III.

BEMERKUNGEN

*über die horizontale Strahlenbrechung
und über die Vertiefung des Seeho-
rizonts,*

von

WILL. HYDE WOLLASTON, M. D., F. R. S.,
in London. *)

In einem Aufsatze, den ich der königlichen Socie-
tät vor einiger Zeit vorgelegt habe, und der in ih-
ren Schriften für das Jahr 1800 gedruckt ist, **)
habe ich mich bemüht, die Ursachen der hori-
zontalen Strahlenbrechung, und der verschiedenen
Fälle derselben, die ich theils selbst beobachtet,
theils von andern beschrieben gefunden hatte, auf-
zufinden.

Damahls waren mir die kurz zuvor erschiene-
nen Schriften des ägyptischen Nationalinstituts noch
nicht bekannt. Was Herr Monge in ihnen von der
so genannten *Mirage*, [Luftspiegelung herabwärts,]
mittheilt, welche die französische Armee auf dem
Marsche durch die ägyptischen Wüsten täglich sah,

*) Aus den *Philosophical Transactions of the Roy. Soc.
of London for 1803.* d. H.

**) Der in den vorstehenden Blättern oft erwähnte
Aufsatz, welchen der Leser aus den *Annalen*, XI,
1 — 65, kennt. d. H.

stimmt mit meiner Theorie auf das beste überein. Seine Erklärung der meinigen vorzuziehen, finde ich daher keine Ursache. Die Annahme einer bestimmten spiegelnden Fläche zwischen zwei Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit, von welcher er ausgeht, besteht auf keine Art mit dem beständigen Aufsteigen verdünnter Luft, welches er zugiebt; und seine Hypothese läßt sich auf andere Fälle nicht anwenden, die insgesammt genügend aus der Voraussetzung einer allmählichen Dichtigkeitsänderung der Luft, und dadurch bewirkten Krümmung der Lichtstrahlen, erklärt werden können.]

Ich bin späterhin unterrichtet worden, daß derselbe Gegenstand geschickt von Herrn Woltmann in Gilbert's *Annalen der Physik* behandelt worden ist; ich muß indess bedauern, daß seine Abhandlung, und die von Gruber in denselben Annalen, in einer Sprache geschrieben sind, die mir unbekannt ist, und daß ich daher aus ihnen den Nutzen nicht ziehen kann, den mir die Forschungen dieser Gelehrten ohnedies würden geleistet haben.

Als ich mit diesen Untersuchungen beschäftigt war, angetrieben von dem Nutzen derselben für die nautische Astronomie, in Bestimmung der Variationen der scheinbaren Vertiefung des Seehorizonts, von welchem ab alle Höhenbeobachtungen auf dem Meere genommen werden müssen, schlug ich vor, es möchte eine Reihe Beobachtungen von jemand unternommen werden, um die Veränderungen in

der Temperatur und in der Feuchtigkeit der Luft auszumitteln, von welchen die Vertiefung des Seehorizonts vorzüglich abhängt. Ich glaubte damahls nicht, daß ich selbst diesen Gegenstand mit einigem Erfolge würde weiter verfolgen können, da ich wenig Aussicht hatte, meinen Wohnort eine hinlängliche Zeit hindurch an einem Orte aufschlagen zu können, wo mir die See im Gesichte wäre; und eine andere Weise sah ich nicht ab, wie das, was ich für nöthig hielt, gethan werden könnte. Ich habe indess seitdem Mittel gefunden, durch Beobachtungen über dem Spiegel der Themse mich zu überzeugen, daß, obgleich die Gröfse der Refraction im Allgemeinen mit dem Thermometer- und Hygrometerstande variirt, doch das Gesetz dieser Variationen so einfach nicht ist, als ich es zu finden gehofft hatte.

Ich will hier zuerst die Thatfachen erzählen, auf welche sich diese Aussage gründet; sie sind auch schon für sich selbst merkwürdig, durch die unerwartete Gröfse der Refraction, welche ich über einer kleinen Strecke Wasser wahrgenommen habe. Alsdann will ich zeigen, daß die genaue Bestimmung der einwirkenden Veränderungen der Atmosphäre von minderer Wichtigkeit, und die Unregelmäßigkeiten in diesen Veränderungen von minderen Einflüsse für die Kenntniß der jedesmahligen Vertiefung des Seehorizontes sind, als ich geglaubt hatte, indem es eine sehr leichte Methode giebt, diese scheinbare Vertiefung zu jeder Zeit genau

zu messen, und folglich das, was ich durch indirecte Mittel suchte, mit einem Mahle, direct zu finden.

Das erste Mahl, als ich über der Themse eine auffallende Refraction wahrnahm, geschah es durch bloßen Zufall. Ich saß in einem Boote, unweit Chelsea; mein Auge war ungefähr $1\frac{1}{2}$ Fufs, ($\frac{1}{2}$ Yard,) höher als der Wasserspiegel, und ich mochte eine Aussicht von etwas mehr als 1 engl. Meile über die Fläche des Wassers haben. Die Ruder einiger entfernter Boote, die mit der Fluth Strom aufwärts gingen, schienen mir umgebogen zu seyn, desto mehr, je weiter es bis zu ihnen hin war; die allerentferntesten ungefähr so, wie in Fig. 6, Taf. VII. In dieser Zeichnung ist *dd* mein scheinbarer Horizont, bestimmt durch die Krümmung der Wasseroberfläche; *ab* das Ruder in seiner geneigten Lage, und *bc* ein umgekehrtes Bild des Theils *be* dieses Ruders. Bei einiger Aufmerksamkeit auf andere Boote und auf Gebäude am Ufer, fand sich, daß auch alle andere entlegne Gegenstände, die sich nahe an der Wasseroberfläche zeigten, auf eine ähnliche Art verändert wurden, daß aber bei keiner derselben die verkehrten Bilder so deutlich erschienen, als bei der schief stehenden Stange eines ins Wasser getauchten Ruders.

Einer von denen, die gegenwärtig waren, (so wie mehrere, denen ich diese Erscheinung nachher erzählte,) waren geneigt, sie einer Zurückwerfung der Lichtstrahlen von der Fläche des Wassers zuzuschreiben. Es gehört indess nur ein wenig Auf-

merkbarkeit dazu, um die offenbare Verschiedenheit zwischen dem umgekehrten Bilde, welches eine solche Zurückwerfung erzeugt, und zwischen dem durch die atmosphärische Strahlenbrechung bewirkten umgekehrten Bilde wahrzunehmen. Im Falle von Zurückwerfung oder eigentlicher Spiegelung, machen Gegenstand und Bild scharfe Winkel; wo sich beide berühren, sind die Linien bestimmt und gut begränzt, dagegen ist der untere Theil des Bildes bei der leichtesten Wellenbewegung unbestimmt und undeutlich. Entstehn dagegen die Bilder durch Strahlenbrechung, so erscheint der Gegenstand und das verkehrte Bild desselben, da, wo sie zusammen stoßen, abgerundet und undeutlich, und das untere Ende des Bildes wird von einer geraden Linie an der Oberfläche des Wassers begränzt. Dazu kommt noch ein anderer Umstand, der, wenn er beachtet wird, sogleich allen Zweifel hebt; nähert man nämlich das Auge dem Wasser, so werden im letztern Falle die Boote und andere kleine Gegenstände dem Scheine nach von dem Horizonte vollkommen bedeckt, und dieses läßt sich bei einer so kleinen Entfernung keinesweges der Krümmung des Meerwassers, sondern lediglich der Ablenkung der Strahlen durch Brechung zuschreiben.

Ich weiß für diese Erscheinung keine andere Ursache aufzufinden, als lediglich die Verschiedenheit in der Temperatur. Nach anhaltend heißem Wetter, (das Thermometer war in Einem Monate 12 Mal über 80° F. gestiegen, und die mittlere Tem-

peratur des Monats betrug 68° .) war der Abend dieses Tages, des 22ten Augustes 1800, ungewöhnlich kalt, indem das Thermometer nur auf 55° stand. Das Wasser, welches unstreitig die Temperatur beibehielt, die es in den vorher gehenden Wochen angenommen hatte, erwärmte die zunächst darüber befindliche Luftschicht, und dieses mochte das Brechungsvermögen derselben so stark vermindern, daß sie die einfallenden Lichtstrahlen entgegen gesetzt krümmte, wie gewöhnlich; und dadurch das oben beschriebene Bild bewirkte. Da ich damahls kein Instrument bei mir hatte, konnte ich weder die GröÙe der Strahlenbrechung noch die Temperaturen messen; nach dem Gefühl zu urtheilen war das Wasser ungewöhnlich viel wärmer als die Luft.

Hierdurch war mir nun unerwartet ein Feld zu Beobachtungen geöffnet. Ich benutzte von der Zeit an jede Gelegenheit, welche ähnliche Veränderungen der Witterung mir darboten, die GröÙe der Strahlenbrechung zu untersuchen, und, so wie sie sich auf einem andern Theile des Stroms, der mir bequemer lag, darstellte, zu messen. Der Ort, wo der größte Theil meiner Beobachtungen angestellt wurde, war an der südöstlichen Ecke von Sommerfet-House. Man sieht von hier durch die Blackfriars-Brücke nach der Londner Brücke über 1 englische Meile weit Strom aufwärts, und in entgegen gesetzter Richtung durch die Westminster-Brücke hindurch, welche $\frac{1}{4}$ engl. Meilen entfernt ist.

So große Entfernungen sind indess keinesweges nöthig; vielmehr ist die Luft über dem Strome bei kaltem Wetter nie oder nur selten hell genug, daß man so entlegne Gegenstände deutlich sehen könnte. Denn da es fast nur Ost- und Nordost- Winde sind, welche Kälte genug mit sich führen, um eine solche Veränderung der Witterung zu bewirken, so wird dann der größte Theil des Rauchs der Stadt herbei getrieben, der gleich einem dichten Nebel den Strom bedeckt. Dieser Umstand raubte mir mehr als Eine Gelegenheit, die, nach der Anzeige des Thermometers, zu meinen Beobachtungen sehr günstig seyn mußte, und nöthigte mich oft, Gegenstände in kleinern Entfernungen zu nehmen, als ich ohne dies gethan haben würde.

Um die Gesichtslinie der Oberfläche des Waffers so nahe als möglich zu bringen, hatte ich an das Objectivende eines kleinen Taschenfernrohrs einen ebenen Spiegel, unter einem Winkel von 45° befestigt, so daß, wenn das Rohr senkrecht gehalten wurde, ich eine Aussicht in der horizontalen Ebene, in jedem beliebigen Abstände von der Wasserfläche hatte. So fand ich, daß bei ruhigem Wasser 1 oder 2 Zoll vom Wasserspiegel die Refraction am größten war; sie betrug bei Gegenständen, die nicht mehr als 300 bis 400 Yards entfernt waren, 6 bis 7 Minuten. Zu andern Zeiten fand ich die Refraction in einem Abstände von 1 oder 2 Fuß vom Wasserspiegel am größten; in diesem Falle wird aber eine viel weitere Aussicht erfordert

Die ersten Messungen stellte ich am 23ten Sept. 1800 an; das Wasser war um $2\frac{1}{2}^{\circ}$ wärmer als die Luft, und die Refraction betrug ungefähr $4'$. Am 17ten Octob. war der Wärme-Unterschied 3° , und die Refraction nicht über $3'$. Dafs in diesem Falle die Strahlenbrechung so klein war, erklärte ich mir aus der Trockenheit der Luft, und durch die dadurch bewirkte sehr schnelle Verdunstung, welche, wie ich glaubte, einen grofsen Theil der Wärme wegnahm, die das Wasser ohne dies der Luft mitgetheilt haben würde.

Von dieser Zeit an beobachtete ich nicht blofs den Stand des Thermometers in der Luft und im Wasser, sondern auch, um wie viel Grade das Thermometer sank, wenn die Kugel desselben so lange genäfst erhalten wurde, bis es einen bleibenden Stand angenommen hatte. Um meine Vermuthung, die ich über die Trockenheit der Luft am 22sten October gemacht hatte, zu bestätigen, habe ich überdies in der folgenden Tafel, welche alle meine Beobachtungen enthält, in einer Columnne den Stand des Hygrometers eingerückt, wie er an den Morgen meiner Beobachtungen war, laut des Registers, welches in den Zimmern der königlichen Societät geführt wird.

Um 8 Uhr Morgens	Temperatur.			Refrac- tion.	Verdün- stungs- kälte.	Hygre- meter- stand.
	der Luft.	d. Waf- fers.	Unter- schied.			
1800.						
Sept. 23	57°	60½°	3½°F.	4'	—	72°
Oct. 17	46½	49½	3	3	—	72
22	38	49½	11½	3	—	67
Nov. 1	41	45½	4½	8	½°F.	76
4	43½	46½	3	3 —	1½	72
5	37	45	8	8 +	1	69
12	44½	48½	4	1 +	3½	73
13	40	44½	4	5	½	76
1801.						
Jan. 13	50	63	13	9 +	5	65
22	55	61	6	6 +	6	65
23	55	62	7	6	4½	65
24	55	61	6	5	8	67
Sept. 8	60	64	4	7	2	78
9	64	64½	½	5	3	74
10	58	64	6	7	2	70
um Mitt. 10	63	64	1	2		

Bei genauerer Durchsicht dieser Tafel zeigt sich, daß man im Allgemeinen, wenn das Wasser wärmer als die Luft ist, eine Vergrößerung der Vertiefung des Seehorizontes zu erwarten hat, daß aber die Trockenheit der Luft auf die GröÙe derselben einen bedeutenden Einfluß hat, und sie im Allgemeinen vermindert.

Indeß scheint sich aus diesen Messungen keine Regel ableiten zu lassen, als daß in einigen Fällen die GröÙe ganz anders ist, als man sie nach dem Stande des Thermometers und Hygrometers vermuthen

folgte.) So z B: war am 9ten Septemb. 1801 der Wärmeunterschied nur 7° ; und die Verdunstung, welche diesem kleinen Ueberschusse an Wärme entgegen wirkt, erzeugte 3 Kälte; dessen ungeachtet betrug die beobachtete Refraction volle 5 Und ich glaube nicht, daß ich mich bei dieser Beobachtung geirrt habe; denn das Wasser war damals vollkommen ruhe die Luft ungewöhnlich heiter, und ich hatte Zeit, besondere Aufmerksamkeit auf eine so unerwartete Wahrnehmung zu wenden.

Dieser einzige Fall scheint für die Meinung der Herren Huddart und Monge zu seyn, daß, unter einigen Umständen, die Auflösung des Wassers in der Luft das Brechungsvermögen der Luft vermindert. Doch in keinem andern Falle bin ich auf diesen Schluß geführt worden

Als die schicklichsten Gegenstände, um die Gröfse der Refraction zu messen, habe ich jedes Mal ein ins Wasser getauchtes Ruder, das so weit entfernt war, als man es sehen konnte, oder irgend eine andere auf ähnliche Art geneigte Linie zu diesen Beobachtungen gewählt, und stets den Winkel gemessen, um welchen der Punkt, wo das umgekehrte Bild am Wasserpiegel sich endigt, von dem senkrecht darüber stehenden Punkte des Gegenstandes entfernt ist; also in Fig. 6 die scheinbare Gröfse von *ec*.

*) Man vergl. *Ann.*, XX, 352, u. oben S. 380. d. H.

Die 8-ersten Winkel wurden mit einem Mikrometer, dessen Mutter aus Perlmutter bestand, (*with a mother of-pearl micrometer,*) im Hauptfocus meines Fernrohrs gemessen, und sind nicht ganz so zuverlässig als die 8 folgenden, bei denen ich mich eines eingetheilten Ocularglas - Mikrometers bedient habe, und also das Wanken des Fernrohrs oder des Objects von keinem Einflusse war.

Die vorstehenden Beobachtungen belehren uns, daß die GröÙe der Refraction über einer Wasserfläche sehr bedeutend seyn kann, wenn das Land nahe genug ist, um auf die Temperatur der Luft Einflufs zu haben. Auf offener See läßt sich keine so große Verschiedenheit in der Temperatur erwarten, und aller Wahrscheinlichkeit nach findet dort keine so bedeutende Vermehrung der Vertiefung des Seehorizontes durch Veränderung der horizontalen Strahlenbrechung, als in dem eingeschlossenen Laufe eines Flusses Statt. Bedenken wir indeß, daß auch sie einer Verminderung durch eine gegenwirkende Ursache unterworfen ist, und daß der Horizont selbst scheinbar gehoben werden kann; so bleibt es kein Zweifel, daß bei nautischen Beobachtungen die Voraussetzung, die Vertiefung des Seehorizontes hänge lediglich von der Höhe des Standpunkts über dem Meere ab, einer Correction bedürfe.

Herr Huddart, [*Annal.*, III, 277,] schlägt vor, zugleich zwei Abstände der Sonne von entgegen gesetzten Punkten des Horizontes zu nehmen; der

Ueberschuß der Summe beider über 180° ist gleich der doppelten Vertiefung des Seehorizontes. Dieses ist zwar richtig, läßt sich aber, aus den von ihm angegebenen Gründen, nur innerhalb gewisser Zenith-Abstände bewerkstelligen. Denn ist der Abstand der Sonne vom Zenith zu klein, so verändert sich ihr Azimuth so schnell, daß es eines sehr geschickten und geübten Beobachters bedarf, soll einer allein schnell genug beide Beobachtungen hinter einander machen können; und beträgt der Zenith-Abstand mehr als 30° , so reicht ein Sextant nicht aus, den größern Winkel zu messen. Herr Huddart's Methode läßt sich daher mit diesem Instrumente nur in kleinen Breiten ausführen. Wegen der Schwierigkeit, welche aus der Adjustirung des Instruments für die Beobachtung rückwärts entsteht, verwirft er mit Recht im Allgemeinen diese Methode, Winkel zu nehmen. Hierbei hat er indess ein Mittel übersehen, die Vertiefung des Seehorizontes zu messen, welches, wie mir scheint, sich in allen Breiten mit Vorthail gebrauchen läßt, ohne daß sich der allergeübteste oder skrupulöseste Beobachter dabei zu übereilen braucht.

Bei der Beobachtung rückwärts läßt sich der ganze Abstand zweier entgegengesetzter Punkte des Horizontes, im Vertikalkreise, mit einem Mahle messen, entweder bevor man die Höhe genommen hat, oder nachher. Der halbe Ueberschuß dieses Winkels über 180° ist die gesuchte Vertiefung.

Ist es indess ungewiss, ob das Instrument gehörig adjustirt war, so wird eine zweite Beobachtung nothwendig. Man muß das Instrument umkehren; und ist nun der entgegen gesetzt liegende Bogen nicht um eben so viel kleiner als 180° , als der vorige grösser war, so läßt sich dem gemäß der Fehler des Index verbessern; und weil der Fehler der Adjustirung, so wohl was den senkrechten Stand der Spiegel auf der Ebene des Instruments, als die parallele Lage der Gesichtslinie mit dieser Ebene betrifft, beide Messungen sehr nahe auf einerlei Art verändert, so wird $\frac{1}{4}$ ihrer Differenz der wahren Vertiefung des Seehorizontes sehr nahe kommen, und der Fehler, der aus Mangel an dieser Adjustirung entsteht, läßt sich füglich ganz vernachlässigen.

Diese Methode, für die Beobachtungen auf der See rückwärts, den Fehler des Index zu finden, ist schon vor vielen Jahren von Herrn Ludlam *) empfohlen worden; ich finde aber nicht, daß spätere Schriftsteller über diesen Gegenstand von ihr Notiz genommen haben, oder daß sie zur Bestimmung der Vertiefung des Seehorizontes sey gebraucht worden. Und doch weiß ich keinen Grund aufzufinden, weshalb sie als trüglich verworfen werden sollte. Vielmehr bin ich überzeugt, daß sie in Praxi zweckmäßig werde befunden werden, da die Theorie sie uns als ausreichend kennen lehrt.

*) *Directions for the use of Hadley's Quadrant*, 1771, p. 56.

Die am nächsten liegende ~~Einwendung~~ gegen diese Methode, und gegen die des Herrn Huddart, beruht auf der Möglichkeit, daß die Strahlenbrechung an den entgegen ~~gesetzten~~ Seiten des Horizontes zu ~~einerlei~~ Zeit verschieden ~~seyn könnte~~. Wenn Land in der Nähe liegt, so möchte allerdings wohl eine solche Verschiedenheit vorkommen. Auf der Oberfläche des Oceans lassen sich aber schwerlich partielle Veränderungen in der Temperatur annehmen; höchst wahrscheinlich steigt hier die Verschiedenheit in der Strahlenbrechung nie auf einen bemerkbaren Theil der ganzen Refraction, und überhaupt kann es kein Grund seyn, eine Correction zu verwerfen, daß sie noch andere kleine Fehler zurück läßt, der alle Methoden gleichmäfsig unterworfen sind, und die zu verbessern nicht der Gegenstand dieses Aufsatzes ist.