

## Das Leuchtturmphänomen und die scheinbare Form des Himmelsgewölbes.

Von

FELIX BERNSTEIN - Halle a. S.

Auf der Insel Helgoland befindet sich ein Leuchtturm, der mit elektrischen Scheinwerfern ausgerüstet ist. Die ausgesandten Strahlen sind außerordentlich kräftig und können bis zum Horizont verfolgt werden. Die scheinbaren Formen derselben, die sich dem Beobachter bei wechselndem Standort zeigen, sind eigentümlicher Art und da hier offenbar ein Zusammenhang mit dem vielbehandelten Problem der scheinbaren Form des Himmelsgewölbes vorliegt, so sollen sie im folgenden näher beschrieben werden.

### § 1.

Zunächst seien einige Angaben über die örtlichen Verhältnisse vorausgeschickt.

Der Leuchtturm steht auf dem etwa 40 m über dem Meeresspiegel sich erhebenden Oberland. Die drei ausgesendeten Strahlen bilden unter sich gleiche Winkel und sind sämtlich gegen die Horizontale nach unten zu geneigt, damit sie genau nach dem Horizonte hinzielen, wie er dem erhöhten Standpunkt, von dem sie ausgehen, entspricht.

Das ganze System befindet sich in Rotation um die Leuchtturmachse, so daß jeder Strahl den ganzen Horizont durchläuft. Man beobachtet nun die folgende scheinbare Form des Strahls:

Steht der Beobachter in Meereshöhe auf dem sogenannten Unterland, so erscheint der Strahl als ein am Himmel befindlicher leuchtender Bogen, der sich um zwei Pole, die Leucht-

turmspitze einerseits und denjenigen Punkt des Himmelsgewölbes andererseits zu drehen scheint, der in der Verbindungslinie von Leuchtturmspitze und Auge liegt. (Dieser letztere Pol liegt natürlich unter dem Horizonte.) Der Bogen hat eine flach gestreckte Form. Die Krümmung nimmt gegen den Horizont zu merklich ab. Der spitze Winkel, den er am Horizont mit der Ebene des Meeres bildet, scheint in der höchsten Lage des Bogens nicht den fünften Teil eines Rechten zu überschreiten. Die Form der Bogen erscheint bei jedem Umlauf stets wieder völlig dieselbe und auch die Angaben verschiedener Personen, über die gesehene Form stimmen völlig überein.

Es sei gestattet, diese Erscheinung weiterhin als „Leuchtturmphänomen“ zu bezeichnen. Die angegebene Lage des Beobachters soll die *A*-lage genannt werden.

Wenn man die scheinbare Form des Himmelsgewölbes als bekanntes Phänomen voraussetzen will, so kann man die Beobachtung in der folgenden einfachen Weise darstellen:

„Man projiziere den wirklichen Strahl an das Himmelsgewölbe mittels derjenigen Ebene, die durch den Strahl einerseits, durch die Verbindungslinie des Auges mit der Leuchtturmspitze andererseits bestimmt ist. Diese Ebene dreht sich um die genannte Verbindungslinie als Achse, und schneidet in jeder Lage die scheinbare Figur des Strahls aus.“

So einwandfrei diese Darstellung des Phänomens ist, wenn es sich nur um eine Beschreibung des Sachverhalts handelt, so wenig kann sie genügen, wenn ein Verständnis der Erscheinung erzielt werden soll. Der leuchtende Strahl ist ein einfacheres Objekt als das Himmelsgewölbe und darum ist es methodisch nicht zulässig, zur Erklärung der scheinbaren Form desselben, auf die scheinbare Form des komplizierteren Objekts zurückzugehen.

Das Problem der scheinbaren Form des Leuchtturmstrahls ist der eindimensionale Fall, das Problem der scheinbaren Form des Himmelsgewölbes der zweidimensionale Fall ein und derselben Art von Erscheinung.

Die scheinbare Form des Himmelsgewölbes ist erklärt, sobald die scheinbare Form des Leuchtturmstrahls erklärt ist. In der Tat beschreibt ja der leuchtende Bogen während einer Um-

drehung den ganzen sichtbaren Himmel und setzt die Figur desselben vollständig zusammen.

Der Vorzug, den das Studium des Leuchtturmphänomens bietet, ist aber augenscheinlich der, daß seine Entstehungsbedingungen genau bekannt sind und sogar experimentell variiert werden können.

## § 2.

Eine Folgerung läßt sich sofort aus den Beobachtungen ziehen.

„Die wirkliche Krümmung des Himmelsgewölbes (also etwa die der untersten Schicht eines Wolkenhimmels) spielt für die scheinbare Krümmung derselben nahezu gar keine Rolle.“

In der Tat, denkt man sich die Strahlen des Leuchtturms gleichzeitig in allen Lagen, die sie im Verlaufe einer Drehung erreichen, so bilden dieselben ein leuchtendes Kegeldach mit sehr stumpfem Winkel an der Spitze, unter dem sich der Beobachter befindet. Das Kegeldach muß als gewölbte Schale erscheinen. Die Abweichung des Winkels an der Spitze von einem gestreckten wird kaum einen Einfluß auf das Phänomen haben. Denn bei der Beobachtung erscheint dieser Winkel in der Tat, so gut sich das bei einem Sukzessivvergleich beurteilen läßt, als gestreckt. Wir müssen also folgendes postulieren:

„Befindet sich ein Beobachter auf einer unbegrenzten Ebene und einen genügend hohen der Ebene parallelen selbst ebenen Dache, das sich nach allen Seiten sehr weit erstreckt, so erscheint dasselbe als ein flaches Gewölbe, das auf der Grundebene in einem Horizontkreise aufzusitzen scheint.“

## § 3.

Ganz anders wird das Bild der Erscheinung, wenn man sich auf dem Oberland befindet und sich allmählich dem Leuchtturm nähert. Von dem erhöhten Standpunkt aus erscheint von vornherein die Krümmung des Strahls schwächer, der Winkel am Horizont kleiner. Die Krümmung verschwindet bei Annäherung an den Leuchtturm, befindet man sich am Fusse desselben, so erscheint der Strahl absolut gerade. Zugleich aber erscheint er



niedriger als das Himmelsgewölbe, inmitten der Luft verlaufend und wird plastisch gesehen.

Der auffälligste Unterschied besteht aber, daß es jetzt so erscheint, als ob der Strahl sich in sehr große Entfernung erstreckt. Von einem solchen intensiven räumlichen Eindruck war in der *A*-lage nichts zu beobachten.

Dabei ist es ganz gleichgültig, ob man mit einem oder mit beiden Augen die Beobachtung anstellt.

Wir wollen den Standort des Beobachters in unmittelbarer Nähe des Leuchtturms als *B*-lage bezeichnen.

Es war zu erwarten, daß es einen Standort geben würde, wo die beiden Erscheinungsweisen der *A*-lage und *B*-lage ineinander übergingen und daß dieser Übergang Gelegenheit zu neuen Beobachtungen bieten würde. In der Tat gab es in einiger Entfernung vom Leuchtturm (etwa 70 m) einen Bereich, der als *C*-lage bezeichnet wurde, in dem man folgendes beobachten konnte. Wandte man den Blick dem Leuchtturm zu, so erschien der gesehene Anfang des Strahls in der plastischen geraden Form, wandte man dem Leuchtturm den Rücken, so erschien der jetzt überblickte Teil in der Bogenform.

Drehte man nun langsam den Blick von der ersten in die zweite Lage, so konnte man die gerade Form viel weiter verfolgen. Der Punkt, wo der gebogene Teil des Strahls einsetzte, liefs sich auf Stellen hinausschieben, die ohne diesen Übergang vorher im gebogenen Teil gelegen hatten. Dieses Hinausschieben der Ansatzstelle liefs sich willkürlich steigern. Die Selbstbeobachtung ergab, daß diese Willkür abhängig war von einer Anstrengung, sich die Entfernung, in welche der Strahl sich hinauserstreckt, möglichst lebhaft zu vergegenwärtigen. Je besser diese Vorstellung gelang, um so mehr wurde der geradlinige Teil auf Kosten des gebogenen verlängert. Übrigens machte es auch hier kaum einen Unterschied, ob man mit einem oder mit zwei Augen beobachtete.

Es würde verkehrt sein, eine solche Beobachtung, die vom Zustande des Subjekts so beeinflusst werden kann, zur Grundlage einer Erklärung konstanter und sicherer Erscheinungen zu machen. Wohl aber können im Status nascendi einer Erscheinung, Faktoren die später unter die Schwelle des Bewusstseins sinken, deutlich werden, und darum können aus solchen

Beobachtungen Fingerzeige für die Erklärung der stabilen Erscheinungen gewonnen werden.

#### § 4.

Wenn man auf Grund der Beobachtungen eine Erklärung des Leuchtturmphänomens geben will, so könnte man die folgenden Momente geltend machen.

Es ist zu unterscheiden zwischen dem Raum der sichtbaren Objekte  $R_s$  und dem Raum der Anschauung  $R_A$ . Beide Räume sind endlich; der eine, weil es eine Schwelle der Lichtempfindung, der andere, weil es eine Grenze der Raumanschauung gibt. Beide Räume haben einen Mittelpunkt  $O$ , indem sich der Beobachter befindet. Die von  $O$  bis an die Grenzen der Räume laufenden Radien seien mit  $OS$  resp.  $OA$  bezeichnet. Die Entfernungen in  $R_s$  werden objektiv gemessen, die in  $R_A$  subjektiv geschätzt.

Da die Objekte des Raumes  $R_A$  mit denen des Raumes  $R_s$  übereinstimmen sollen, so muß eine Abbildung  $\varphi$  des Raumes  $R_s$  auf den Raum  $R_A$  stattfinden. Für diese Abbildung gelten die folgenden Gesetze:

1. Die Abbildung ist nahezu kongruent in der Umgebung von  $O$ .

2. Liegen  $OS$  und  $OA$  auf demselben Halbstrahl, so ist für jede Richtung

$$OS > OA$$

und die Abbildung findet so statt, daß die Strecken des Raumes  $R_s$  bei derselben um so mehr verkleinert werden, je weiter sie von  $O$  entfernt sind.

3. Der spitze Winkel, den eine Grade des Raumes  $R_s$  mit einem Radius  $OS$  bildet, wird bei der Abbildung um so mehr vergrößert (d. h. seine Differenz von einem Rechten wird immer mehr verkleinert), je weiter der Scheitel von  $O$  entfernt liegt.

Die Eigenschaften 2 und 3 der Abbildung werden deutlich in den einfachen und bekannten Täuschungen über die Dimensionen in einer Landschaft. Die Winkeltäuschung tritt besonders hervor bei der Beurteilung des Steilheitsgrades von Wegen, der ja bekanntlich stark überschätzt zu werden pflegt. Es besteht ein systematischer Zusammenhang zwischen diesen

Täuschungen an irdischen Objekten und der Erscheinungsweise der Himmelsform.

Die Eigenschaften der Abbildung  $\varphi$  werden in der Beobachtung wesentlich dadurch kompliziert, daß die Gröfse  $OA$  keine Konstante ist. Vielmehr ist die scheinbare Erstreckung des sichtbaren Raumes, d. h. die Erstreckung des Anschauungsraumes, abhängig von der Anordnung der Objekte desselben einerseits, von Dispositionen des Beobachters andererseits. Es gilt die folgende Erfahrungstatsache:

„Perspektivisch ausgezeichnete Anordnungen in der Richtung  $OA$  bewirken stets eine Verlängerung des Radius  $OA$ .“

Z. B. wird durch den Anblick zweier Eisenbahnschienen und begleitender Telegraphenstangen die Erstreckung  $OA$  der Landschaft in der entsprechenden Richtung stark erweitert. Ein anderes Beispiel ist dieses: Die Insel Helgoland hat die Form eines langgestreckten Dreiecks. Man beobachtet nun etwa in der Mitte des Oberlands deutlich, daß der Horizont elliptisch erscheint und zwar so, daß die grofse Achse der Ellipse mit der Längsrichtung der Insel zusammenfällt. Auch hier ist offenbar infolge perspektivischer Wirkungen  $OA$  in dieser Richtung erweitert.

Für die Anwendung dieser Auffassung auf die Erscheinung des Leuchtturmphänomens, sowie der Himmelsfigur, muß man vor allem berücksichtigen, daß die Erdoberfläche eine starke perspektivische Wirkung hervorruft. Für einen unmittelbar auf der Ebene stehenden Beobachter müssen die horizontalen Radien  $OA$  nach jeder Richtung eine bedeutende Verlängerung erfahren.

Für den nach dem Zenith laufenden Radius findet eine solche Verlängerung im allgemeinen nicht statt. Aus den Eigenschaften 2 und 3 der Abbildung folgt sofort, daß der Leuchtturmstrahl gekrümmt erscheinen muß. Die spitzen Winkel, in denen der Sehstrahl den Leuchtturmstrahl schneidet, müssen vergrößert werden und es muß also eine entsprechende Krümmung der letzteren erscheinen.

Diese Krümmung wird um so mehr rückgängig gemacht, je größer durch die jeweiligen Umstände des Radius  $OA$  in der Richtung des betreffenden Sehstrahls wird.

Man kann nach den Ursachen fragen, welche die Eigenschaften der Abbildung  $\varphi$  bestimmen. Hierfür müßte man nach



der dargelegten Vorstellung angeben, daß der zentrale Mechanismus, welcher der Raumanschauung dient, in seiner Entwicklung zurückgeblieben ist hinter der der Leistungsfähigkeit des Auges. Daher ist der Anschauungsraum kleiner als der Sehraum. Wahrscheinlich ist bei den niederen Tieren dieses Mißverhältnis noch stärker. Wenn, wie angegeben wird, die Hunde den Mond anbellern, so muß man doch annehmen, daß er ihnen in greifbarer und drohender Nähe erscheint. Dieselben Hunde bellen irdische Gegenstände nicht an, wenn sie sich durch ihren Geruchs- oder Gehörssinn überzeugt haben, daß dieselben außer dem Bereich eines Angriffs liegen.

### § 5.

Mit wenigen Worten möchte ich zum Schluß noch auf die in der Literatur vorliegenden Erklärungsweisen der scheinbaren Figur des Himmelsgewölbes eingehen.

Ich darf mich, da die Literatur von Herrn E. REIMANN<sup>1</sup> in ausgezeichneter Weise zusammengestellt ist, auf die neuesten Publikationen beschränken. In seiner an Beobachtungsmaterial reichen Abhandlung gibt E. REIMANN (l. c. S. 188—190) die unvollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre, welche in vertikaler und horizontaler Richtung verschieden ist, als Ursache der scheinbaren Schalenform an. Nach meiner Angabe kann man in vertikaler Richtung 17—23 km, nach horizontaler Richtung 60—80 km weit sehen. Er schließt daraus, daß das Verhältnis der scheinbaren Himmelshöhe und scheinbaren Horizontentfernung entsprechend sich wie  $1:3\frac{1}{2}$  etwa verhalten müsse. Nach der Vorstellung von E. REIMANN muß also die Abbildung  $\varphi$  eine ähnliche sein, da doch andernfalls unmöglich das Verhältnis des horizontalen und vertikalen Radius im  $R_A$  dasselbe sein kann wie im  $R_S$ . Wenn man jedoch ein irdisches Objekt, z. B. einen Berg, der 17 km entfernt ist, mit einem anderen, der 34 km entfernt ist, vergleicht, so erscheint der zweite keineswegs doppelt so weit entfernt, wie der erste. Es dürfte überhaupt schwierig sein, ein Urteil über das Entfernungsverhältnis

<sup>1</sup> E. REIMANN: 1. Beiträge zur Bestimmung der Gestalt des scheinbaren Himmelsgewölbes und Weitere Beiträge etc. *Programme d. Kgl. Gymnasium zu Hirschberg* 1890 u. 1891. — 2. Derselbe: Die scheinbare Vergrößerung der Sonne und des Mondes am Horizont. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane* 30, S. 1 u. 161.

zweier solcher Objekte zu gewinnen. Das Verhältniß scheinbarer Entfernungen ist völlig verschieden von dem wirklicher Entfernungen. Die Erscheinung des elliptischen Horizontes würde die Auffassung E. REIMANN'S durchaus nicht erklären können. Ich kann mich daher seiner Erklärung nicht anschließen.

O. ZOTH<sup>1</sup> hat den Einfluß der Blickrichtung auf die Größenschätzung im Sehfelde als Erklärungsmoment herangezogen. Schon C. GAUSS<sup>2</sup> hat in einem Briefe an BESSEL den Einfluß der Blickrichtung auf die scheinbare Vergrößerung von Sonne und Mond am Horizont hervorgehoben.

O. ZOTH hat als der erste schlagende Experimente angegeben, welche diesen Einfluß an irdischen Objekten demonstrieren. Ich zweifle nicht daran, daß die Blickrichtung ein Faktor ist, dessen Rolle in dem vorliegenden Phänomen zu berücksichtigen ist. Sehr richtig hebt O. ZOTH aber hervor, daß es notwendig ist, alle in Betracht kommenden Faktoren zu studieren. Man wird insbesondere versuchen müssen, den quantitativen Anteil jedes Faktors abzuschätzen.

Daß die Blickrichtung allein nicht ausschlaggebend ist, dafür sind zwei Tatsachen beweisend: Erstens die beschriebene elliptische Form des Horizonts, zweitens aber noch folgende Erscheinung. Wenn man sich auf einen Hügel begibt, der isoliert sich in einer Ebene befindet, so erscheint der Zenith näher und der Himmel flacher, als am Fuß des Hügels. Diese Erscheinung ist qualitativ und quantitativ ziemlich die gleiche, ob der Hügel 20, 50 oder 100 m hoch ist. Da die Blickrichtung genau die gleiche bleibt, so ist diese Erscheinung aus dem Einfluß der Blickrichtung nicht erklärbar. Aus der hier gegebenen Anschauung ist sie ziemlich einfach abzuleiten. Der Beobachter betrachtet sich nämlich als über das Niveau der Ebene gehoben, d. h. er verlegt den Anfangspunkt  $O$  der  $R_A$  unter sich, an den Fuß des Hügels. Die scheinbare Höhe des Standorts über  $O$  wird nun in der Schätzung von dem vertikalen Radius  $OA$  subtrahiert und der Himmel erscheint entsprechend näher. Am Rande einer Grube beobachtet man diese Erscheinung aus gleichen Gründen nicht.

---

<sup>1</sup> OSKAR ZOTH: Über den Einfluß der Blickrichtung auf die scheinbare GröÙe der Gestirne und die scheinbare Form des Himmelsgewölbes. *Pflügers Archiv d. ges. Physiologie* 78. 1899.

<sup>2</sup> Briefwechsel zwischen GAUSS und BESSEL 1880. S. 498.



Ist also die Blickrichtung nicht ausschlaggebend, so entsteht die Frage, wie groß der Anteil derselben sein mag. Ich möchte dabei das eine geltend machen, daß wir bei Veränderung der Blickrichtung eine scheinbare Bewegung des Himmelsgewölbes beobachten müßten, wenn dieser Anteil relativ bedeutend wird. Ich möchte so resumieren: Der Blickrichtungsfaktor verlangt nach den Beobachtungen von O. ZOTH Berücksichtigung bei der Erklärung der scheinbaren Form des Himmelsgewölbes.<sup>1</sup> Wie groß aber der quantitative Anteil dieses Faktors ist, bleibt vorläufig dahingestellt. Ich will dabei nicht unterlassen zu erwähnen, daß O. ZOTH eine Zurückführung des Problems der scheinbaren Vergrößerung von Sonne und Mond am Horizont auf das vorliegende Problem gegeben hat, welche in sehr befriedigender Weise den Erscheinungen gerecht wird.

Schließlich möchte ich noch eine ältere Arbeit von FILEHNE anführen. FILEHNE hat seine Beobachtungen ebenfalls am Meere angestellt. Leider waren mir dieselben nicht zugänglich zu der Zeit, als ich das Leuchtturmphänomen beobachtete. Es hätte sonst untersucht werden können, wie sich das Leuchtturmphänomen verhält, wenn man mit verkehrter Kopfhaltung beobachtet. Mit seitlich geneigtem Kopf habe ich eine wesentliche Veränderung des Anblicks nicht bemerkt. Im übrigen sind die Beobachtungen FILEHNES sowohl als seine Erklärungen mit den hier gegebenen in voller Harmonie.

---

<sup>1</sup> Neuerdings hat A. GUTTMANN („Blickrichtung und Größenschätzung“, *diese Zeitschr.* 32, S. 333) eine solche quantitative Bestimmung versucht. Objekte, die unter sonst völlig gleichen Bedingungen gesehen und als Größen beurteilt werden, erscheinen bei um  $40^\circ$  erhobener Blickrichtung in 25–36 cm Entfernung vom Auge um rund  $3\frac{1}{2}$ – $3\frac{3}{4}$  % kleiner als bei gerader Blickrichtung. Das ist nicht eben viel.

(Eingegangen am 2. November 1903.)

---