

Werk

Titel: Helmholtz als Meteorologe

Autor: Wenger, R.

Ort: Berlin

Jahr: 1922

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0010|log143

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

tigste nicht in dem Allgemeinen, sondern in der ungeheuren Wechselfülle des Speziellen läge. Vor nicht allzu langer Zeit hat *Sørensen* mit großem Erfolg neue Gesichtspunkte in die experimentelle Erforschung kolloidaler Eigenschaften des Eiweißes hineingetragen.

Wie in der Einleitung dieses Aufsatzes gesagt wurde, gab die Neuauflage von *Nernsts* Theoretischer Chemie die Anregung zu unserer Betrachtung über die Bedeutung der physikalischen Chemie für die Biologie. Sie war daher auch nach der Gedankenrichtung orientiert, die außer *van't Hoff* vornehmlich *Nernst* der physikalischen Chemie aufgeprägt hat. Nächste den inneren, im Wesen des Biologischen liegenden Gründen, wird das *Nernstsche* Lehrbuch selbst dazu beitragen, diese Gedankenrichtung weiter in der Biologie lebendig zu erhalten.

Helmholtz als Meteorologe.

Von R. Wenger †, Leipzig.

Von *Helmholtz'* Beziehungen zur Meteorologie dürften selbst manche Meteorologen kaum mehr wissen, als daß er die Wellen an der Grenzfläche übereinander gleitender Luftmassen verschiedener Dichte — die „*Helmholtzschen* Luftwogen“ — entdeckt und dadurch die Grundlage zur Erklärung der bekannten Erscheinung der Wogenwolken geliefert hat. Wir werden im folgenden zu zeigen versuchen, daß *Helmholtz* zwar nicht ein Wegweiser auf meteorologischem Gebiet genannt werden kann — denn es fehlten die, die sich den Weg hätten weisen lassen —, wohl aber, daß er einer der Männer war, die bis heute am tiefsten in den Mechanismus der Atmosphäre hineingeblickt haben.

Helmholtz hat erst im reiferen Alter begonnen, sich mit meteorologischen Fragen zu beschäftigen. Seine erste meteorologische Publikation, der Vortrag „*Wirbelstürme und Gewitter*“, stammt aus dem Jahre 1875 (1)¹⁾. Gleich hier fesselt die Art der Fragestellung. Die letzte Ursache aller Witterungsvorgänge, so meint *Helmholtz* etwa, ist zweifellos in der Bestrahlung der Erde durch die Sonne zu suchen. Diese durchläuft Jahr für Jahr dieselben, durch astronomische Verhältnisse bedingten Änderungen. Demnach würde zu erwarten sein, daß auch das Wetter an einem Orte jedes Jahr denselben Ablauf zeigt. Annähernd so ist es ja auch in den Tropen und Subtropen. In unseren Breiten aber ist, wie jeder weiß, der Witterungsverlauf oft ein so unregelmäßiger, daß er viel eher den Launen des Zufalls, als festen Gesetzen zu folgen scheint. Worauf ist diese seltsame Erscheinung zurückzuführen? So viel Mühe und Rechenarbeit die Meteorologen schon verwendet hatten, um den scheinbar regel-

losen Schwankungen durch Bildung von Mitteln und Aufsuchung von Perioden Herr zu werden — in dieser Form war die Frage noch nie gestellt worden.

Helmholtz weist zunächst den Gedanken ab, als ob die unregelmäßige Verteilung von Wasser und Land, die unregelmäßige Oberflächengestaltung des letzteren, mit einem Wort: die komplizierten Grenzbedingungen, die wesentliche Ursache dieser Erscheinung sein könnten. In den Gezeiten, meint er, haben wir eine andere Erscheinung vor uns, die von periodisch wechselnden äußeren Einflüssen, nämlich den Anziehungskräften von Mond und Sonne, beherrscht wird. Auch hier sind die Grenzbedingungen — wegen der Unregelmäßigkeit der Meeresbecken — so kompliziert, daß eine exakte Berechnung nach den Gesetzen der Hydrodynamik nicht gelingt. Trotzdem bleiben die bekannten Perioden der wirkenden Kräfte in den Beobachtungen so gut erkennbar, daß man durch Extrapolation derselben sogar Fluttabellen für die Zukunft aufstellen kann, die den Bedürfnissen der Schifffahrt genügen. Entsprechendes müßte auch für die Atmosphäre möglich sein, wenn die Unregelmäßigkeit der Erdoberfläche allein die Erscheinungen verwickelte.

Die wahre Ursache für den launenhaften Charakter des Wetters ist nach *Helmholtz* in dem Vorkommen labiler Gleichgewichtszustände in der Atmosphäre zu suchen. Solche liegen dort vor, wo dampfgesättigte Luftmassen an ihrer oberen oder einer ihrer seitlichen Begrenzungen mit trockener Luft in Berührung sind. Wenn in einem Teile der gesättigten Luftmasse aus einem an sich geringfügigen äußeren Anlaß eine Bewegung nach oben eintritt, so wird Kondensation einsetzen. Die frei werdende Kondensationswärme erwärmt die Luft über die Temperatur der trockenen Umgebung, so daß sie von nun an spontan aufsteigt und weitere feuchte Luft nach sich zieht, die dasselbe Schicksal erleidet, während der frei werdende Raum von der trockenen Luft ausgefüllt wird. Auf solche Vorgänge, die bis zur Erreichung eines neuen, stabilen Gleichgewichtszustandes fort dauern, sind nach *Helmholtz* die Wirbelstürme der Tropen und die Gewitter zurückzuführen.

Der Eindruck des Zufälligen im Witterungsverlauf entsteht nun nach *Helmholtz* dadurch, daß sich die geringfügigen Anlässe, die die Auslösung solcher Vorgänge bewirken, unserer Wahrnehmung entziehen. Das Zufällige ist also nach ihm nur subjektiv und wird durch die Unvollkommenheit unserer Einsicht vorgetäuscht.

Die Aussichten für eine exakte, auf den Gesetzen der Hydro- und Thermodynamik beruhende Vorausberechnung des Wetters werden von *Helmholtz* auf Grund dieser Überlegungen nicht günstig beurteilt. Hier seine eigenen Worte: „Wir können nur solche Vorgänge in der

¹⁾ Die eingeklammerten Zahlen weisen auf das Literaturverzeichnis am Schluß hin.

Natur vorausberechnen . . . , bei denen kleine Fehler im Ansatz der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebnis hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt.“ —

Nach den bisherigen Überlegungen wäre eigentlich zu erwarten, daß das Wetter dort am unregelmäßigsten und launenhaftesten wäre, wo die Luft am meisten Wasserdampf enthält, also in der Tropenzone. Wenn nun auch diese der Sitz der unversehens und mit ungeahnter Gewalt hereinbrechenden Wirbelstürme ist, so sind diese Erscheinungen am einzelnen Ort doch selten. In den Zwischenzeiten läuft das Wetter, wie bekannt, in den Tropen viel regelmäßiger ab als in unseren Breiten. Es ist deshalb von höchstem Interesse, daß *Helmholtz* in zwei späteren theoretischen Abhandlungen „Über atmosphärische Bewegungen“ (3 und 4) das Vorkommen anderer labiler Gleichgewichtszustände in der Atmosphäre nachwies, die rein mechanischer Art sind und namentlich in den mittleren Breiten zur Auslösung kommen.

In der ersten dieser Abhandlungen geht *Helmholtz* von dem von ihm selbst aufgestellten Prinzip der geometrisch ähnlichen Bewegungen aus. Dieses Prinzip, das die Bedingungen feststellt, unter denen in verschiedenen Medien und bei verschiedenen Abmessungen der den bewegten Medien zur Verfügung stehenden Räume geometrisch ähnliche Bewegungen möglich sind, ist neuerdings auch für den Schiff- und Flugzeugbau von größter Bedeutung geworden. Denn es gestattet, die an kleinen Modellen gemessenen Werte für Widerstand, Auftrieb usw. auf die größeren Dimensionen der endgültigen Ausführungsform zu übertragen. Aus dem genannten Prinzip folgt, daß die Bewegung von Flüssigkeiten und Gasen um so weniger dem Einfluß der Reibung unterliegt, je größer die Räume sind, in denen die Bewegung vor sich geht. Diese Folgerung ist natürlich von größter Wichtigkeit für die dynamische Meteorologie. Denn sie gestattet, die in der Dynamik reibungsloser Flüssigkeiten gewonnenen Resultate weitgehend auf die Bewegungen der Atmosphäre zu übertragen. *Helmholtz* benützt a. a. O. das Prinzip zu einer Schätzung der Zeit, die erforderlich wäre, damit sich die Geschwindigkeit einer die ganzen Atmosphären durchsetzenden Luftströmung infolge von innerer Reibung auf die Hälfte des Anfangswertes ermäßigt. Wenn für die innere Reibung derjenige Wert eingesetzt wird, der im Laboratorium aus Durchströmungsversuchen u. dgl. gefunden wurde, so folgen als untere Grenze für jene Zeit zirka 40 000 Jahre.

Hier erhebt sich nun eine eigentümliche Schwierigkeit. Wir haben sichere, hier nicht näher zu erörternde Beweise dafür, daß ein ständiger Luftaustausch zwischen den Tropen und den gemäßigten und höheren Breiten stattfin-

det²⁾, der allgemeine Kreislauf der Atmosphäre. Betrachten wir nun ein Luftteilchen, das etwa in der äquatorialen Calmenzone aufgestiegen ist und sich anschickt, in größerer Höhe über der Erdoberfläche dem Pole zuzustreben. Zuzufolge des Satzes von der Erhaltung der Rotationsmomente der Geschwindigkeiten wird sich dabei die Geschwindigkeit, mit der es um die Erdachse herumläuft — gemessen nicht in bezug auf die rotierende Erde, sondern auf ein mit dem Fixsternsystem fest verbundenes Koordinatensystem —, in demselben Verhältnis vergrößern, in dem sich sein senkrechter Abstand von der Erdachse verkleinert. Eine einfache Rechnung ergibt, selbst unter der Voraussetzung, daß das Teilchen anfangs relativ zur Erde in Ruhe war, schon für verhältnismäßig geringe Polwärtsverschiebungen außerordentlich große West-Ost-Geschwindigkeiten relativ zur rotierenden Erde: bei einer Verschiebung vom Äquator nach 10° Breite eine West-Ost-Geschwindigkeit, d. h. einen Westwind von 14 m/sec, nach 20° Breite einen solchen von 57 m/sec und nach 30° Breite einen solchen von 129 m/sec. Die an zweiter Stelle genannte Geschwindigkeit kommt höchstens einmal in tropischen Orkanen, die zuletzt genannte überhaupt nicht in der Atmosphäre vor. Es läßt sich auch leicht zeigen, daß solche Geschwindigkeiten starke, zum Äquator rüchtreibende Kräfte nach sich ziehen müßten, die jedes weitere Vorrücken der Luft nach dem Pol unmöglich machen würden.

Ähnlichen Schwierigkeiten begegnet der Versuch der polaren Luftmassen, in niedrigere Breiten vorzudringen, wobei sie gegenüber der Erde zurückbleiben, d. h. als Ostwind auftreten müssen.

Die Frage ist nun, wodurch diese außerordentlichen Geschwindigkeiten so gedämpft werden, daß trotzdem ein Luftaustausch zwischen den höheren und niederen Breiten möglich wird. Die innere Reibung kann das, wie die früher erwähnte Überslagsrechnung von *Helmholtz* zeigt, nicht leisten.

Die Antwort, die *Helmholtz* auf diese Frage gibt, ist folgende: Zwischen den Luftmassen nördlichen und südlichen Ursprungs finden ausgedehnte Mischungen statt. Damit ist nicht nur ein Ausgleich der thermischen Eigenschaften, sondern auch ein solcher der Rotationsmomente der Bestandteile verbunden. Das Mischprodukt wird deshalb imstande sein, eine größere Breitenänderung durchzumachen, als es die Bestandteile für sich gekonnt hätten. Natürlich wird das Vordringen der Mischung auch bald zum Stillstand

²⁾ Neuerdings ist mehrfach die Ansicht laut geworden, daß der Kreislauf der Tropenzone in sich geschlossen sei und folglich auch die außertropischen Breiten der beiden Halbkugeln je einen in sich geschlossenen Kreislauf haben. Indessen zeigt eine leichte Überlegung, daß diese Auffassung fehlerhaft sein muß, da sich auf dieser Grundlage unmöglich die durchgängige West-Ost-Drift der Atmosphäre in den außertropischen Breiten erklären läßt.

kommen, aber neue Mischungen mit benachbarten Luftmassen folgen, neues Vorrücken usw. Derart wird, in einer ziemlich mühsamen Weise, sozusagen durch Etappen, ein Verkehr zwischen den verschiedenen Zonen aufrecht erhalten.

Wir werden heute sagen müssen, daß der Ausgangspunkt der Überlegung von *Helmholtz*, die angeblich überaus geringfügige Wirkung der inneren Reibung auf die Luftbewegungen, nicht ganz einwandfrei ist. Wir wissen jetzt, daß infolge der Turbulenz die Dämpfung der Luftbewegungen außerordentlich viel, etwa 300 000 mal größer ist, als *Helmholtz* annehmen zu müssen glaubte. Trotzdem darf unseres Erachtens die Rolle der Luftmischung in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre nicht unterschätzt werden. Alle Anzeichen sprechen vielmehr dafür, daß Turbulenzreibung und Mischung zusammenwirken zur Erhaltung einer dauernden Verbindung zwischen niederen und höheren Breiten.

Zur näheren Untersuchung dieser Mischungsvorgänge hat *Helmholtz* zuerst die Bedingungen aufgestellt, unter denen koaxiale Luftringe von verschiedenem Rotationsmoment und potentieller Temperatur³⁾ miteinander im Gleichgewicht sein können. Unter der den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Voraussetzung, daß der äquaturnähere Ring das größere Rotationsmoment und die höhere potentielle Temperatur hat, ergibt sich, daß Gleichgewicht möglich ist, falls die Grenzfläche zwischen beiden Ringen von der Erdoberfläche in der Richtung nach dem Pole zu ganz sanft ansteigt. Unter den praktisch vorkommenden Verhältnissen beträgt ihr Neigungswinkel gegen den Horizont nur einige Bogenminuten. Die Ringe liegen also mehr übereinander als nebeneinander, wie die Ziegel eines Daches oder die Ringe eines Harnischs, und zwar der potentiell wärmere über dem kälteren. Wenn ein von einem steigenden Ballon oder Drachen getragener Thermograph die Grenzfläche passiert, wird ein plötzlicher Temperaturanstieg registriert werden. Es ist die Erscheinung, die die heutige Aerologie als „Temperaturinversion“ bezeichnet. Man kann ohne Übertreibung sagen, daß *Helmholtz* diese Erscheinung, die damals nur aus den Gebirgsgegenden bekannt war und für eine Eigentümlichkeit derselben gehalten wurde, auf theoretischem Wege auch für die freie Atmosphäre vorhergesagt hat. Durch Beobachtung nachgewiesen wurde sie einige Jahre später anlässlich der

³⁾ Die von *Helmholtz* eingeführte potentielle Temperatur ist die Temperatur, die die Luft annehmen würde, wenn sie adiabatisch auf den Normaldruck von 760 mm gebracht würde. Ihre Berechnung geschieht nach der bekannten Poissonschen Gleichung der Thermodynamik. Durch Einführung der Höhe an Stelle des Druckes (mit Hilfe der barometrischen Höhenformel) erhält man das Resultat, daß die potentielle Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe wächst, gleichbleibt oder abnimmt, je nachdem die vertikale Temperaturabnahme kleiner, gleich oder größer ist als 1° auf 100 m. Im ersten Fall ist das Gleichgewicht stabil, im zweiten indifferent und im dritten labil.

von *Aßmann* organisierten Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten.

Die obige Gleichgewichtsüberlegung läßt sich, indem man die Luftringe unendlich dünn werden läßt, auch auf den Fall stetig veränderlicher Temperaturen und Rotationsmomente anwenden. Es ergibt sich, daß im dynamischen Gleichgewicht die potentielle Temperatur nach oben zu wächst, oder mit anderen Worten, daß die vertikale Temperaturabnahme in der Atmosphäre der rotierenden Erde jedenfalls kleiner als 1° pro 100 m sein muß. Dieses Resultat löst manche Schwierigkeiten, denen man bei der Deutung der durch Beobachtung gefundenen vertikalen Temperaturgradienten begegnet ist. Es deutet darauf, daß man die Ursache für die tatsächlich vorgefundenen geringeren Temperaturgradienten wesentlich darin zu suchen hat, daß die höheren Luftschichten ihren Ursprung in größerer Äquaturnähe haben als die unteren, mit anderen Worten in dem Eingreifen der allgemeinen Zirkulation.

Nun haben wir es allerdings in der wirklichen Atmosphäre nicht mit einem Gleichgewichtszustand zu tun. Wohl aber ist das unaufhörliche Bestreben⁴⁾ vorhanden, einem idealen Gleichgewichtszustand nahezukommen, wenn derselbe auch, wegen der fortgesetzten Störungen durch Reibung, Strahlung, Kondensation, Mischung usw., niemals erreicht wird. *Helmholtz* hat die Theorie des allgemeinen Kreislaufes auf eine neue Grundlage gestellt, indem er lehrte, denselben als Störungen eines solchen idealen Zustandes aufzufassen.

Anfängern bereitet es nach meiner Erfahrung oft Schwierigkeiten, die Beziehungen des *Helmholtz*schen Idealfalles zu den Verhältnissen der wirklichen Atmosphäre richtig aufzufassen. Sie können nicht begreifen, daß es gestattet sein kann, von den Strömungen in der Richtung der Meridiane fürs erste völlig abzusehen. Die Sache liegt nun so: *Helmholtz* vernachlässigt die Reibung, um das Problem der mathematischen Behandlung überhaupt zugänglich zu machen. Nun ist das System der Konvektionsströmungen zwischen den niederen und hohen Breiten aber nichts Anderes, als eine Art thermodynamische Maschine, die Wärme in mechanische Energie verwandelt, und zwar im Mittel genau so viel, als von letzterer durch die Reibung zerstört wird. Läßt man die Reibung weg, so muß man dasselbe mit den Konvektionsströmen tun, denn sonst würden sich mit der Zeit unbegrenzt wachsende Geschwindigkeiten ergeben.

Diese Gedankengänge von *Helmholtz* enthalten aber nicht nur meteorologisch, sondern auch hydrodynamisch Neues. Wie bekannt, beschränkt man sich in der Hydrodynamik durchweg auf die Betrachtung von Flüssigkeiten, deren Dichte konstant oder nur vom Druck abhängig ist. Nun ist zwar in jedem der von *Helmholtz* betrachteten Luftringe die Dichte, zufolge der gemachten Annahme über die Konstanz der potentiellen Tempe-

ratur, nur eine Funktion des Druckes. Aber in verschiedenen Ringen ist die Beziehung zwischen Druck und Dichte eine andere, und wenn wir die Ringe beliebig dünn werden lassen, steht es uns frei, die Dichte innerhalb weiter Grenzen unabhängig vom Druck variieren zu lassen.

Helmholtz hat weiter gezeigt, daß sich Trennungsflächen der betrachteten Art vorzugsweise in zwei Breitengürteln ausbilden müssen: Erstens in der Passatzone, als Grenze zwischen dem Passat und dem darüber fließenden Antipassat. Dort ist sie auch, erstmalig i. J. 1904 durch *Hergesell*, nachgewiesen worden. Zweitens dort, wo die sich durch Ausstrahlung stets neu bildenden kalten Luftmassen des Polarbeckens einen Ausweg nach den wärmeren Breiten suchen. Diese Trennungsfläche steht heute, namentlich infolge der Arbeiten von *V. Bjerknes* und seiner Schule, im Brennpunkt des Interesses der synoptischen Meteorologen. *V. Bjerknes* hat sie, bzw. ihre Schnittlinie mit der Erdoberfläche, die „Polarfront“ genannt und sucht auf ihre Bewegungen alle Witterungsvorgänge der gemäßigten Breiten zurückzuführen.

Wir erinnern jetzt an unseren früheren Ausspruch, daß *Helmholtz* außer den labilen Gleichgewichtszuständen thermodynamischer Art auch solche mechanischer Art in der Atmosphäre nachgewiesen hat. Damit hat es folgende Bewandnis: Es ist zwar, wie früher erwähnt, zwischen benachbarten Luftringen verschiedener potentieller Temperatur und verschiedenen Rotationsmomentes Gleichgewicht möglich, falls die Trennungsfläche eine entsprechende Lage hat. Aber dieses Gleichgewicht ist labil. Geringe Störungen reichen hin, um ein Aufrollen der Fläche mit nachfolgender Mischung der vorher getrennten Luftmassen herbeizuführen. Man hat häufig Gelegenheit, ähnliche Vorgänge im Kleinen zu beobachten, z. B. am Zigarrenrauch. Hier haben wir also eine neue Ursache für den anscheinend zufälligen Charakter der Witterung. Und der Umstand, daß dieser Charakter gerade da am auffallendsten hervortritt, wo wir nach dem obigen eine solche Grenzfläche anzunehmen haben, entscheidet dafür, daß diese Ursache die hauptsächliche ist⁴⁾.

Über den Mechanismus der Störungen hat *Helmholtz* namentlich in der zweiten Abhandlung „über atmosphärische Bewegungen“ tiefergehende Untersuchungen veröffentlicht. Teils macht er für sie die Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche, teils das Nichtzusammenfallen des Kältepoles mit dem Rotationspol der Erde verantwortlich. Fer-

⁴⁾ Daß die Grenzfläche zwischen Passat und Antipassat sich ungleich weniger bemerkbar macht, hängt mit der geringeren Schrägstellung dieser Fläche zusammen, die ihrerseits wieder eine Folge der geringeren ablenkenden Kraft der Erdrotation in den niedrigeren Breiten ist. Diese Fläche kommt gar nicht zum Schnitt mit der Erdoberfläche und braucht deshalb auch nicht immer wieder durchbrochen zu werden, um den aus höheren Breiten kommenden Luftmassen den Durchtritt zu gestatten.

ner zeigt er, daß sich an der Trennungsfläche aneinander gleitender Luftringe Wogen bilden müssen, ähnlich wie der Wind auf einer Wasseroberfläche Wogen aufwirft, nur daß die Luftwogen, entsprechend dem geringeren Dichtigkeitsunterschied beider Medien, sehr viel länger sind als die Wasserwogen. Wenn die Luftwogen zum Branden kommen, was wegen des geringen Dichteunterschiedes verhältnismäßig leicht geschieht, so tritt Mischung der vorher getrennten Luftmassen ein, das Gleichgewicht wird gestört und es treten Verschiebungen ein, bis eine neue Gleichgewichtslage gefunden ist. Solchen Vorgängen haben wir es nach *Helmholtz* zuzuschreiben, daß sich die ideale Trennungsfläche in eine Reihe aufeinanderfolgender Zyklonen und Antizyklonen mit Übergewicht der ersteren auflöst. Dergestalt hat *Helmholtz* schon vor einem Menschenalter in großzügiger Weise die Zyklonen und Antizyklonen als Glieder des allgemeinen Kreislaufes der Atmosphäre aufgefaßt.

Auf die Luftwogen sind, wie schon eingangs erwähnt, die „Wogenwolken“, ferner nach *Helmholtz* Ansicht auch die periodisch aufeinander folgenden Regenböen zurückzuführen. In einer kurzen Mitteilung an die Berliner Physikalische Gesellschaft vom Jahre 1886 hat *Helmholtz* auf Grund eigener Beobachtung ein Gewitter beschrieben (2), dem er die gleiche Entstehung zuschreibt.

Die erste Anregung zur Beschäftigung mit meteorologischen Dingen scheint *Helmholtz* durch das 1872 erschienene Buch von *Reye* „Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen“ empfangen zu haben. Später haben ihn seine eigenen hydrodynamischen Untersuchungen, in erster Linie die über das Prinzip der geometrisch ähnlichen Bewegungen und über unstetige Flüssigkeitsbewegungen, zur Meteorologie geführt. Umgekehrt haben seine Untersuchungen auch wieder seine Tätigkeit als Hydrodynamiker befruchtet; denn durch sie wurde er angeregt, seine Theorie der Wellen an den Grenzen verschieden dichter, gegeneinander bewegter Medien zu entwickeln (5).

Dieses Wenige möge genügen, um darzutun, daß *Helmholtz* meteorologische Arbeiten kein zufälliges Anhängsel, sondern ein integrierender Bestandteil seines Lebenswerkes sind und daß dieses an Geschlossenheit und Schönheit verliert, wenn wir jenen nicht die verdiente Beachtung schenken.

Verzeichnis von *Helmholtz* meteorologischen Veröffentlichungen.

1. *Wirbelstürme und Gewitter*. Vortrag, 1875 in Hamburg gehalten. Vorträge und Reden, Bd. II.
2. *Wolken- und Gewitterbildung*. Aus den Verhandlungen der Physikal. Gesellsch. zu Berlin. 5. Jahrg. S. 96—97. Sitzung vom 22. Okt. 1886. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 287—88.)
3. *Über atmosphärische Bewegungen*. Aus d. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, S. 647—663.

- Sitzung vom 31. Mai 1888. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 289—308.)
4. *Über atmosphärische Bewegungen.* (Zweite Mitteilung.) Zur Theorie von Wind und Wellen. Aus d. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Sitzung vom 25. Juli 1889. S. 761—780. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 309—332.)
5. *Die Energie der Wogen und des Windes.* Aus d. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Sitzung vom 17. Juli 1890. S. 853—872. Wiedemanns Annalen d. Physik, Bd. XLI, S. 641—662. (Wissenschaftl. Abhandl., Bd. III, S. 333—355.)

Hydra und Alge in neuer Zellsymbiose.

Von W. Goetsch, München.

Die Systematik unserer deutschen Süßwasserpolyphen unterscheidet zwei große Gruppen: die grünen, welche durch das ständige Zusammenleben mit symbiotischen Algen ihre Farbe erhalten, und die übrigen, die einer solchen Symbiose entbehren. Diese braun oder grau gefärbten Formen gehören sicher nicht einer einzigen

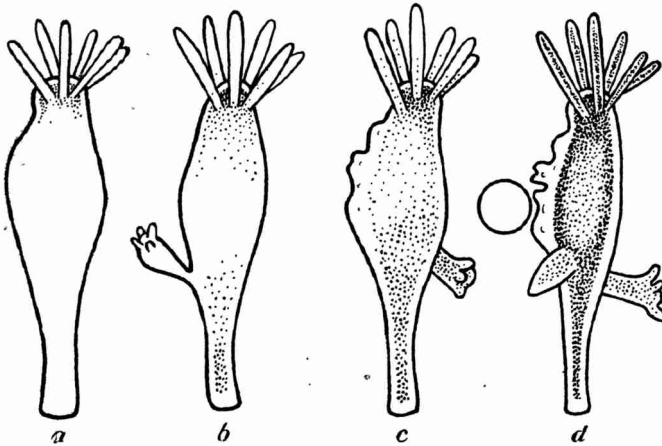


Fig. 1. Allmähliche Verbreitung der Algen im Hydrakörper.

- a nur die Basis der Tentakel grün gefärbt.
 b Kopf und Fußpartie mit Algen; Knospe noch nicht infiziert.
 c Fortschreiten der Verfärbung; die neue Knospe bereits grün.
 d Tier vollkommen durch Algen verfärbt, die aber nicht ins Ei eindringen.

Art an; man muß mindestens zwei Spezies unterscheiden, die von P. Schulze sogar zu Gattungen erhoben werden: die gestielten *Pelmatohydr* mit spiraler Knospenfolge und die ungestielten, deren Knospen meist paarweis entstehen und sich außerdem noch durch das andere Auftreten der Tentakel auszeichnen. Eine genaue Speziesfeststellung ist indessen immer noch unsicher, und selbst die Abgrenzung der beiden Gattungen ist manchmal nicht leicht. Man muß neben morphologischen Merkmalen, die hauptsächlich die Nesselkapseln berücksichtigen, auch noch biologische Momente wie Geschlechtlichkeit, Eibildung und dergleichen in Betracht ziehen. Für Nichtspezialisten auf diesem Gebiete ist es oft äußerst

schwer, in jedem einzelnen Fall zu erkennen, was für ein Tier er vor sich hat.

Neuerdings beginnt nun auch noch die Abgrenzung zwischen braunen und grünen Tieren schwerer zu werden; denn manche dieser Formen scheinen im Begriffe zu sein, dem Beispiel ihrer grünen Gattungsgenossen zu folgen und ebenfalls zu einer Symbiose mit Algen überzugehen.

Daß zwischen manchen grünen und braunen Hydren Zusammenhänge bestünden, vermutete ich seit dem Augenblick, als bei meinen Untersuchungen in einem dunkel stehenden Kulturglas, das meiner Meinung nach nur die grüne *Chlorohydra viridissima* (= *Hydra viridis*) enthielt, einzelne bräunlich gefärbte Tiere aufzutreten begannen. Ich stellte darauf in dieser Richtung hin Beobachtungen an, die aber ebenso wie Versuche, braune Exemplare durch Verfüttern von Algen zur Verfärbung zu bringen, ergebnislos verliefen, bis ich durch Zufall erfuhr, daß bei einer Doktorandin des Münchener Zoologischen Instituts einige braune Hydren grünliche Farbe angenommen hatten. Diese Tiere, die sich schon vorher durch allerlei pathologische Merkmale ausgezeichnet hatten, entstammten dem Botanischen Garten in Nymphenburg, und da ich selbst seit längerer Zeit vom Bassin desselben Warmhauses einige Hydren zu Versuchszwecken hielt, unterzog ich sie einer genauen Untersuchung; mit dem Resultat, daß im Verlauf einiger Tage nach und nach bei fast allen Tieren die Partie um die Mundöffnung herum grün wurde.

Die weitere Beobachtung ergab ein allmähliches Fortschreiten der Verfärbung, wobei jedoch nicht alle Teile gleichmäßig rasch ergrünten. Nach dem ersten Auftreten zwischen den Tentakeln begann vielmehr die grüne Farbe zunächst an der Fußpartie zu erscheinen und breitete sich erst dann allmählich auf die dazwischenliegenden Teile aus, bis nach ungefähr 2 Wochen bei allen Tieren überall am ganzen Körper eine intensiv grüne Färbung zu beobachten war. In der Fig. 1 sind einige Stadien der Algenverbreitung skizziert.

Die Ausbreitung der pflanzlichen Symbionten im Hydrakörper war von ziemlich starken Schädigungen der Tiere begleitet; ich hatte bereits erwähnt, daß bei diesen Tieren schon vor dem sichtbaren Auftreten der Algen pathologische Erscheinungen aufgefallen waren. Bemerkenswert war eine zunehmende Verkleinerung des ganzen Körpers, verursacht wohl dadurch, daß den Tieren Fang und Bewältigung von Beute schwer fiel. Das Reservematerial der sogenannten interstitiellen Zellen, aus dem sich auch die Nesselkapseln ergänzen, schien stark degeneriert zu sein; es zeigte sich das auch darin, daß die regenerativen Prozesse zu dieser Zeit vollkommen gehemmt waren, und die Knospenbildung unterblieb. Dagegen machten sich Längsteilungen bemerkbar, die ebenfalls als ein Zeichen von krankhaften Zuständen aufzufassen sind.