

Der Unterschied in der Dämmerungsdauer für verschiedene Breiten ist aber in der That noch größer, als er sich aus den eben durchgeführten Betrachtungen ergibt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein durch die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, sondern auch durch den Zustand der Atmosphäre bedingt ist. Je durchsichtiger und reiner die Luft, desto kürzer ist die Dämmerung, während sie durch zarte in der Höhe schwebende Nebel verlängert wird. So ist denn für einen und denselben Ort die Dauer der Dämmerung sehr veränderlich. Diejenigen Gegenden, welche sich eines tief blauen Himmels erfreuen, werden eine verhältnißmäßig kurze Dämmerung haben. In Chili dauert die Dämmerung nur  $\frac{1}{4}$  Stunde, zu Cumana ist sie noch kürzer.

Wir haben oben die Dämmerungsverhältnisse für die Zeit der Aequinoctien betrachtet; im Sommer sowohl als im Winter wird, wie sich durch eine einfache geometrische Betrachtung nachweisen läßt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas größer.

**Luftspiegelung.** Wenn man entfernte Gegenstände betrachtet, so sieht man bisweilen noch gerade, schiefe oder umgekehrte Bilder derselben. Diese Bilder, welche ohne sichtbaren Spiegel hervorgebracht werden, nennt man Luftbilder.

Wir wollen uns zunächst mit dieser Erscheinung beschäftigen, wie sie in den Ebenen von Aegypten beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine große Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshize merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur Theil nehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heißen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, daß alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seien. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhize und eine



mit Sand beladene Luft, ließen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer.

In dem englischen Reiserwerke: „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Bernatz, London 1852“, finden sich ausgezeichnete bildliche Darstellungen dieses merkwürdigen Phänomens, welches auch im südlichen Theil von Abyssinien häufig gesehen wird. Tab. XV ist die Copie eines solchen Luftspiegels, welchen Bernatz im Thal Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 englische Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erschien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus dessen Mitte eine Felseninsel hervorragte.

Karavanan, welche durch das Thal dahinziehen, sind durch den Luftspiegel ganz unsichtbar, und wenn sie sich dem Rande des scheinbaren Sees nähern, sieht es aus, als ob sie förmlich im Wasser wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menschen über den Spiegel auftaucht, während der untere Theil noch unsichtbar bleibt.

Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolken Schatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen dasselbe umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich die Luftspiegelung wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die interessante Beobachtung, daß der Luftspiegel steigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal einschließen, hinaufsteigend sich mehr und mehr über die Thalsohle erhebt, so daß endlich der ganze Felsen, welchen wir in der Mitte unseres Bildes sehen, vollkommen unter den Luftspiegel untertaucht und für das Auge verschwindet.

Folgendes ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den „Mémoires de l'Institut d'Egypte“ bekannt gemacht hat:

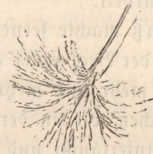
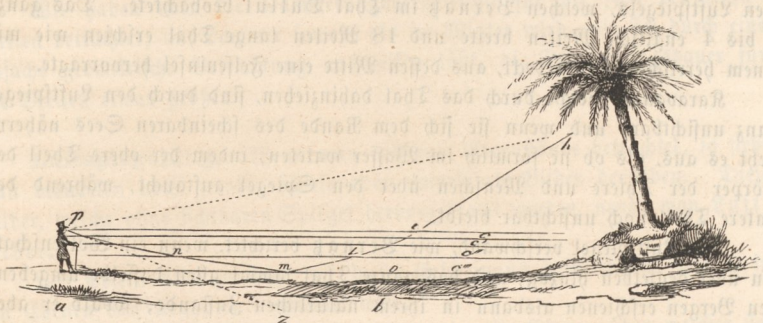
Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, daß die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sei  $ab$ , Fig. 186, der horizontale Boden,  $h$  irgend ein erhabener Punkt. Wir wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von  $h$  in das Auge des in  $p$  befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, daß das Auge ein directes Bild des Punktes  $h$  in der Richtung  $ph$  sieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von  $h$  nach  $p$  gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens einige Unregelmäßigkeit in den Contouren des directen Bildes entstehen kann.

Unter den Strahlen, welche der Punkt  $h$  nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg  $hilmnp$  verfolgen und welche also in der Richtung  $pz$  ins Auge gelangend ein verkehrtes Bild des Gegenstandes

geben. In der That wird der Strahl  $hi$ , wenn er auf die weniger dichte Luftschicht  $c$  trifft, so gebrochen werden, daß er sich vom Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächste, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung  $mnp$  in das Auge.

In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin

Fig. 186.



allmählig abnimmt, so werden auch die Strahlen allmählig abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sei  $cc'$ , Fig. 187,

Fig. 187.



ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 Meter lang, 14 bis 18 Centimeter hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über den Kasten hinsieht, so erblickt man in der Richtung  $pm$  das directe, in der Richtung  $pm'$  aber das verkehrte Bild eines entfernten Bistropunktes  $m$ . An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.



Wollaston hat noch einen anderen Versuch ausgedenkt, um solche Bilder in Flüssigkeiten hervorzubringen. Man gieße in ein rundes oder vieredriges Gefäß von Krystallglas zwei passende Flüssigkeiten über einander, welche ungleiche Dichtigkeit haben und welche sich an der Gränzfläche allmählig mit einander verbinden, wie Wasser und Schwefelsäure, Wasser und Weingeist, Wasser und Zuckersyrup u. s. w.; sieht man über die Gränzfläche hinweg, etwa nach einer auf die Außenseite des Glases gemalten Schrift, so sieht man von derselben ein aufrechtes und ein verkehrtes Bild.

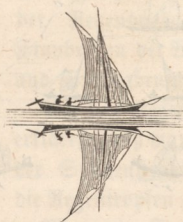
Auch an anderen Orten und unter anderen Umständen werden oft Luftbilder beobachtet. So beobachtete z. B. Vince in Ramsgate eine merkwürdige Wirkung von Luftspiegelung. Wenn man von Ramsgate nach der Küste von Dover hinsieht, so erblickt man bei schönem Wetter die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Berg Rücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze Schloß bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmäßiges, umgekehrtes Bild desselben, so daß die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstießen, wie dies Fig. 188 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen

Fig. 188.



Fig. 189.



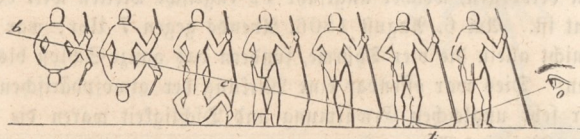
Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 189, ein aufrechtes und ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfter beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung oder des Seegesichtes bekannt. Scoresby hatte in den grönländischen

Meeren häufig Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes, von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, daß unter gewissen Umständen von einem Punkte *t*, Fig. 190, aus, welcher sich in einiger Entfernung von dem Beobachter befindet, man sich eine Linie *tc* gezogen denken kann, so daß alle Gegenstände, welche

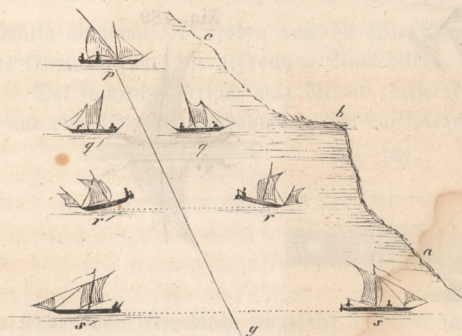
Fig. 190.



sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmählig von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 190 dargestellten Erscheinungen geben.

In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine

Fig. 191.



auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung *gp*, Fig. 191, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmählig nach *q*, *r* und *s* kam, sahen sie ein

deutliches Bild zur Seite in *q'*, *r'*, *s'*, welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes größer wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, daß man es mit bloßen Augen sehen konnte.



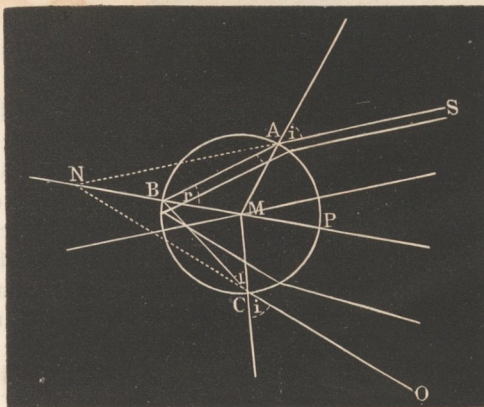
Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Luft über dem See am östlichen Ufer *abc* des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte die Trennungsfäche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertical sein.

Diese Beispiele mögen hinreichen, um eine Idee von den mannigfaltigen und oft bizarren Erscheinungen zu geben, welche durch die außergewöhnliche Brechung des Lichts in aneinander gränzenden Luftschichten von sehr verschiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Wir haben bisher angenommen, daß diese Luftschichten in ebenen Flächen aneinander gränzen; wenn dies aber nicht der Fall ist, wenn die Gränzflächen gekrümmt und unregelmäßig sind, so erscheinen die Bilder verzerrt. Es ist nicht zu bezweifeln, daß die unter dem Namen *Fata Morgana* bekannten Erscheinungen eine Wirkung der Luftspiegelung sind. Sie werden zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten von Sicilien beobachtet. Auf einmal sieht man in großer Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese seenhafte Erscheinung beruht darin, daß Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und welche zerrissen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu sein scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

**Der Regenbogen.** Es ist allgemein bekannt, daß man einen Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, in dessen Spitze das Auge steht und dessen Aze mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen

125

Fig. 192.



Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muß man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl *SA*, Fig. 192, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahls *AB* zu berechnen oder zu construieren. Bezeichnet man den