Farbenwechsel der Sterne herangezo- genen totalen Reflexionen der Strahlen in der Atmo- sphäre nicht oder doch nur selten vorkommen, und dass folglich auch Montignys Erklärung der Scintillation nicht haltbar ist, wenigstens so weit dieselbe aus den totalen Reflexionen hergeleitet wird. Sehr wohl zu beachten ist aber die beobachtete schwankende Bewe- gung der hellen Punkte, welche uns übrigens schon bekannt ist. War nun zwar Montignys Erklärung der Scintillation widerlegt, so blieben doch seine Betrach- tungen über das Auseinandergehen der verschieden- farbigen Strahlen in der Atmosphäre als ein fruchtbares Erklärungsprincip zurück.

Ich will nun auf einen Versuch eingehen, welchen ich auf der Wiener Sternwarte angestellt habe und

welcher uns endlich Aufschluss geben soll über die Ursache der Helligkeitswechsel und unter Heranziehung des Montigny'schen Principis auch über jene der Farbenwechsel der Sterne. Das Objectiv eines Fernrohres wird mit einer Kappe versehen, in deren Centrum sich eine kleine Öffnung von etwa zwei Centimeter Durchmesser befindet, und das Fernrohr auf einen Stern gerichtet. Das Bild des Sternes im Focus des Fernrohres entsteht nun durch das schmale Lichtbündel, welches durch die Öffnung der Kappe geht. Nehmen wir nun an, der Stern, nach welchem das Fernrohr gerichtet ist, scintilliere. Alsdann vollführt das punktförmige Bild des Sternes, wie uns schon bekannt ist, kleine Schwankungen senkrecht zur Achse des Fernrohres. Überdies aber habe ich mittels einer Methode, welche auf die Beugung des Lichtes gegründet ist, gefunden, dass das Bild des Sternes noch weit beträchtlichere Schwankungen in der Richtung der Achse selbst ausführt, indem es sich bald gegen das Objectiv, bald gegen das Ocular hin bewegt; bei meinen Versuchen betrug der Spielraum dieser Schwankungen in der Regel einige Millimeter, während die Schwankungen senkrecht zur Achse nur einige Tausendstel eines Millimeters betragen. Wir wollen uns klar machen, was diese neue Thatsache bedeutet. Die Wirkung der Objectivlinse besteht darin, die parallel einfallenden Strahlen durch Brechung convergent zu machen, so dass sie sich in einem Punkte, dem Bilde des Sternes, vereinigen. Je convergenter die Strahlen durch die



Linse gemacht werden, desto früher vereinigen sie sich, desto näher an die Objectivlinse rückt das Bild des Sternes. Wenn nun, wie dies hier der Fall ist, die Objectivlinse unverändert bleibt und das Bild des Sternes sich dennoch der Objectivlinse nähert oder von ihr entfernt, was bedeutet dies? Es bedeutet, dass die auf die Objectivlinse fallenden Strahlen schon abwechselnd etwas convergent und etwas divergent anlangen. Die Verschiebungen, welche das Bild des Sternes infolge seiner schwankenden Bewegung längs der Achse des Fernrohres in beständigem und unregelmäßigem Wechsel bald gegen das Objectiv, bald gegen das Ocular hin erfährt, lassen sich messen und aus den Messungsergebnissen der Grad der abwechselnden Convergenzen und Divergenzen der einfallenden Strahlen berechnen. Diese Convergenzen und Divergenzen ergaben sich so als äußerst gering, z. B. die Convergenzen so gering, dass die Strahlen sich erst nach einer Fortpflanzung durch zwei Meilen infolge ihrer Convergenz treffen würden. Worin haben diese Convergenzen und Divergenzen der Strahlen ihren Grund? Derselbe ist uns schon bekannt: in den unregelmäßigen Brechungen der Strahlen in der Atmosphäre. Wenn eine Stelle der Atmosphäre etwas stärker bricht als die umgebende Luft, so wirkt sie wie eine schwache Sammellinse, macht die Strahlen schwach convergent, und wenn diese Stelle etwas schwächer bricht als die umgebende Luft, wirkt sie als Zerstreulinse und macht die Strahlen divergent. So gering auch der Grad dieser

Convergenzen und Divergenzen der Strahlen ist, so muss sich doch bei den großen, viele Meilen betragenden, in der Atmosphäre zurückzulegenden Strecken hinter jeder stärker brechenden Stelle der Luft eine sehr merkliche gegenseitige Annäherung, Sammlung der Strahlen ergeben, und hinter jeder schwächer brechenden Stelle eine ebensolche Zerstreung. Die Rechnung lehrt, dass diese Helligkeitsunterschiede außerordentlich bedeutend sein müssen.

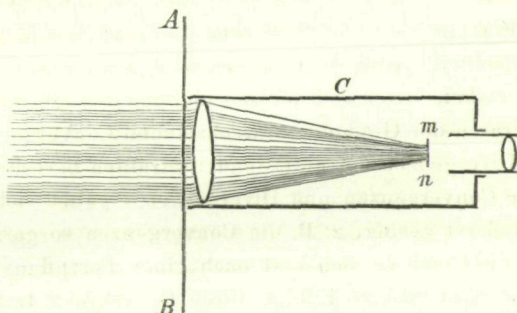


Fig. 7.

Wir können uns nun ein vollständiges Bild von der Beschaffenheit eines Strahlenbündels machen, welches, nachdem es von einem Fixsterne ausgegangen ist und die Atmosphäre durchsetzt hat, an die Erdoberfläche gelangt und etwa auf eine weiße Wand AB, Fig. 7, fällt. Die Strahlen haben wir uns als merklich untereinander parallel zu denken, denn die Abweichungen vom Parallelismus, welche nur einige Sekunden

betragen, würden, auch wenn sie in der Figur richtig verzeichnet wären, ihrer Kleinheit wegen von uns nicht wahrgenommen werden. Hingegen erscheint das Strahlenbündel in verschiedenen Theilen seines Querschnittes sehr verschieden dicht, und der Durchmesser des Querschnittes eines verdichteten oder verdünnten Theiles des Strahlenbündels beträgt nach den Messungen etwa einen Decimeter oder einige Centimeter. Was müsste sich also auf der Wand  $AB$  für eine Erscheinung zeigen? Die weiße Wand müsste außerordentlich ungleich beleuchtet sein, es müssten sehr helle und sehr dunkle Stellen neben einander wahrgenommen werden, und wegen des stets wechselnden Zustandes der Atmosphäre müsste überdies die Vertheilung der Helligkeiten beständig wechseln; es müsste sich ein Bild ergeben, wie wenn Sonnenstrahlen, von einer leicht bewegten Wasseroberfläche reflectiert, auf eine weiße Wand fallen. Aber noch mehr. Steht der lichtaussendende Stern tief, dem Horizonte nahe, so wissen wir, dass wegen des Auseinandergehens der verschiedenfarbigen Strahlen in der Atmosphäre die Helligkeitsfluctuationen auf der weißen Wand  $AB$  für die einzelnen Farben, aus welchen sich das weiße Licht zusammensetzt, unabhängig von einander vor sich gehen müssen, d. h. auf der weißen Wand müssten nicht nur Helligkeits-, sondern auch Farbenfluctuationen wahrgenommen werden.

Ist eine solche Erscheinung je beobachtet worden? Nun, das Licht, welches ein Fixstern ausstrahlt, ist viel zu schwach, als dass überhaupt eine merkliche

Beleuchtung auf einer weißen Wand sichtbar sein könnte, während die lichtstärkeren Planeten nur in sehr geringem Grade scintillieren. Ich komme indessen auf diese Frage zurück. Denken wir uns aber das Auge an Stelle der weißen Wand. In jedem Momente, in welchem ein heller Fleck über das Auge wegzieht, muss man den Stern hell sehen, und wenn ein dunkler, dunkel. Dies ist die Ursache der Helligkeitswechsel, sie liegt in den unregelmäßigen Linsenwirkungen der Atmosphäre. Auch die Ursache der Farbenwechsel tief stehender Sterne ergibt sich sofort, wenn wir bedenken, dass bei tief stehenden Sternen auf der weißen Wand auch Farbenfluctuationen entstehen müssten. Zieht nun ein rothes Maximum über das Auge, so sehen wir den Stern roth, wenn ein grünes, grün. Dies ist die Ursache der Farbenwechsel, sie liegt in der regelmäßigen atmosphärischen Strahlenbrechung, verbunden mit den unregelmäßigen Brechungen.

Ich habe bemerkt, dass die Helligkeitsfluctuation auf der weißen Wand bei Fixsternen viel zu lichtschwach ist, um wahrgenommen zu werden, und dass von den helleren Planeten wegen des geringen Grades ihrer Scintillation kaum etwas zu erwarten ist. Gleichwohl habe ich bei Durchsicht der Literatur eine derartige Beobachtung gefunden, und zwar bei niemand Geringerem als Kepler, welcher berichtet: „Am 19. December 1602 gegen Abend sah ich durch ein Fenster Venus, welche schon im Abnehmen war . . . Der Planet funkelte stark; als ich nach der weißen Wand blickte,

auf welche die Strahlen der Venus fielen, gewährte ich Undulationen, etwa wie wenn der Rauch zu sehen hindert, und zwar mit großer Schnelligkeit und unregelmäßigen Bewegungen . . . Ich habe bemerkt, dass diese Lichtundulation in Beziehung zu der am Planeten erscheinenden Scintillation stand.“

In Bezug auf die Fixsterne habe ich keine derartige Beobachtung finden können. Allein, gibt es kein Mittel, die Intensität des Phänomens zu vergrößern und so dasselbe auch bei Fixsternen wahrnehmbar zu machen? Es gibt ein solches. Denken wir uns an Stelle der weißen Wand  $AB$ , Fig. 7, auf welche die Strahlen an manchen Stellen dichter, an manchen dünner auffallen sollen, ein großes astronomisches Fernrohr  $C$ . Durch das Objectivglas werden die Strahlen convergent gemacht, und ein Querschnitt,  $mn$ , des sich verjüngenden Strahlenkegels muss ein verkleinertes und intensiveres, also wahrnehmbareres Abbild jener Erscheinung geben, welche auf der Wand wegen ungenügender Lichtstärke nicht wahrnehmbar war. Schieben wir also das Ocular ein, bis wir diesen Querschnitt des Strahlenbündels deutlich wahrnehmen, so muss sich eine weiße Scheibe zeigen und in derselben Helligkeitsfluctuationen, wenn der Stern hoch steht, und sowohl Helligkeits- als Farbenfluctuationen, wenn er tief steht. Das ist aber nichts anderes als jene Erscheinung, welche Simon Marius beobachtete und nicht erklären konnte.

Ich habe mir auch die Frage vorgelegt: Muss nicht

die Erscheinung, welche ein scintillirender Fixstern auf der weißen Wand wegen Lichtschwäche nicht zeigt, durch jede kosmische, punktförmige Lichtquelle von hinreichender Intensität hervorgebracht werden, und wo ist eine solche zu finden? Sie ist zu finden bei totalen Sonnenfinsternissen, wenn der noch sichtbare Theil der Sonnenscheibe nahe punktförmig geworden ist. In der That habe ich der Literatur entnommen, dass die Astronomen dieses Phänomen bei jeder totalen Sonnenfinsternis beobachten, ohne es recht erklären zu können. Sie nennen es das Phänomen der fliegenden Schatten. Von den vielen Berichten über dieses Phänomen will ich nur einen ganz kurzen vorlesen. Savournin berichtet: „Man bemerkte Schatten und helle Flecken, die sich einander zu jagen schienen. Diese Flecken hatten nicht die nämliche Farbe, sie waren theils roth, theils gelb, blau und weiß. Die Kinder liefen ihnen nach und suchten sie mit den Händen zu fangen.“ Die Farben, welche in dieser Beschreibung eine Rolle spielen, haben ihren Grund darin, dass zur Beobachtungszeit die Sonne in der Nähe des Horizontes stand. Bei hoch stehender Sonne erscheinen diese fliegenden Schatten stets nur weiß und schwarz ohne Farbenentwicklung. Es liegt ferner die Frage nahe: Muss, was man bei einer totalen Sonnenfinsternis beobachtet, wenn sich der sichtbare Theil der Sonne auf einen hellen Punkt reduciert hat, nicht auch bei der auf- und untergehenden Sonne beobachtet werden? Allerdings ist hier die Beobachtung dadurch erschwert,

dass das Phänomen nur eine überaus kurze Dauer haben kann. Dennoch ist die Beobachtung gemacht worden. Der Schweizer Professor Dufour berichtet: „... Überdies sah ich... im Augenblicke, da der erste Strahl der Sonne erschien, dies Gestirn funkeln wie einen Stern erster Größe, und zugleich wahrte ich ein oder zwei Secunden lang auf dem Boden meines Zimmers sich eine Art abwechselnd dunkler und heller Wellen bewegen, welche bekanntlich bei totalen Sonnenfinsternissen einige Secunden sowohl vor als nach der Totalität der Finsternis zum Vorschein kommen.“ So sehen wir, dass die richtige Erklärung der Scintillation uns zugleich die Erklärung des Phänomens der fliegenden Schatten in den Schoß fallen lässt.

Es möge mir zum Schlusse gestattet sein, den bei der Scintillation stattfindenden Vorgang mit der Entstehung einer wohlbekanntten Erscheinung zu vergleichen. Wenn von einer punktförmigen Lichtquelle, etwa einer von der Kugel befreiten elektrischen Lampe Lichtstrahlen durch eine Fensterglastafel fallen, so erfahren die Strahlen durch die Unregelmäßigkeiten der Fensterglastafel kleine unregelmäßige Ablenkungen: die Verdickungen des Glases wirken wie schwache, unregelmäßige Sammellinsen, die zwischenliegenden dünneren Stellen des Glases wie Zerstreuungslinsen. Hierdurch ergeben sich jenseits der Glastafel Sammlungen und Zerstreuungen der Strahlen, welche zur Folge haben, dass eine in größerer Entfer-

nung befindliche weiße Wand fleckenhafte beleuchtet erscheint. Bewegt man die Glastafel, so bewegen sich auch auf der Wand die hellen und dunklen Flecken. Der Vorgang ist durchaus analog jenem, welcher bei der Scintillation stattfindet. Die punktförmige Lichtquelle ist der Stern, die Fensterglastafel die Atmosphäre mit ihren Unregelmäßigkeiten des Lichtbrechungsvermögens. Zwar sind diese in der Atmosphäre ungleich geringer, doch ist die Atmosphäre in demselben Maße dicker als die Glastafel. Die Bewegung der Glastafel stellt den Wind vor, welcher die Luftmassen mit ihren Unregelmäßigkeiten fortführt, und der Schirm die Erdoberfläche. Hier gewahren wir nun das Phänomen der fliegenden Schatten. Setzen wir aber unser Auge an Stelle des Schirmes, so sehen wir während der Bewegung der Glastafel die Lichtquelle lebhaft scintillieren.

---



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: [28](#)

Autor(en)/Author(s): Exner Karl

Artikel/Article: [Über das Funkeln der Sterne. 295-326](#)