

J. Luksch's Untersuchungen über die Transparenz und Farbe des Meerwassers¹⁾

Von Prof. Theodor Fuchs, Director am K. K. Naturhistorischen Hofmuseum

Unter den vielen und wertvollen wissenschaftlichen Errungenschaften, welche wir der von Oesterreich ausgerüsteten Tiefsee-Expedition der „Pola“ verdanken, nimmt die vorliegende Publication aus der Feder des bekannten Hydrographen und Physikers J. Luksch einen ganz hervorragenden Platz ein.

Ist es doch das erstemal, dass das Verhalten des Lichtes zum Meerwasser, gestützt auf ein reiches, verlässliches Beobachtungsmaterial, einer exacten vergleichenden Behandlung unterzogen und damit die Grundlage für diesen bisher so sehr vernachlässigten Zweig der Oceanographie gelegt wird.

In der That, wenn die Literatur über die Temperatur, den Salzgehalt, die Tiefen und Strömungen des Meeres heutzutage bereits einen Umfang erreicht hat, welcher es dem Einzelnen schwer macht, dieselbe vollkommen zu beherrschen, so sind die Daten, welche wir über das optische Verhalten des Meerwassers besitzen, so dürftig und kümmerlich, dass man bislang den losen vereinzelt Beobachtungen kaum den Charakter einer eigenen wissenschaftlichen Disciplin zuerkennen konnte.

Die älteren Beobachtungen, die bereits Humboldt, Kotzebue, Wilkes und Schlagintweit über die Farbe und Durchsichtigkeit des Meerwassers anstellten, haben heutigen Tages wohl nur noch ein historisches Interesse.

Der erste, der neuerer Zeit planmäßig Untersuchungen über dieses Thema anstellte, war ein Oesterreicher, L. v. Lorenz, der gelegentlich seiner physikalischen und biologischen Untersuchung des Quarnero in den Jahren 1858—1860 auch Beobachtungen über die Farbe und Durchsichtigkeit des Meerwassers vornahm und sich schon damals der versenkten weißen Scheiben bediente, fünf Jahre früher, als Secchi und Cialdi diese Methode in ihren bekannten Versuchen bei Civita Vecchia in Anwendung brachten.

Als gegen das Ende der Sechzigerjahre Forel seine bahnbrechenden biologischen und physikalischen Untersuchungen im Genfersee begann, wandte er den optischen Eigenschaften des Seewassers, insbesondere dem Eindringen des Lichtes in die Tiefe sein besonderes Augenmerk zu und

¹⁾ Nr. XIX der Wissenschaftlichen Ergebnisse der Expedition S. M. Schiff „Pola“ im Mittelländischen, Aegeischen und Rothen Meere in den Jahren 1890—1898. — Denkschriften der Kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXIX, 1900.

vervollkommte die darauf gerichteten Methoden, indem er neben der Beobachtung versenkter weißer Scheiben auch die Exponierung photographischer Platten, sowie die Beobachtung versenkter elektrischer Lichtquellen in Anwendung brachte.

So groß auch die Bewegung war, die auf Forel's Anregung hin in dem Studium der optischen Verhältnisse der Süßwasserseen entstand, so wurde dieselbe doch bislang nicht auf das Meer übertragen.

Im Jahre 1881 veröffentlichten J. Wolf und J. Luksch einige Beobachtungen, welche sie auf der „Hertha“ im Adriatischen Meere mittels der Scheibenmethode über die Durchsichtigkeit des Meerwassers vorgenommen hatten, und im Jahre 1885 stellten Fol und Sarasin bei Villafranca einige Beobachtungen über das Eindringen des Lichtes in das Meerwasser mittels sehr empfindlicher photographischer Platten an. Aehnliche Untersuchungen, die später Chun bei Neapel vornahm, sind nur sehr unvollständig veröffentlicht worden.

Die große „Challenger“-Expedition wendete dieser Frage gar keine Aufmerksamkeit zu.

Die Expedition der „Gazelle“ machte wohl Aufzeichnungen über Farbe und Durchsichtigkeit des Meerwassers, doch sind dieselben im Verhältnis zu dem durchmessenen Raume (es war eine Weltumseglung) doch zu gering an Zahl und wurden überdies nach sehr unvollkommenen Methoden angestellt.

Die „Plankton“-Expedition endlich befasste sich, soweit es sich um die optischen Verhältnisse des Meerwassers handelte, fast nur mit der Farbe, während sie Beobachtungen über die Durchsichtigkeit nur in minimaler Zahl vornahm.

So blieb es denn der österreichischen „Pola“-Expedition vorbehalten, das, was Forel für die Süßwasserseen geleistet, auf das Meer zu übertragen, und das, was Lorenz begonnen, zur reichen Blüte zu bringen.

Die Anzahl der von Luksch während der Jahre 1890—1898 im östlichen Mittelmeere, im Aegeischen, sowie im Rothen Meere gemachten Einzelbeobachtungen übersteigt weit die Anzahl von 1100, und wer die Gewissenhaftigkeit und Genauigkeit dieses Beobachters kennt, wer ferner ins Auge fasst, dass die eigentliche Aufgabe Luksch' in Lothungen und Temperaturmessungen bestand, die übrigen Beobachtungen aber nur gewissermaßen nebenher vorgenommen werden mussten, der wird der Unermüdlichkeit und Ausdauer dieses Forschers seine Anerkennung gewiss nicht versagen.

Luksch ist aber nicht nur ein ausgezeichnete Beobachter, er ist auch ein Meister, die Beobachtungen kritisch zu sichten, geistig durchzuarbeiten und die gewonnenen Resultate in einfacher, klarer und übersichtlicher Weise darzustellen.

Hat er diese seine Kunst bereits in seinen früheren Publicationen gezeigt, so muss die vorliegende Arbeit geradezu als ein Meisterstück bezeichnet werden, welche ähnlichen Publicationen für lange Zeit als Muster dienen wird.

Es sei uns erlaubt, aus der Fülle von Anregungen und Ergebnissen im Nachfolgenden das Wichtigste herauszuheben.

Farbe des Meerwassers.

Zur Bestimmung der Farbe des Meerwassers wurde die Forel'sche Farbenscala angewendet, in welcher bekanntlich 0 das reine Blau anzeigt, während die Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. immer steigende procentuelle Beimengungen von Gelb anzeigen.

Im ganzen wurden 749 Beobachtungen über die Farbe des Meerwassers gemacht, welche sich auf die einzelnen Gebiete folgendermaßen vertheilen:

Oestliches Mittelmeer	221
Aegeïsches Meer	198
Rothes Meer	330

Die Farbentöne 0 und 1 repräsentieren das blaue Wasser der Hochsee, die Farbentöne 2—5 das Küstenwasser. Die ersteren nehmen im östlichen Mittelmeere weitaus den größten Flächenraum ein, während sie im Aegeïsches Meere auf ein verhältnismäßig kleines Gebiet im Norden von Kreta beschränkt erscheinen. Im Rothes Meere kommt die Farbe 0 überhaupt nicht mehr vor, und selbst die Farbe 1 ist auf einen schmalen Streifen beschränkt, der sich beiläufig in der Mitte der Längenentwicklung in der Achse des Meerbusens befindet.

Höhere Töne als 5 wurden im offenen Meere nur ausnahmsweise beobachtet, so östlich von der Nilmündung 6—9 und im südlichen Theile des Rothes Meeres 6—14.

In Häfen, sowie in unmittelbarer Nähe der Korallriffe kamen allerdings noch höhere Töne vor, die sich aber nach der angewendeten Scala gar nicht mehr mit Sicherheit fixieren ließen.

Die Ursache der verschiedenen Färbung führt auch Luksch auf die Beimengung feiner suspendierter fester Theilchen, d. h. auf eine Trübung des Wassers zurück. Reines Wasser ist rein blau, während es umso ausgesprochener grün wird, je mehr die Menge der festen, suspendierten Bestandtheile wächst.

Es muss hiebei jedoch ausdrücklich hervorgehoben werden, dass auch rein grünes Wasser, welches der Nummer 6 und mehr entspricht, in kleinen Quantitäten, etwa in einem Krüge betrachtet noch immer vollkommen klar erscheint und makroskopisch durchaus keine Trübung erkennen lässt.

Transparenz des Meerwassers.

Die Durchsichtigkeit des Meerwassers wurde zumeist mittels der „Scheibenmethode“ untersucht. Dieselbe besteht bekanntlich darin, dass eine weiße Scheibe (im vorliegenden Falle von 50 cm Durchmesser) ins Wasser versenkt und die Tiefe bestimmt wird, in welcher sie dem Auge des Beobachters entschwindet (Sichttiefe). Diese Methode zeichnet sich durch ihre große Handlichkeit aus, welche es gestattet, die Anzahl der Beobachtungen ausserordentlich zu erhöhen, während anderseits bei Einhaltung der erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen ihre Genauigkeit auch vollkommen ausreicht, um sichere vergleichende Schlüsse zu gestatten, namentlich wenn, wie in dem vorliegenden Falle, die Beobachtungen alle von demselben Beobachter ausgeführt werden.

Im ganzen wurden mittels der Scheibe 389 Einzelbeobachtungen vorgenommen, welche sich auf die einzelnen Gebiete folgendermaßen verteilen:

Oestliches Mittelmeer	104
Aegeisches Meer	143
Rothes Meer	142

Die beobachteten Sichttiefen schwankten in den verschiedenen Meerestheilen und nach Maßgabe der äußeren Verhältnisse in ziemlich weiten Grenzen. Sie betrug im:

	Maximum	Minimum	Mittel
Oestlichen Mittelmeere	60 m	21 m	39·8 m
Aegeischen Meere	54 „	25 „	36·1 „
Rothem Meere	51 „	3·6 „	24·6 „

Den größten Einfluss auf die Sichttiefe übt die Farbe des Meerwassers aus, wie dies übrigens schon von früheren Beobachtern bemerkt und neuerer Zeit, namentlich von Krümmel auf Grund der Beobachtungen der „Plankton“-Expedition nachdrücklich hervorgehoben wurde.¹⁾ Das blaue Wasser Nr. 0 ist das durchsichtigste, und die Durchsichtigkeit nimmt regelmäßig ab in dem Maße, als die Farbe sich dem hellen Grün nähert. Es ist dies auch das Naturgemäße, wenn man erwägt, dass das blaue Wasser das reinste ist und die Entfärbung in Grün durch Trübung des Wassers hervorgebracht wird.

Sehr interessant und wichtig sind die Resultate, die Luksch über den Einfluss der Sonnenhöhe, sowie die Bewölkung auf die Sichttiefe gewonnen hat.

Von vorneherein ist man natürlich geneigt, diesen beiden Factoren einen außerordentlich großen Einfluss auf diesen Punkt zuzuschreiben, und war daher Forel nicht wenig betroffen, als seine diesbezüglichen Untersuchungen im Genfersee einen derartigen Zusammenhang überhaupt nicht erkennen ließen, indem die Sichttiefen keine erkennbaren Verschiedenheiten zeigten, man mochte die Scheibe bei Sonnenaufgang oder des Mittags, man mochte sie bei hellem Sonnenschein oder bei ganz bedecktem Himmel versenken. Nur während des Winters bei außerordentlich reinem Wasser schien sich ein Einfluss des Sonnenstandes und der Bewölkung zu ergeben, doch war dieser immer sehr unbedeutend.

Forel sprach bereits damals die Vermuthung aus, dass die Sichttiefe in den Süßwasserseen nicht sowohl durch die Absorption des Lichtes, als vielmehr durch die Trübung des Wassers bestimmt werde, d. h. die Scheibe entschwindet dem Auge des Beobachters, sobald die Menge der im Wasser suspendirten Theilchen so groß, respective so dicht ist, um die Scheibe vollkommen zu verdecken.

Diese Anschauung scheint nun durch die von Luksch gewonnenen Resultate eine weitere Bestätigung zu erhalten.

Es stellte sich nämlich heraus, dass im Meerwasser sowohl der Sonnenstand als auch die Bewölkung einen sehr erheblichen Einfluss auf die Sichttiefe erkennen ließen, jedoch war dies nur im reinsten Wasser, welches etwa

¹⁾ Siehe hierüber auch v. Lorenz, Der Hallstättersee (diese Schriften 1898).

den Farbentönen 0—3 entsprach, deutlich der Fall. Bereits bei Nr. 4 zeigte sich der Einfluss sehr unbedeutend, um von 5 an allmählich vollkommen zu verschwinden.

Nachdem nun das Wasser der Süßwasserseen niemals die volle Reinheit aufweist, welche den niedersten Farbentönen entspricht, und meist sehr hohe Farbentöne von 6 an aufwärts besitzt, so stimmt es vollkommen mit den von Luksch gewonnenen Resultaten überein, wenn sich in Süßwasserseen der vorerwähnte Einfluss nicht oder doch nur ganz ausnahmsweise erkennen lässt, und gewinnt zugleich die von Forel aufgestellte Theorie eine neue Stütze.

Einen Einblick über das Ausmaß des Einflusses, den der Sonnenstand auf die Sichttiefe ausübt, möge nachstehende Tabelle geben, welche sich auf das Aegeische Meer, und zwar auf die Wasserfarbe Nr. 2 bezieht:

Sonnenhöhe	
0°—10°	32 m
10°—20°	35 „
20°—30°	37 „
30°—40°	39 „
40°—50°	40 „
über 50°	41 „

Es ist aus dieser Tabelle ersichtlich, dass die Sichttiefe durchaus nicht einfach proportionell der Sonnenhöhe zunimmt, und zweitens, dass die Sichttiefe bereits bei niederem Sonnenstand eine verhältnismäßig außerordentlich bedeutende ist.

Letztere Thatsache ist besonders auffallend und ist nur zu bedauern, dass Prof. Luksch nicht bereits vor Sonnenaufgang Beobachtungen über die Sichttiefe vornahm, denn dieselbe betrug unmittelbar bei Sonnenaufgang oder -Untergang im Aegeischen Meere 30—33 m, mithin volle $\frac{3}{4}$ des überhaupt beobachteten Maximums!

Seit langer Zeit wird ein Einfluss des Salzgehaltes auf die Farbe und mithin auf die Durchsichtigkeit des Meerwassers behauptet, und Luksch fand diese Behauptung auch bestätigt, indem unter sonst gleichen Verhältnissen salzreicherer Wasser sich regelmäßig als durchsichtiger erwies als salzärmeres.

Einen sehr eigenthümlichen Einfluss scheinen die Jahreszeiten auf die Durchsichtigkeit des Meerwassers zu üben, indem es sich herausstellte, dass das Wasser unter sonst gleichen Umständen und namentlich bei gleicher Farbe während der kühleren Jahreszeit stets eine größere Transparenz zeigte, und zwar in sehr bedeutendem Ausmaße.

So ergaben sich im östlichen Mittelmeere zwischen Juli und September Differenzen der Sichttiefen von 11, 12 bis 16 m und betrug die mittlere Schwankung 8·8 m.

Im Aegeischen Meere betrug die mittlere Differenz zwischen Juli und September 5·4 m und zwischen August und September 6·0 m. Die größte beobachtete Differenz war im ersten Falle 13, in letzterem 12 m.

Im Rothen Meere wurden die Beobachtungen ausschließlich im Winterhalbjahre von October bis März gemacht, doch betrug auch hier die mittlere

Differenz 5·5 *m* und zeigt eine Zusammenstellung zwischen October und December eine Differenz von 23 *m*.

Bekanntlich hat Wild vor längerer Zeit experimentell nachgewiesen, dass destillirtes Wasser bei höherer Temperatur das Licht rascher absorbiert als bei niedriger und mithin warmes Wasser unter sonst gleichen Umständen weniger durchsichtig sei als kaltes.

Diesem Verhalten schien auch zu entsprechen, dass die Süßwasserseen im Winter regelmäßig bedeutend durchsichtiger sind als während des Sommers, doch gelang es, zu gleicher Zeit in überzeugender Weise nachzuweisen, dass diese Differenz lediglich eine Folge der größeren Trübung während des Sommers und der größeren Reinheit während des Winters sei und demnach mit der von Wild nachgewiesenen Eigenschaft des Wassers nichts zu thun habe.

In neuerer Zeit hat dies v. Lorenz auch für den Hallstättersee, sowie für den Quarnero nachgewiesen.

Für die von Luksch beobachteten Fälle scheint diese letztere Erklärung jedoch nicht zuzutreffen, da bei denselben stets dieselbe Farbennuance und mithin derselbe Grad von Reinheit vorausgesetzt wurde, so dass als Ursache der verschiedenen Transparenz doch nur die verschiedene Temperatur betrachtet werden kann, die auch wirklich ganz im Sinne der Wild'schen Beobachtung wirkt.

Neben den Studien über die Farbe und Durchsichtigkeit des Meeres wurden auch Versuche über das Eindringen des Lichtes in das Meerwasser mittels photographischer Platten vorgenommen. Wegen der Umständlichkeit und Schwierigkeit dieser Untersuchungen war es jedoch nicht möglich, dieselben so oft durchzuführen, als es wünschenswert gewesen wäre, doch liegen immerhin 55 Einzelbeobachtungen vor, von denen 45 auf das östliche Mittelmeer, 6 auf das Aegeische Meer und 4 auf das Rothe Meer entfallen.

Zur Beobachtung wurde anfangs der bekannte Chun-Petersen'sche Apparat verwendet, bei dem die Freilegung und Schließung der lichtempfindlichen Platte mittels einer Propellervorrichtung erfolgt. Später wurde jedoch eine von Luksch verbesserte Vorrichtung substituiert, bei der das Öffnen und Schließen mittels Fallgewichten bewirkt wird, eine Einrichtung, die sich auch auf das beste bewährte.

Als lichtempfindliche Platten wurden Dr. Schleussner's Gelatin-Emulsionsplatten von der Größe 9×12 aus der Fabrik Offenbach am Main benützt.

Für die Beurtheilung der gewonnenen Farbentöne wurde die von Fol und Sarasin vorgeschlagene Scala acceptiert, die bekanntlich 7 Intensitätsstufen der Lichtwirkung enthält, in der 0 den Mangel jeder Lichtwirkung, VI aber die vollständige Schwärzung der Platte anzeigt.

Die Expositionsdauer betrug in der Regel 10 Minuten.

Die Ergebnisse derartiger Untersuchungen sind natürlich wesentlich von der Empfindlichkeit der angewendeten photographischen Platten bedingt.

Als Fol und Sarasin ihre Untersuchungen bei Nizza machten, vermochten sie Lichtwirkungen nicht tiefer als 400 *m* zu constatieren.

Chun, der später empfindlichere Platten verwendete, konnte bei Neapel Lichtspuren noch bis über 500 *m* nachweisen, und Luksch gelang es, schwache, aber doch deutliche Lichtwirkungen noch bei 600 *m* festzustellen.

In Tiefen über 600 *m* waren die photographischen Platten immer vollkommen unverändert.

Das Verhältnis der einzelnen Tiefenstufen zu den angenommenen Intensitätsgraden stellt sich im allgemeinen beiläufig folgendermaßen dar:

100 <i>m</i>	Lichtwirkung	VI (ganz schwarz).
200 „	„	V (fast schwarz).
300 „	„	IV (sehr starker Lichteindruck).
400 „	„	III (starker Lichteindruck).
500 „	„	II (schwacher Lichteindruck).
600 „	„	I (sehr schwacher Lichteindruck).
über 600 „	„	0 (kein erkennbarer Lichteindruck).

Der Einfluss der Meeresfarbe auf die Tiefe und Intensität der Lichtwirkung ließ sich auch nach der photographischen Methode erkennen, den Einfluss der übrigen Factoren zu studieren reichten die gemachten Beobachtungen jedoch nicht aus.

Wie ich einer freundlichen privaten Mittheilung Prof. Luksch' entnehme, hat derselbe gegenwärtig sein Augenmerk hauptsächlich darauf gerichtet, seine bisher fast ausschließlich während des Sommers ausgeführten oceanographischen Untersuchungen durch solche aus dem Winterhalbjahre zu ergänzen. Man kann den Resultaten dieser Untersuchungen nur mit größtem Interesse entgegensehen; wenn ich mir aber an dieser Stelle erlauben dürfte, noch einen Wunsch auszusprechen, so wäre es der, dass Herr Luksch seine bisherigen schönen Beobachtungen über die Transparenz des Wassers auch noch durch Beobachtung vor Sonnenaufgang und nach Sonnenuntergang vervollständigen möchte.