

---

# ANNALEN DER PHYSIK.

---

JAHRGANG 1806, ACHTES STÜCK.

---

## I.

*Ueber Luftspiegelung,*

vom

Profeflor KRIES

in Gotha.

**E**s ist in den Annalen zu verschiedenen Mahlen von der Luftspiegelung die Rede gewesen, und die darüber gesammelten Aufsätze enthalten nicht nur die merkwürdigsten Beispiele derselben, sondern geben auch zum Theil sehr genügende Erklärungen von ihnen.

Dies gilt besonders von derjenigen Art derselben, bei welcher sich das Bild *unterhalb* des Gegenstandes zeigt, und dieser in der Luft zu schweben scheint. So wie diese am öftersten in der Natur vorkommt, so ist man auch mit der Erklärung derselben, (wenigstens in der Hauptsache,) am ehesten aufs Reine gekommen. Denn es scheint mir gar nicht zweifelhaft, daß die Verdünnung der Luft zunächst an der Oberfläche der Erde, und die *Zurückbrechung* der Strahlen, die aus der dichtern Luft

unter einem sehr schiefen Winkel in die dünnere Luftschicht übergehen, die wahre Ursache derselben ist. Die schöne Beobachtung des Herrn Professors Wrede, (*Annalen*, B. XI, 421,) der eben diese Erscheinung unter veränderten Umständen sah, dient dieser Erklärung zur Bestätigung. Man hat überhaupt diese Erscheinung seit einiger Zeit mit einer Aufmerksamkeit behandelt, die ein rühmlicher Beweis von dem Eifer ist, mit welchem merkwürdige Gegenstände der Naturlehre heut zu Tage verfolgt werden; und ich habe schon öfters bedauert, daß gerade der Mann, der zuerst die Aufmerksamkeit der Physiker auf diesen Gegenstand zu richten bemüht war, und deshalb nicht nur in einer eignen Abhandlung sehr schätzbare Beobachtungen darüber zusammen gestellt, sondern diese auch allen Akademiceen der Wissenschaften in Europa dedicirt hatte, [ Büsch, ] nicht die Freude erlebte, seine Bemühungen belohnt zu sehen.

Was die andere Art der Luftspiegelung betrifft, bei der das Bild *über* dem Gegenstande erscheint, so sind die Beispiele davon seltener, und daher die Beobachtungen derselben bei weitem nicht so mannigfaltig und vielseitig, als die der erstern Art. Indessen weiß man doch so viel, daß auch hier in der Regel das Bild *verkehrt* erscheint, und bald mit dem Gegenstande selbst zusammen hängt, bald mehr oder weniger von ihm getrennt ist. Bisweilen läßt sich noch *ein zweites aufrechtes* Bild über dem verkehrten sehen, und gerade dieses ist es, welches

die Erklärung dieser Erscheinung so schwierig macht. Eigentlich kennt man zwar bis jetzt nur einen einzigen Fall, so viel ich weiß, wo bestimmt diese doppelten Bilder sichtbar waren; allein die Beobachtungen desselben rühren von einem so sachkundigen Manne her und sind mit so vieler Genauigkeit angegeben, daß an ihrer Richtigkeit nicht zu zweifeln ist. Ich rede hier von der Erscheinung, die Vince beobachtet und beschrieben hat, (*Annalen*, B. IV, S. 129.) So vortrefflich aber seine Beobachtung ist, so ungenügend ist seine Erklärung, oder, eigentlicher zu reden, sie sagt gar nichts. Denn er behauptet zwar, daß, wenn die brechende Kraft der verschiedenen Luftschichten sich verschiedentlich ändere, so könne diese Erscheinung entstehen; er zeigt aber weder, auf welche Art die Aenderung geschehen müßte, noch giebt er nur den geringsten Grund an, warum das eine Bild aufrecht, das andere verkehrt erscheint. Wechselten in der Luft dünnere und dichtere Schichten ab, wie er anzunehmen scheint, so würden die Strahlen dadurch nicht nach der Erde zurück gebracht werden, sondern in der zweiten dichtern Schicht eine Richtung annehmen, die der in der ersten ungefähr parallel wäre.

Viel sinnreicher ist die Erklärung, die Wollaston giebt, (*Annalen*, B. XI, S. 1;) doch ist sie nicht von dem Vorwurfe des Gekünstelten frei, und gründet sich auf Voraussetzungen, die nicht erwiesen sind. Denn wodurch beweist er die Behauptung, daß Flüssigkeiten von verschiedener Dichtig-

keit sich so vermischen, daß die Dichtigkeiten der Mischung sich durch eine Linie doppelter Krümmung darstellen lassen? Ist es nicht eben so wohl möglich, daß die Dichtigkeiten gleichförmig zu- oder abnehmen, folglich ihre Unterschiede einander gleich sind? Ueberhaupt ist es eine Frage, ob zwei Flüssigkeiten sich mit einer solchen Regelmäßigkeit vermischen werden, daß man *parallele Schichten* verschiedener Dichtigkeit in ihnen annehmen könnte; und wenn es auch bei kleinen Quantitäten in einem eingeschlossenen Raume geschähe, so läßt es sich schwerlich bei einer großen Strecke der Atmosphäre gedenken, wie es doch bei der zu erklärenden Erscheinung nöthig wäre. Gefetzt aber auch, es wäre wirklich so, so ist dadurch die Schwierigkeit noch nicht aufgehoben. Wollaston verlangt, die Strahlen sollen *parallel* mit den Schichten auffallen; dies ist aber bei einem Gegenstande von einiger Größe, wie ein Schiff, nicht von allen Strahlen, die nach dem Auge gehen, möglich. Die meisten Strahlen müssen mehr oder weniger schief auffallen, und dann den gewöhnlichen Regeln der Brechung gemäß von ihrem Wege abgelenkt werden. Befände sich alsdann der Gegenstand und das Auge *unter* der so genannten Schicht des größten Increments, wie es in den Figuren zu Wollaston's Aufsatz vorgestellt ist, so könnte höchstens *ein* Bild entstehen; woher aber das zweite kommen sollte, ist nicht abzusehen. Noch weniger verstehe ich, wie ein verkehrtes Bild dadurch entstehen soll,

dafs die Strahlen sich vor der Brechung durchkreuzen.

Wollaston führt auch einige *Versuche* an, die seiner Erklärung zur Bestätigung dienen sollen; sie sind aber nicht so bestimmt, dafs sie nicht auch eine andere Ansicht und Erklärung gestatteten. Er schüttet zwei Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit über einander, und ein dahinter gestellter Gegenstand erscheint dreifach, zwei Mal aufrecht und ein Mal verkehrt, — wie es in der von Vince beschriebenen Lufterscheinung der Fall ist. An welche Stelle er den Gegenstand, und in welche er das Auge gehalten, ob *unter*, *in* oder *über* der Ebene, in welcher beide Flüssigkeiten zusammen grenzten, wird nicht bemerkt. Es heisst blofs, er habe jenen anfangs dicht an die Flasche, und nachher ein Paar Zoll davon gehalten. Nach der Abbildung zu urtheilen, war es *unter* der Ebene der Zusammengrenzung; folglich konnten die Strahlen nicht *parallel mit den Schichten* von verschiedener Dichtigkeit auffallen, also auch nicht dem von ihm aufgestellten Gesetze gemäß gebrochen werden. Gleichwohl erschien der Gegenstand wirklich dreifach; es ist daher die Frage, was hier für eine Strahlenbrechung Statt gefunden habe.

Wenn man einen Gegenstand hinter ein Glas Wasser stellt, und das Auge auf der andern Seite so davor hält, dafs es etwas über die Oberfläche des Wassers zu stehen kommt, indess der Gegenstand unter derselben liegt, so giebt es eine Lage des

Auges, in der man den Gegenstand *dreifach* erblickt: unmittelbar durch das Wasser hindurch erscheint er in seiner natürlichen Lage, in einigem Abstände darüber ist ein verkehrtes und dicht über diesem ein aufrechtes Bild desselben. Die beiden letztern sind beträchtlich kleiner als der Gegenstand, und ihre Entfernung von einander kann etwas zu- oder abnehmen, je nachdem man das Auge etwas tiefer oder höher hält. Ich zweifle nicht, daß dieses eben die Erscheinung sey, die Wollaston hervor gebracht hat, da sie mit seiner Abbildung die größte Aehnlichkeit hat. Es ist aber wohl schwer zu glauben, daß Wasser und Luft sich so vermischen sollten daß sie Schichten von verschiedener Dichtigkeit bildeten. Ich erkläre mir daher diese Erscheinung auf folgende Art:

Es sey *ab*, Taf. VII, Fig. 1, der Gegenstand, *CDEF* das Gefäß mit Wasser, und das Auge befinde sich in *O*, so sieht es den Gegenstand 1. *direct* durch die zwischen *aOb* enthaltenen Strahlen; 2. bildet sich am Rande der Flüssigkeit durch die Anziehung des Glases eine Erhöhung, welche die auffallenden Strahlen nach Art eines Prisma bricht; die gebrochenen Strahlen aber gehen theils unmittelbar ins Auge, theils nach der Oberfläche des Wassers, von der sie erst nach dem Auge zurück geworfen werden; jene bringen das obere aufrechte, diese das untere verkehrte Bild hervor. Man sieht daher jenes gerade in der Richtung vom Auge nach dem Rande hin, und dieses, als ob es durch Abspiegelung des ersten in der Oberflä-

che des Wassers entstünde. Eine eigentliche Spiegelung kann hier freilich nicht Statt finden, da das erstere Bild selbst nur ein geometrisches Bild ist. Es macht aber die innere Seite von dem Rande der Flüssigkeit, nicht, wie die Seite eines Prismas, eine Ebene, sondern eine krumme Fläche; daher müssen die Strahlen, welche an dem untern Theile desselben auffallen, stärker gebrochen werden, als die, welche durch den obern Theil desselben gehen; und so kann es geschehen, daß jene nach der Oberfläche des Wassers fahren, von wo sie zum Theil zurückgeworfen werden, und das zweite Bild hervorbringen. Dieses erscheint aus eben dem Grunde verkehrt, aus welchem ein aufrechter Gegenstand in einem horizontalen ebenen Spiegel verkehrt erscheint, weil die Strahlen, die von dem obern Theile des Gegenstandes auf den Spiegel fallen, einen größern Winkel mit der Ebene desselben machen, als die von dem untern Theile des Gegenstandes.

Fährt man an der Seite des Glases, die dem Gegenstande zugekehrt ist, mit einem Blatte Papier oder einem Lineale behutsam von oben herunter, so verschwindet das obere Bild, wenn man eben den Rand der Flüssigkeit erreicht, indess das untere noch ganz oder größten Theils sichtbar ist; fährt man hingegen von unten hinaufwärts, so verschwindet das untere Bild zuerst, indess das obere noch sichtbar bleibt. Dadurch bestätigt sich die gegebene Erklärung über den Ort und die Art der Entstehung eines jeden Bildes. \*Uebrigens erscheinen beide Bil-

der, ihrem vertikalen Durchschnitte nach, beträchtlich verkleinert, weil die hohle Krümmung des innern Randes der Flüssigkeit wie ein Hohlglas wirken muß.

So wie sich die Sache hier mit Wasser und Luft verhält, so verhält sie sich auch bei andern Flüssigkeiten, so lange sich beide nicht so mit einander vermischen, daß die prismatische Erhöhung am obern Rande der untern Flüssigkeit vernichtet wird. Es bedarf also auch keines neuen Gesetzes der Strahlenbrechung oder Beugung, um diese Erscheinung zu erklären; inzwischen läßt sich auch wohl eben so wenig eine Anwendung von ihr auf die Erklärung der Luftpiegelung machen, auf die es eigentlich abgesehen ist, da die Umstände bei dieser ganz verschieden sind.

Es giebt aber noch eine andere Art, wie über einem Gegenstande ein umgekehrtes Bild entsteht, die besser auf die Erscheinung, von welcher hier die Rede ist, zu passen scheint. Wenn nämlich der Gegenstand auf eben die Art, wie im erstern Falle, hinter das Glas mit Wasser gestellt, das Auge aber *unter* die Ebene der Oberfläche des Wassers gehalten wird. Man sieht dann 1. den Gegenstand wiederum *direct* durch das Wasser hindurch; 2. werden die Strahlen, die durch das Wasser unter einem sehr schiefen Winkel über die Oberfläche desselben gehen, wieder in dasselbe zurück gebrochen, und können so ins Auge gelangen, daß dieses ein verkehrtes Bild über dem Wasser erblickt. Die Ober-



fläche des Wassers verhält sich hier wie ein ebener Spiegel; weshalb das Bild so weit über derselben erscheint, als der Gegenstand sich unter ihr befindet. Ja man kann selbst in diesem Falle noch ein drittes Bild erhalten, wenn man den Standpunkt des Auges etwas verändert, nämlich ihn etwas höher nimmt. Man sieht alsdann den Gegenstand wieder unmittelbar durch die Strahlen, die über der Oberfläche des Wassers durch die Luft gehen; das verkehrte Bild aber ist alsdann bereits verschwunden.

Auch zur Erklärung dieser Erscheinung sind die bekannten Gesetze der Strahlenbrechung hinreichend, und die Anwendung davon auf die Luftspiegelung ist nicht schwer. \*)

Man setze nämlich, die unterste Luftschicht der Atmosphäre habe bis auf eine gewisse Höhe gerade die entgegengesetzte Beschaffenheit von der, welche sie bei der Luftspiegelung unterwärts haben muß: anstatt dünner, als die darüber liegende zu seyn, *sey sie dichter als diese*. Es ist zwar der gewöhnliche Fall, daß die Luft zunächst an der Erde dichter als weiter davon ist; aber die Abnahme der Dichtigkeit geht alsdann durch unendlich kleine Ab-

\*) Die nachfolgende Theorie habe ich bereits in meinem *Lehrbuche der Physik*, das in der letztern Ostermesse bei Frommann in Jena erschienen ist, vorgetragen, und ich wünsche durch diesen Aufsatz nicht bloß sie bekannter zu machen, sondern auch die Prüfung derselben um so eher zu veranlassen.

stufungen. Hier hingegen sey die Dichtigkeit bis auf eine gewisse Höhe ziemlich gleich, und der Unterschied zwischen ihr und der angrenzenden Luftschicht groß genug, um die Brechung der Strahlen bei einem sehr schiefen Winkel in eine Zurückwerfung zu verwandeln. Befindet sich dann der Gegenstand so wohl als der Zuschauer *unterhalb* der Grenze der dichtern Luftschicht; so empfängt das Auge 1. die directen Strahlen des Gegenstandes, die ganz innerhalb der dichtern Luftschicht bleiben, und sieht ihn dadurch auf die gewöhnliche Weise *aufrecht*. 2. Können solche Strahlen, die unter einem hinreichend schiefen Winkel in die dünnere Luftschicht übergehen, zurück gebrochen und ins Auge gebracht werden. Diese müssen ein *verkehrtes* über dem Gegenstande liegendes Bild machen.

Es sey z. B.  $AB$ , Fig. 2, die Erdoberfläche,  $mn$  die Grenze der dichtern Luftschicht,  $Bd$  ein Gegenstand, und das Auge in  $a$ , so erscheint der Gegenstand durch die Strahlen innerhalb  $Baa$  aufrecht; hingegen werden die Strahlen, die, wie  $dr$ ,  $Bc$ , über  $mn$  unter einem sehr schiefen Winkel hinaus gehen, unter demselben Winkel zurück gebrochen, und machen im Auge das verkehrte Bild  $bd$ . Auf diese Weise läßt sich die Luftspiegelung aufwärts mit *einfachem* Bilde etwa so gut erklären, als die Luftspiegelung unterwärts. Die Annahme aber, daß die Luft bis auf eine gewisse Höhe eine gleichförmige Dichtigkeit habe, hat nichts ungereimtes. Denn

da sie dicht an der Erde bis auf eine gewisse Höhe sogar dünner werden kann, als weiter von ihr ab, so kann sie noch leichter eine solche Ausdehnung bekommen, daß ihre Dichtigkeit bis auf eine gewisse Höhe gleichförmig wird. Sie kann also hierbei zunächst an der Erde wirklich dünner als gewöhnlich werden. Indessen ist es auch eben so gut möglich, daß sie durch einen umgekehrten Prozeß, der etwas weiter von der Erde ab stärker wirkt, als dicht an derselben, mehr als gewöhnlich verdichtet wird. Wir kennen die Ursachen, welche auf die Dichtigkeit der Luft einen Einfluß haben, noch viel zu wenig.

Bei dieser Art der Luftspiegelung findet die Täuschung nicht Statt, als ob der Gegenstand hinter einer Wasserfläche liege, weil das Bild von dem Theile des Himmels, der hinter dem Gegenstande liegt, ebenfalls hinaufwärts geworfen wird, folglich mit dem wahren Himmel so zusammen fällt, daß es nicht von ihm unterschieden werden kann.

Liegt das Auge über  $mn$ , so kann zwar keine Spiegelung, aber eine starke *Hebung* entstehen, indem die Strahlen bei ihrem Austritte aus der dichtern Luftschicht, gegen diese zu gebrochen werden, und so ins Auge kommen, als ob sie von einem höhern Gegenstande herrührten; auf ähnliche Art wie ein Gegenstand im Wasser einem Auge in der Luft erscheint. Wenn aber auf die zweite Luftschicht in einem merklichen Abstände eine dritte dünnere folgt, so kann auch hier so gut eine Spiege-

lung entstehen, als wenn das Auge sich in der untersten Luftschicht befindet. Und da Luftspiegelung oberwärts mit starken Hebungen verbunden zu seyn pflegt, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß alsdann mehrere Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit über einander liegen.

Es ist also noch die Frage übrig, woher das zweite *aufrechte* Bild über dem verkehrten entstehe, dergleichen *Vince* bei der oben erwähnten Erscheinung wahrgenommen hat. Sollte aber dieses Bild wohl etwas anderes, als *das Luftbild von dem Bilde des Gegenstandes im Wasser* seyn? Die Gegenstände, von welchen *Vince* diese doppelten Bilder in der Luft wahrnahm, waren *Schiffe* oder doch Gegenstände *am Meere*. Diese spiegelten sich natürlich im Wasser; warum sollte also von dem Bilde im Wasser nicht eben so gut ein Luftbild entstehen können, als von dem Gegenstande selbst? Und da das Bild im Wasser die umgekehrte Lage von der des Gegenstandes hat, so muß auch das Luftbild desselben die umgekehrte Lage von dem Luftbilde des Gegenstandes haben, folglich *aufrecht* erscheinen, da dieses verkehrt ist.

Diese-Erklärung stimmt mit allen von *Vince* angegebenen Umständen sehr gut zusammen:

1. Erscheint das aufrechte Bild jederzeit *über* dem verkehrten. Je tiefer nämlich der Gegenstand unter der spiegelnden Fläche liegt, desto höher über dieselbe muß sein Bild fallen. Nun liegt das Bild im Wasser tiefer als der Gegenstand, folglich muß

das Luftbild von jenem höher liegen, als das Luftbild von diesem.

2. Hängt das aufrechte Bild mit dem verkehrten ebenso zusammen, wie der Gegenstand selbst mit seinem Bilde im Wasser. Zwar scheint bei Vince in Fig. 4 ein Zwischenraum von Luft zwischen beiden Bildern zu seyn, der Verfasser aber sagt im Texte nichts davon, sondern spricht nur von dem *Bilde der See*, das zwischen beiden Bildern des Schiffes deutlich zu sehen gewesen sey; und freilich ist auch kein Grund vorhanden, warum dieses *nicht* hätte erscheinen sollen, nur ist es begreiflich, daß es in einem Falle besser zu erkennen war, als in dem andern.

3. Zeigte sich bei nähern Schiffen nur das verkehrte Bild, und auch dieses wohl anfangs nicht ganz, und das aufrechte kam nur dann zum Vorschein, wenn das Schiff sich weit genug entfernt hatte. Denn diejenigen Strahlen, welche unmittelbar von dem Gegenstande aus der dichtern Luftschicht in die dünnere übergehen, machen einen größern Neigungswinkel an der Grenze beider Luftschichten, und können folglich leichter in die dichtere Luftschicht zurück gebrochen und ins Auge gebracht werden, als diejenigen, welche erst nach der Zurückwerfung von der Oberfläche des Wassers aus der untern in die obere Luftschicht kommen.

Die Erscheinung der Klippen von Calais, über welchen Vince, wie er sagt, nur das aufrechte Bild, ohne das verkehrte, bemerkte, scheint eine Ausnahme von der Regel zu machen; allein wir ha-

ben wohl Ursache, in die Beobachtung selbst ein Mißtrauen zu setzen, da bei dem Schiffe, das gleich nachher vor den Klippen vorbeifegelte, das verkehrte Bild auf die gewöhnliche Weise erschien. Vielleicht fiel das verkehrte Bild zum Theil mit den Klippen selbst zusammen; vielleicht wurde es auch, wie Vince bemerkt, durch das Bild der See verdeckt.

Uebrigens wäre es nach dieser Theorie allerdings möglich, daß bloß das aufrechte Bild sichtbar wäre; in dem Falle nämlich, daß der Gegenstand genug unter dem Horizonte entfernt wäre. Vince bemerkt, daß bei der allmählig zunehmenden Entfernung des Gegenstandes erst das verkehrte Bild, und zuletzt das aufrechte zum Vorschein kommt; eben so würde bei einer noch größern Entfernung das verkehrte Bild zuerst verschwinden und folglich das aufrechte ohne dieses sichtbar seyn. Es wird zwar keine bestimmte Beobachtung der Art angeführt, inzwischen läßt sich die Möglichkeit der Sache nicht bezweifeln.

So wird also zur Entstehung eines doppelten Bildes keine andere Beschaffenheit der Luft, als zur Entstehung eines einfachen erfordert, und nur die Lage des Gegenstandes selbst muß verschieden seyn. Es ist aber auch nicht nothwendig, daß der Gegenstand sich unmittelbar am Wasser befinde, sondern es ist genug, wenn zwischen ihm und dem Zuschauer an einer schicklichen Stelle eine Wasserfläche ist, von der die Strahlen so zurück prallen, daß

ſie bei ihrem Austritte aus der dichtern Luftſchicht wieder in dieſe zurück gebrochen und ins Auge geleitet werden. Von einer Beobachtung doppelter Bilder ohne einen Waſſerſpiegel; iſt mir wenigſtens kein Beiſpiel bekannt. Warum aber nicht jede Luftſpiegelung oberwärts mit doppelten Bildern erſcheint, wenn auch der Gegenſtand am Waſſer liegt, davon iſt der Grund ſchon im Vorbergehenden enthalten. es wird nämlich eine *gewiſſe Entfernung*, des Gegenſtandes dazu erfordert, die nach Verſchiedenheit der Umſtände ſehr verſchieden ſeyn kann. Es kommt hier auf die Höhe der dichtern Luftſchicht, und auf die Gröſſe des Unterſchiedes in der Dichtigkeit der zuſammengrenzenden Luftſchichten an. Vince führt ſelbſt den merkwürdigen Umſtand an, daß das Bild des einen Schiffes bald erſchienen und bald verſchwunden wäre, oder bald ein größeres, bald ein kleineres Stück deſſelben ſich gezeigt hätte. Unſtreitig waren Bewegungen in der Luft, wodurch die Luftſchichten verſchiedentlich gemiſcht wurden, oder Wellen in ihnen entſtanden, die Urſache dieſer Erſcheinung.

Eine Anwendung dieſer Theorie auf die berüchtigte Fata Morgana, die vielleicht nicht ſchwer ſeyn dürfte, iſt ſo lange nicht rathſam, als wir keine genaue und verſtändige Beobachtung derſelben haben.

---