

## Siebenter Abschnitt.

### Die älteren Erklärungen der Wirbelstürme.

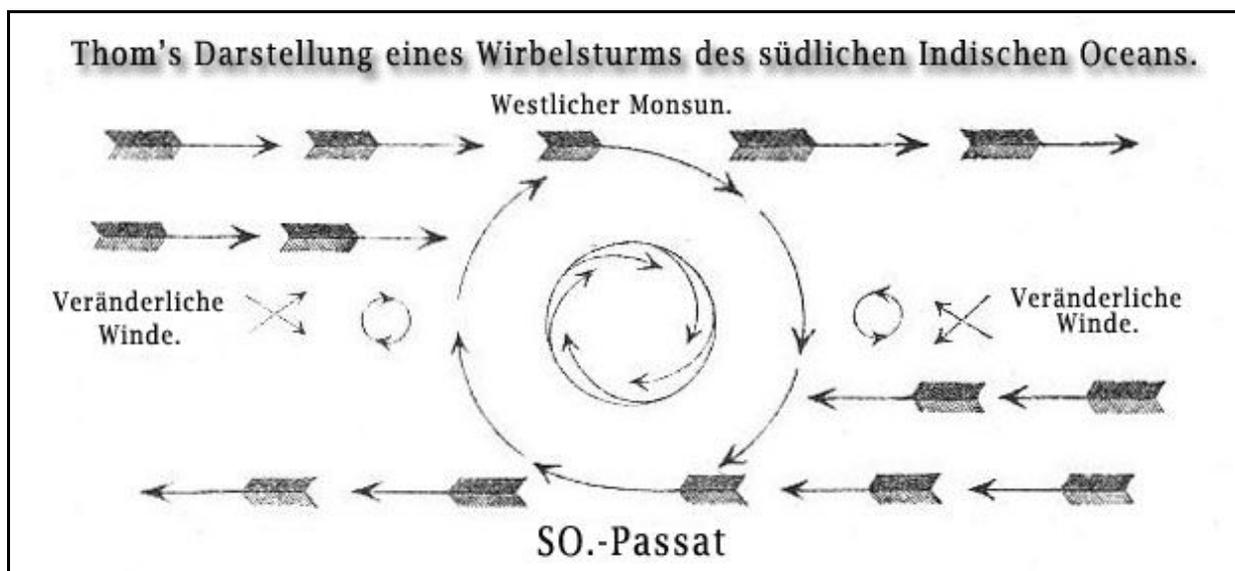
Es wäre rücksichtslos und undankbar zugleich, wenn wir gegenüber den soeben von uns entwickelten Ansichten über die Entstehung und Fortdauer der Cyclonen gänzlich die älteren, bisher vorzugsweise verbreiteten Ansichten ignorieren wollten. Denn dieselben sind nicht nur mit den Namen der bedeutendsten Autoren unserer Wissenschaft innig verknüpft, sondern haben auch das Studium der Wirbelstürme bedeutend gefördert durch Anregung wichtiger Fragen. Nicht leicht ist uns der Entschluss geworden, den Ansichten von Autoritäten wie Dove, Redfield, Thom, Piddington, Espy unsere abweichenden Ansichten gegenüber zu stellen, und nur unsere langjährige, auf sorgfältige Prüfung der Thatsachen und vielfaches Nachdenken gegründete Ueberzeugung, dass jene Männer die verwickelten Erscheinungen der Wirbelstürme nicht in befriedigender Weise erklären, konnte uns dazu veranlassen. Wir würden aber der Wissenschaft einen schlechten Dienst erweisen, wenn wir unsere Bedenken gegen jene älteren Ansichten zurückhalten wollten; denn gerade aus dem offenen, ehrlichen Kampfe der Meinungen pflegt die gesuchte Wahrheit hervorzugehen. Bei Besprechung der älteren Theorien werden wir auch Gelegenheit finden, die Wirbelstürme nach einigen Richtungen hin noch genauer als bisher kennen zu lernen.

Reid enthält sich absichtlich aller Betrachtungen über die Ursachen der Stürme; das Ziel, welches er sich gesteckt hat, geht nicht hinaus über die Erforschung der Regeln, welchen die Cyclonen gehorchen. Auch Redfield bleibt auf diesem Standpunkt stehen; er betont, dass die zu lösende Frage für ihn nicht sei „Wie werden Stürme erzeugt?“, sondern vielmehr „Was sind Stürme?“ und nur gelegentlich deutet er, von seinen Gegnern gedrängt, seine Meinungen über die Ursachen der Orkane an, indem er sich wesentlich Dove anschliesst. Ueber die Ansichten eines dieser Gegner, Espy's, haben wir schon im zweiten Abschnitte gesprochen; gleich uns hält Espy den aufsteigenden Luftstrom für das Ursprüngliche in den Wirbelstürmen, und seine Theorie gipfelt in dem Satze: „Alle Stürme werden durch Dampfkraft erzeugt“. Sehr zu bedauern ist, dass Espy die Wirbelbewegung in den Orkanen hartnäckig leugnet, indem er dieselben für centripetale Stürme erklärt. Er wurde hierzu durch das Studium der Tornados verleitet, dann aber auch durch seine eigenen zahlreichen Sturmkarten, die in viel zu kleinem Massstabe und mit allzugrossen, die Auffassung verwirrenden Windpfeilen gezeichnet sind. Sonst enthält Espy's Theorie viel Beachtenswertes und Richtiges, und wir konnten uns ihr in mehreren Punkten anschliessen.

Piddington neigt sich entschieden den Ansichten Peltier's zu, wonach die Wettersäulen und ebenso die Stürme durch Electricität hervorgerufen werden, doch stellt er seine Meinungen mit einer auffallenden Unsicherheit und meistens nur in Form von Vermutungen auf; auch die Fragezeichen in seinen hier folgenden Sätzen rühren von ihm selbst her. Er sagt u. A.: „Es scheint mir, dass ein einfacher, flacher, spiralförmiger Strom electricischer Flüssigkeit, der oben in einer breiten Scheibe (disk) erzeugt wird und zur Erdoberfläche niedersteigt, den Beginn einer Cyclone völlig und einfach erklären mag (?), und dass sein allmähliges Fortschreiten nach der Richtung, welche die Gesetze der ihn in den oberen Regionen erzeugenden Kräfte ihm ertheilen, ebenso einfach den Grund für ihre Fortdauer und ihre fortschreitende Bewegung ergeben wird (?), sowie die Erschöpfung der Kräfte den Grund für ihr Aufhören (?) ... Wenn wir gefragt werden, warum ein electricischer Strom Stürme in Form von Cyclonen erzeugen soll, so müssen wir erwidern, dass wir bis jetzt nur voraussetzen, es sei so, und dass wir in dieser wie in jeder anderen Theorie auf weitere Thatsachen warten, die uns auf eine neue Theorie leiten oder jene bestätigen.“ Auch an einer anderen Stelle geht er von der Voraussetzung aus, „die Cyclone sei ein elektrisches Meteor, gebildet aus einem oder vielen, dichten und nahezu horizontalen, doch schwach spiralförmigen Strömen electricischen Fluidums, welche so von den höheren Regionen niedersteigen und dabei in der ganzen durchströmten Luft, ohne jedoch diese selbe Luft mitzureissen, Strömungen hervorrufen.“ Dabei verweist er auf Peltier's Versuche, durch welche in Harzdämpfen und in Wasser solche rotirende Ströme erzeugt seien.

Wir können auf diese Vermuthungen nicht näher eingehen, zumal da Piddington uns ganz die Gründe verschweigt, weshalb jene electricischen Ströme auf der nördlichen Erdhälfte den entgegengesetzten Drehungssinn in den Cyclonen hervorrufen wie auf der südlichen. Zu der Vorstellung, dass die Cyclonen in der Wolkenregion sich bilden, scheint Piddington namentlich durch den Bengalischen Wirbelsturm vom October 1848 geführt zu sein. Zwischen den Ost- und Westküsten der Bai von Bengalen und nach Süden hin befanden sich am 10. und 11. October Schiffe in solcher Lage, dass, wenn damals eine Cyclone vorhanden gewesen wäre, wir die Beweise davon besitzen müssten; und doch hatte am 12. October mitten in der Bai ein richtiger Wirbelsturm von 300 Seemeilen Durchmesser begonnen, in dessen 50 Seemeilen breitem Centralraume drei Schiffe bei leichten, veränderlichen Winden sich befanden; derselbe wurde bis Point Palmiras hin verzeichnet, und in ihm verschwanden sieben Schiffe, während vierzehn andere ganz oder theilweise ihre Masten verloren. Diese Cyclone hatte übrigens, ehe sie auf die Bai sich niederliess, Land überstrichen, vielleicht die Adaman-Inseln oder Cap Negrais, denn sie führte in ihrem windstillen Centrum sehr viele Landvögel, Insekten u. s. w. mit sich. Piddington hält es deshalb für möglich, dass sie in dem Chinesischen Meere entstanden sei, wo am 9. eine heftige Cyclone tobte und das Englische Kriegsschiff Childers auf die Pratas-Sandbänke trieb; in diesem Falle war sie durch das Hochland von Cochinchina emporgehoben worden.

Thom spricht seine Ansicht über die Kräfte, welche die Wirbelstürme des Südlichen Indischen Oceans in Wirksamkeit erhalten, mit den Worten aus: „Die ununterbrochene Rotation und die fortschreitende Bewegung sind dem Einflusse des SO.-Passates und des NW.-Monsuns beizumessen, welche in entgegengesetzten Richtungen an den gegenüberliegenden Seiten der in den Sturm verwickelten Luftmasse wehen.“ Er hebt hervor, dass der Passat trocken, der Monsun dagegen feucht ist, und dass zwischen beiden in der Gegend des 1.0. bis 12. Breitengrades ein bis zu 120 Seemeilen breiter Zwischenraum von veränderlichen und leichten Winden oder Windstillen liege, der sich durch unbeständiges Wetter auszeichne. In diesem Zwischenräume glaubt er den Ursprung seiner grossen fortschreitenden Orkane suchen zu müssen. Jene beiden regelmässigen Windströmungen, in deren Gebiete die 400 bis 600 Seemeilen breiten Wirbelstürme um je 200 Meilen seitlich eingreifen, geben dann der kreisenden Luftmasse auf beiden Seiten immer neuen Antrieb. „Selbst wenn das Nebeneinanderliegen von zwei Winden nicht erforderlich ist“, sagt Thom, „um eine Drehbewegung in der Atmosphäre zu erzeugen, so scheint es doch durchaus nöthig für die Fortdauer einer solchen. Keine andere Ursache scheint ausreichend zur Erklärung der 15 oder 20 Tage langen Dauer von Orkanen, die zugleich über eine Entfernung von 3000 Seemeilen hinschreiten.“ Wir glauben diese sehr beachtenswerthen Ansichten Thom's nicht besser erläutern zu können, als durch seine eigene zu diesem Behuf entworfene Skizze.



Thom nimmt ferner ähnlich wie auch Dove und Redfield an, dass die wirbelnde Luft oben durch Centrifugalkraft nach aussen geschleudert werde, und erklärt dadurch den Fall des Barometers im Innern der Cyclonen; zugleich entstehe in Folge dessen ein Luftstrom nach aufwärts, der durch die dichten, von unten mit schraubenförmiger Bewegung hereinstürzenden Luftmassen an der Meeresoberfläche genährt werde. Die übrigen bemerkenswerthen Erscheinungen scheinen ihm eine Folge der plötzlichen und vollständigen Mischung der zwei entgegengesetzten Winde zu sein, welche sich rücksichtlich der Wärme, Feuchtigkeit und Electricität in ganz verschiedenen Verhältnissen befinden.

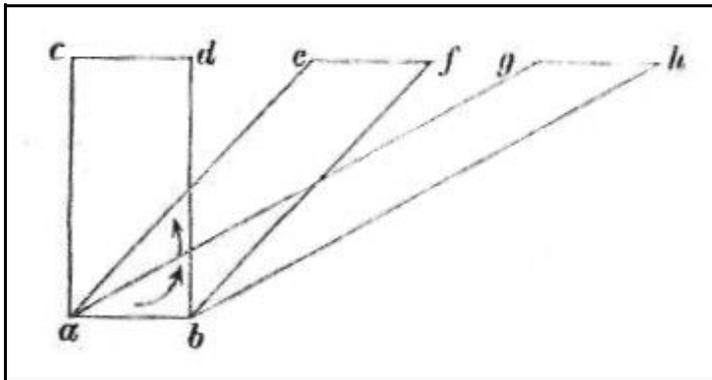
Auch bei den Orkanen aus den sechziger Jahren, deren Bahnen ich in Piddington's Karte (IV) habe eintragen lassen, herrschte so regelmässig der NW.-Monsun im Norden und der SO.-Passat im Süden ihres Ursprunges, dass auch Meldrum <sup>43)</sup> die rotirenden Stürme des südlichen Indischen Oceans für ein Erzeugniss des Conflictes dieser zwei entgegengesetzten Winde erklärt. Aber schon gelegentlich des Orkans vom 12. bis 19. Mai 1863 musste er diese Erklärung zurücknehmen; denn jener Sturm unterschied sich von allen früheren dadurch, dass während seiner ganzen Dauer nicht der NW.-, sondern der SW.-Monsun in der Bai von Bengalen herrschte. Meldrum kommt deshalb zu dem Schlusse, „der NW.-Monsun gehöre nicht wesentlich zur Bildung der dortigen Cyclonen.“

Es scheint uns durchaus nicht unmöglich, dass zwei neben einander hinfließende Luftströme an ihrer gemeinschaftlichen Grenze solche Wirbel erzeugen; sehen wir doch häufig Wasserwirbel auf ähnliche Weise entstehen. Aber unbegreiflich ist es uns, wie der NW.-Monsun und der SO.-Passat, deren Geschwindigkeit Thom zu 30 Seemeilen pr. St. angiebt, ohne Mitwirkung anderweitiger Kräfte der zwischen ihnen wirbelnden Luft eine Orkan-Geschwindigkeit von 100 Seemeilen ertheilen können. Und ausserdem erhebt Piddington gegen Thom den schweren Einwurf, dass ja seine Orkane sich mehrere hundert Seemeilen weit quer durch den Passat einen Weg bahnen. „Gesetzt, eine Cyclone setze sich in 10° S. Br. und 90° O. L. in Bewegung, so müsste der NW.-Monsun seinen Weg querdurch über 10 bis 15 Längengrade hin sich erzwingen, um noch auf dieselbe Weise zu wirken, wenn die Cyclone Mauritius erreicht; und zudem müsste er für sich selbst eine neue Art von Bewegung, seitwärts, erzeugen, um der Cyclone auf ihrer Bahn zu folgen.“

Vollständig widerlegt wird aber Thom's Ansicht durch Piddington's Bemerkung, dass die Passate und Monsune unendlich schwanken zwischen den Strichen, nach denen sie benannt werden, und dass besonders in der Bai von Bengalen und den Chinesischen Meeren der eine dieser Winde sich bald nördlich, bald südlich von dem anderen befinde. „Ist der SW.-Monsun ein WSW.licher und der NO.-Monsun ein ONO.licher im Norden desselben, so erhalten wir für die nördliche Erdhälfte eine im richtigen Sinne sich drehende Cyclone; wenn jedoch der NO.-Monsun ein NNO.licher ist, der an der Ostseite der Bai weht, und der SW.-Monsun ein SSW.licher, der an der Westseite der Bai am stärksten bläst, so wird die Cyclone entgegengesetzt sich drehen.“ Letzteres kommt aber nördlich vom Aequator niemals vor, und Thom's Ansicht muss deshalb verworfen werden.

Wir glauben, der Grund, weshalb die Südindischen Wirbelstürme vorzugsweise zwischen Passat und Monsun entstehen, ist in dem Umstande zu suchen, dass daselbst die Luft ruhiger ist als innerhalb jener Windströme, und dass sie deshalb unten sich stärker erwärmt und mehr Wasserdämpfe in sich aufnimmt, als die untersten Luftmassen der beiden Monsune. Auf dieselbe Weise ist auch das „Ausbrechen des Monsun“ zu erklären, jene Stürme, welche in den Ostindischen Gewässern nicht selten eintreten, während der eine Monsun in den anderen übergeht. Die Verhältnisse, unter denen starke aufsteigende Luftströme sich bilden können, treten eben in ruhiger Luft viel leichter ein als in rasch fortströmender Luft, deren unterste Schichten sich oft erneuern. Auch die Wirbelwinde und Wettersäulen kommen ja, wie die Erfahrung lehrt, am häufigsten, ja beinahe ausschliesslich in ruhiger, stagnirender Luft vor.

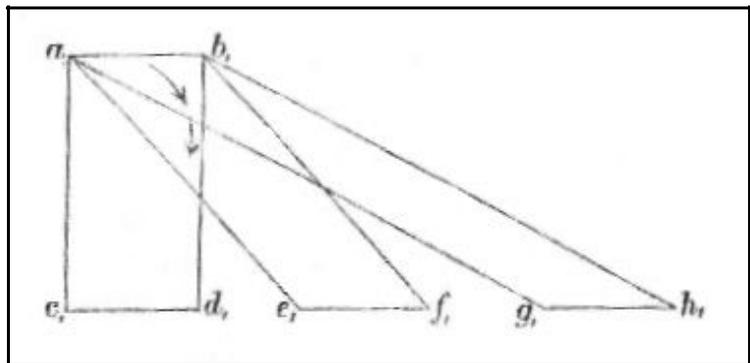
Die Dove'schen Vorstellungen über die Entstehung der Wirbelstürme, zu denen wir jetzt übergehen wollen, geben wir am besten in Dove's eigenen, kurzen Worten <sup>34 b)</sup> wieder. Dieselben



lauten: „Bezeichnet  $ab$  eine Reihe materieller Punkte, welche dem Aequator parallel (und nördlich von demselben) durch irgend einen Impuls in der Richtung  $a c$  nach Nord hin in Bewegung gesetzt werden, so würden diese Punkte, weil sie von grösseren Parallelkreisen zu kleineren gelangen, nach  $gh$  hin sich bewegen, wenn der Raum  $dbh$  leer wäre. Befindet sich aber in diesem Raume unbewegte Luft, so werden die Theile in  $b$  bei ihrer Bewegung nach  $d$  hin, im Raume  $dbh$  immer mit Lufttheilchen von geringerer Rotationsgeschwindigkeit in

Berührung kommen, also ihre Geschwindigkeit nach Ost hin vermindert werden. Der Punkt  $b$  wird also statt nach  $h$  nach  $f$  hin sich bewegen. Die Theile in  $a$  haben hingegen neben sich, auf der Seite nach  $b$  hin, Theile ursprünglich gleicher Rotationsgeschwindigkeit, sie bewegen sich also wie im leeren Räume, d. h. nach  $g$  hin. Ist demnach  $ab$  eine von Süd nach Nord getriebene Luftmasse, so wird die Richtung des Sturmes auf der Ostseite desselben weit mehr Süd sein als auf der Westseite, wo er mehr West ist, und es wird daher eine Tendenz zu einem Wirbel im Sinne S. O. N. W. entstehen. In der Passatzzone aber ist der Raum  $dbh$  mit Luft erfüllt, welche von NO. nach SW. fliesst. Der Widerstand wird also hier am grössten sein, die Luft in  $b$  also so in ihrer Tendenz nach Osten gehemmt werden können, dass sie ihre Richtung nach  $d$  hin unverändert beibehält, während  $a$  nach  $g$  strebt. Der Sturm wird daher hier am heftigsten wirbeln, aber geradlinig mit unveränderter Breite fortgehen. Sowie aber derselbe in die gemässigte Zone gelangt, findet sich im Raume  $dbh$  Luft, welche sich bereits von SW. nach NO. bewegt. Der Widerstand, welchen die Theilchen in  $b$  bisher fanden, wird daher plötzlich bedeutend vermindert, oder ganz aufgehoben, d. h. die Richtung  $bd$  verändert sich nun schnell in die Richtung  $bh$ , der Sturm biegt also plötzlich fast rechtwinklig um, während er an Breite schnell zunimmt, da der bisher zwischen der Bewegung der Punkte in  $a$  und der Punkte in  $b$  vorhandene Unterschied nun aufhört. Die Erscheinungen der südlichen Halbkugel ergeben sich eben so unmittelbar; der Wirbel geschieht dort im entgegengesetzten Sinne, die Richtungsänderung an der Grenze der Tropen ist analog.“

„Die hier gegebene Ableitung der wirbelnden Bewegung findet natürlich nur ihre Anwendung, wenn grössere Luftmassen von einer bestimmten Ausdehnung in der Breite in Bewegung gesetzt werden; kleinere Wirbelwinde, Wasserhosen etc. werden anderen Ursachen ihre Entstehung verdanken, und daher in Beziehung auf die Erdhälften wahrscheinlich weder eine Gesetzmässigkeit noch einen bestimmten Gegensatz zeigen... Die Beobachtungen von Akin in Greenbush bei Albany, von Dwight in Stockbridge in Massachusetts und von Dr. Cowles in Amherst über die bei Waldbränden und windstillen Luft entstehenden heftigen Wirbelwinde beweisen, dass ein sehr lebhafter *Courant ascendant* ebenfalls eine wirbelnde Bewegung zu erzeugen vermag.“





fortschreitet. Aus einem von O. nach W. gerichteten, in einen von SW. nach NO. fliessenden Strom einfallenden Winde muss aber nothwendig eine wirbelnde Bewegung, entgegengesetzt der Bewegung eines Uhrzeigers, entstehen. (Auch in diesem Falle theilen wir Dove's Ansicht nicht. Wenn dabei eine Wirbelbewegung eintritt, so muss ihr Drehungssinn derselbe sein, wie derjenige eines Uhrzeigers.) Der im unteren Passat von SO. nach NW. fortschreitende Wirbel ist demnach das nach einander an verschiedenen Stellen erfolgende Zusammentreffen zweier rechtwinklig auf einander fortgetriebener Luftmassen., und dies die primäre Ursache der Drehung, deren weiterer Verlauf dann, wie früher erörtert wurde, erfolgen wird. Hierbei kann der entstehende Wirbel, als eine sich an verschiedenen Orten wiederholende Folge des Zusammentreffens, seinen Durchmesser möglicher Weise längere Zeit beibehalten und in besonderen Fällen auch sogar verkleinern, wenn auch die Erweiterung überwiegend eintreten wird. Die Westindischen Inseln sind daher das Grenzgebiet zweier entgegengesetzter Witterungssysteme, bezeichnet durch die starke periodische Aenderung des Luftdruckes in dem einen und das Nichtvorhandensein derselben in dem andern, und deswegen vorzugsweise diesen Verwüstungen ausgesetzt."

„Uebrigens will ich keineswegs behaupten, dass alle Westindia Hurricanes ihren ersten Entstehungsgrund in einem Eindringen des oberen zurückkehrenden Passats in den unteren haben; denn die mechanische Ableitung der Drehung findet ihre gleiche Gültigkeit unter der Annahme, dass ein weit über den Aequator in die nördliche Erdhälfte übergreifender Theil des Südostpassats die Veranlassung zum Wirbelsturme gebe."

Den schon geäusserten principiellen Bedenken gegen diese Dove'sche Wirbeltheorie der Orkane müssen wir noch weitere hinzufügen. Dove trennt die Wirbelwinde und Wettersäulen von den Wirbelstürmen, während sie doch von diesen nur durch die Grösse verschieden sind, und noch Niemand angeben konnte, wo zwischen grossen Wettersäulen oder Tornados und den eigentlichen Wirbelstürmen die Grenze zu ziehen ist. Dann setzt er Verhältnisse in der Atmosphäre voraus, die vielleicht in Jahrhunderten kaum einmal, und jedenfalls nicht auf allen Meeren der heissen und der gemässigten Zonen (denn auf allen diesen Meeren sind Cyclonen wahrgenommen worden) in der angenommenen Weise eintreten. Wir können nimmermehr glauben, dass die von Africa nach Westen abfliessende Luft im Stande sein soll, während ihres Vorrückens vom grünen Vorgebirge bis an die Nordamericanischen Küsten, d. h. auf einem Wege von mehr als 3000 Seemeilen Länge, dem oberen Passat den Weg zu versperren und ihn immer von Neuem zum Eindringen in den unteren Passat zu zwingen. Warum sollte nicht ebenso leicht der obere Passat nach oben hin ausweichen, und warum verlegt er nicht der Afrikanischen Luft den Weg? Die Westindischen Orkane haben eine fortschreitende Bewegung von 14 bis 20 Engl. Meilen per Stunde, und mit derselben Geschwindigkeit schreitet nach Dove's Annahme der hemmende Wind von O. nach W. fort; der gehemmte obere Passat muss aber mindestens eine fünfmal so grosse Geschwindigkeit besitzen, wenn er einen Orkan erzeugen soll, in welchem der Sturmwind in jeder Stunde hundert und mehr Engl. Meilen zurücklegt. Wie kann aber ein mittelstarker Wind von 14 bis 20 Meilen Geschwindigkeit einem orkanartigen Sturmwind von 100 Meilen den Weg versperren?

Und sehen wir uns nach anderen Orkanen um, woher kann denn dort der hemmende östliche Windstrom kommen? Niemand wird annehmen wollen, dass die über Neuholland oder den Sunda-Inseln seitlich abströmende Luft stark genug sei, um 2000 Seemeilen westlicher dem oberen Passat den Weg zu verlegen und so die entsetzlichen Mauritius-Orkane hervorzurufen. Ausserdem scheint, wie schon Piddington geltend macht, jede Theorie; welche die Stürme aus der Wechselwirkung entgegengesetzter oder seitlich auf einander stossender Luftströme erklären will, zu viel zu beweisen. Denn sollte man nicht hiernach glauben, dass in den Ostindischen Gewässern wenigstens während der sechs Monate, in denen ein Monsun die Passatwinde kreuzt oder ihnen entgegengesetzt ist, eine beständige Aufeinanderfolge von Cyclonen stattfinden müsse? Und doch ist notorisch, dass sie in den meisten Gegenden nur während gewisser Monate eintreten und manchmal während jener ganzen Jahreszeit keine einzige sich zeigt.

Das Umbiegen der Westindischen Orkane nach NO. hin, welches bei ihrem Eintritt in die gemässigte Zone stattfindet, erklärt Dove durch das Aufhören des Widerstandes, den bis dahin der untere NO.-Passat einer solchen Bewegung entgegengesetzte, und ebendaher soll auch die (übrigens durchaus nicht so „plötzliche“) Erweiterung des Wirbels rühren. Die ersten Ursachen des Orkanes treten also von jener Biegungsstelle an ausser Wirksamkeit. Auf unserer Karte II sind nun aber viele Stürme verzeichnet, die Hunderte, und einzelne, die mehrere tausend Seemeilen noch hinter jener Umbiegung zurückgelegt haben. Ist es wohl denkbar, dass sie diesen ungeheuren Weg, zu welchem sie fünf bis sechs Tage gebrauchten, unter beständiger Arbeitsleistung von mehreren hundert Millionen Pferdestärken und indem sie immer neue, colossale Luftmassen in ihren Strudel hineinzogen, durchmessen konnten, ohne irgend welche Erneuerung ihrer lebendigen Kraft? Ein Wirbelsturm gleicht ja nicht einem soliden Kreisel, der über den Boden hintanzt und bei seiner Bewegung nur einen geringen Luftwiderstand und die unbedeutende Reibung seiner Spitze zu überwinden hat. Eine Cyclone besteht vielmehr aus Luft, die nach allen Seiten davonfliegen kann und auch bei heftiger Rotationsbewegung davonfliegen muss, wenn keine äussere Kraft sie zurückhält oder erneuert. Und der Raum, durch welchen eine solche Cyclone nach NO. hineilt, ist mit ebenso schwerer, wenn nicht noch schwererer Luft erfüllt, die desto grösseren Widerstand leistet, je grösser die Cyclone selbst ist. Und wenn diese Luft auch in den Bereich der letzteren hineingezogen wird, so gehört doch dazu ein Aufwand von mechanischer Arbeit, den die Cyclone gewiss nicht aus ihrem, an der Biegungsstelle vorhandenen Vorrath von lebendiger Kraft zu bestreiten vermag.

Den Fall des Barometers im Innern eines Wirbelsturms erklärt Dove mit Redfield und Thom durch die Fliehkraft der rotirenden Luft und durch eine trichterförmige Erweiterung des Wirbels nach oben hin, welche letztere durch das Eingreifen des rotirenden Cylinders in den oberen Passat entstehen soll. Denselben Ursachen schreibt er als secundares Phänomen ein Saugen in der Mitte des Wirbels zu. Seine Erklärung der mit allen Wirbelstürmen verbundenen heftigen Regengüsse ist in den folgenden Worten enthalten:

„Bei dem Fortschreiten des Wirbels haben wir bisher nicht auf den Widerstand Rücksicht genommen, welchen der Boden der bewegten Luft entgegengesetzt. Dieser Widerstand wird, wie Redfield bemerkt, bewirken, dass der rotirende Cylinder sich in der Richtung seines Fortschreitens vorneigt. Der wirbelnde Sturm wird daher schon in der Höhe der Atmosphäre eintreten, ehe er unten wahrgenommen wird. Daher fällt das Barometer schon vorher, ehe der Sturm ausbricht, und es wird eben deswegen eine Anzeige desselben. Durch die schiefe Richtung der Axe werden aber fortwährend untere warme Luftschichten mit oberen kalten gemischt und dadurch heftige Niederschläge veranlasst werden, die, je stärker sie sind, mit desto gewaltsameren elektrischen Explosionen verbunden sein werden. Die kalte Luft wird dabei aus der Wolke herabzustürzen scheinen, der Sturm daher die Form annehmen, welche die Griechen so bezeichnend Eknephas nannten.“

Gegen diese Vorstellung erhob schon Hare <sup>41c)</sup> in der Meinung, es sei ein gerader rotirender Sturmcyylinder mit schief stehender Axe gemeint, den Einwand, dass dann die Basis des Orkanes an dessen hinteren Hälfte sich von der Meeresfläche abheben werde; z. B. bei einer Cyclone von 360 Seem. Durchmesser, deren Axe sich nur um 1 bis 2 Grad nach vorne neige, würde der hintere Rand sich um 3 bis 6 Meilen heben, also bis zu einer Höhe, die nie von Wolken erreicht werde, und auch die von Redfield angenommene Höhe der Wirbelstürme weit überschreite. Redfield <sup>35</sup> l) erklärt dagegen, die Sturmmaxe könne nach vorne geneigt sein, ohne dass der Sturmwind aufhöre, in horizontalen Schichten um sie zu kreisen; er stellt sich also den Sturmcyylinder schief vor mit horizontaler Basis. Dove's Erklärung der heftigen Niederschläge in Orkanen aber ist damit der Boden entzogen worden; denn bei einer horizontalen Wirbelbewegung des Sturmwindes um eine geneigte Axe kann weder von einer Mischung der unteren warmen Luft mit der oberen kalten, noch von einem Herabstürzen der letzteren aus den Wolken die Rede sein.

Redfield schreibt deshalb auch in seinen späteren Abhandlungen das Entstehen der Wolken einzig und allein dem in Schraubenwindungen erfolgenden Aufsteigen der unteren, warmen Luft zu.

Aber auch das Fallen des Barometers vor dem Eintritt des Orkans kann unmöglich in dem Vorneigen der Axe seinen Grund haben. Denn gesetzt auch, jene Neigung betrage 30 Grad, so wird der Sturmcyllinder bei einer Höhe von 1 bis 10 Engl. Meilen nur um  $\frac{1}{2}$  bis 5 Meilen, d. h. vielleicht um eine Viertelstunde in den höheren Luftregionen voreilen, was zur Erklärung des frühen Barometerfalles längst nicht ausreicht. Uebrigens hat das Barometer nicht bloß an der vorderen, sondern an allen Seiten des sturmartigen Theiles von Cyclonen einen tieferen Stand, als ganz aussen; es zeigt nicht bloß das Herankommen, sondern ebenso gut das nahe Vorbeigehen eines Wirbelsturmes an, und selbst wenn Schiffe eine Cyclone einholen, was schon oft vorgekommen ist, werden sie durch den zeitigen Fall des Barometers auf deren drohende Nähe aufmerksam gemacht.

Und dann ist uns überhaupt unwahrscheinlich, dass der Widerstand der Meeresoberfläche den unteren Theil eines Wirbelsturmes gerade in seiner fortschreitenden Bewegung so sehr verzögern soll. Denn die Geschwindigkeit dieses Fortschreitens ist ja höchstens derjenigen einer frischen oder bisweilen einer starken Briesse gleich und ist manchmal sogar kleiner als die eines gewöhnlichen Fussgängers. Etwas Anderes freilich ist es mit dem pfeilschnellen Sturmwind im Orkan; denn dieser muss unten an der Meeresoberfläche den Widerstand riesenhafter Wellen überwinden, deren Gipfel er zu Schaum peitscht und in deren Thälern er sich fängt. Seine Geschwindigkeit wird gewiss an der Basis des Sturmkörpers wesentlich vermindert, wogegen er in den oberen Regionen ohne derartigen Widerstand forttoben kann. Eine nothwendige Folge dieser Abnahme der Windgeschwindigkeit ist die Verminderung der Fliehkraft unten an der Meeresoberfläche; und deshalb kann die Luft unten, dem äusseren Luftdruck nachgebend, leichter in das Innere der Cyclone einströmen, als die Luft der höheren Regionen, die vielmehr, wie die Bewegung der fliegenden Sturmwolken beweist, durch die Centrifugalkraft und die Ausdehnung der aufsteigenden Luftmassen nach aussen hin fortgedrängt wird.

Dove thut im obigen Citate der kalten Luft Erwähnung, die im Orkane aus den Wolken herabzustürzen scheine. Wirklich kommen manchmal in Wirbelstürmen sehr kalte Windstösse vor, und Piddington hat einige derartige Fälle, die in der Bai von Bengalen vorkamen, gesammelt. Capitain Corney erlebte sie inmitten der Madras- und Masulipatam-Cyclone vom 21. bis 23. Mai 1843, kurz vor dem Umspringen des Windes. Er sagt: „Am stärksten waren die Windstösse um 1 Uhr; damals gab es harte, intermittirende Stösse, von grosser und schrecklicher Hitze begleitet. Nachdem der Sturm sich nach SW. gedreht hatte, gab es abwechselnd heisse und kalte Windstösse.“ In Betreff der October-Cyclone von 1848 schreibt Capitain Arrow: „Heisse und kalte Windstösse wurden deutlich gefühlt; die heissen kann ich nur mit dem Sirocco des Mittelländischen Meeres vergleichen.“ Andere Schilfen schildern in diesem Orkane deutlich den Fall von Graupeln, d. h. von Schnee oder Hagel mit Regen, und das in Ostindien, südlich von Calcutta! Ueber den Madrassturm von 1836 heisst es im Tagebuche des Schiffes William Wilson, welches denselben in nur 11 bis 12 Grad N. Br. durchmachte: „Ein ausserordentlicher Wechsel trat plötzlich in der Temperatur der Luft ein, aber leider kann ich nicht feststellen, ob ein entsprechender Wechsel am Thermometer stattfand, da ich nicht nach jenem Instrumente gesehen hatte, bis ich durch mein eigenes Gefühl und durch die Klage über Kälte seitens meiner ganzen Mannschaft hingelenkt wurde.“ Im südlichen Indischen Ocean befand sich schon am 25. u. 20. Novbr. 1843 das Schiff Futtle Rozack in der Cyclone VIII unserer Karte IV, und zwar unter dem 5. bis 6. Grad S. Br. In dem schon früher citirten Tagebuche <sup>36</sup> b) desselben heisst es: „Starker Sturmwind SW. zu S., meistens von SW., begleitet von heftigen Böen. Das Regenwasser äusserst kalt, das Seewasser sehr warm, viel wärmer als gewöhnlich. Bergige See aus Süden“; und am 26. November ähnlich: „Frischer Sturm mit wüthenden Windstössen und Regen so kalt wie Eis.“

Also eiskalter Regen so nahe beim Aequator und Graupelfall in der Bai von Bengalen! Muss nicht dieser Regen aus den eisigen oberen Regionen der Atmosphäre niedergestürzt sein? Und ist es nicht im höchsten Grade wahrscheinlich, dass er die kalten Luftmassen mit sich gerissen oder wenigstens die Temperatur der von ihm (wohl in Form von Hagel) durchbrochenen unteren Schichten so tief erniedrigt hat? Uns wenigstens scheinen diese kalten Windstösse eine directe Bestätigung der Ansichten zu sein, die wir früher über die Bildung der heftigen Windstösse inmitten der Orkane entwickelt haben. Die heissen Luftströme aber halten wir für einen Theil der Luftmassen, die vom Lande her in die Bengalischen Cyclonen einströmen.

Der Hauptgrund, weshalb uns alle älteren Ansichten über die Entstehung und Fortdauer der Wirbelstürme unbefriedigt lassen, ist der, dass sie keine genügende Erklärung für die ungeheuren mechanischen Leistungen dieser Orkane bieten. Es dürfte deshalb zweckmässig sein, wenn wir unsererseits an einem speciellen Beispiel nachweisen, dass wirklich die frei werdende latente Wärme des in der Cyclone zu Regen verdichteten Wasserdampfes jene mechanische Arbeit leisten kann. Wir haben für den Cuba-Orkan (pag. 121) die lebendige Kraft, welche der einströmenden Luft ertheilt wird, zu 39950 Millionen Meterkilogramm in jeder Secunde berechnet, von welcher Summe eigentlich der vor dem Einströmen in jener Luftmasse vorhandene Betrag an lebendiger Kraft abzuziehen wäre. Diese 39950 Millionen Meterkilogramm sind äquivalent derjenigen Wärmemenge, welche frei wird durch die Verdichtung von

158090 Kilogramm Wasserdampf per Secunde.

Diese Zahl scheint sehr gross, ist aber in der That auffallend klein zu nennen; denn die einströmende Luft enthält 33 bis 45 Mal so viel Wasserdampf, wenn ihr Thaupunkt bei 15 bis 20 Grad Cels. liegt. Und wenn auf die Basis unseres Sturmcyllinders, dessen Radius wir früher zu 100 Engl. Meilen angenommen haben, von Secunde zu Secunde sich jene 158090 Kilogramm Wasser in Form von Regen vertheilt, so würde sich im Verlaufe von 24 Stunden doch nur die unbedeutende Regenhöhe von  $\frac{17}{100}$  Millimeter oder  $\frac{1}{16}$  Linie ergeben. Unsere Fensterscheiben sind im Winter oft mit viel mehr als  $\frac{17}{100}$  Millimeter Wasser beschlagen. Auch in dieser Beziehung wird also unsere Erklärung der Wirbelstürme allen Anforderungen gerecht.

## **Achter Abschnitt.**

### **Wirbelstürme in der Sonnen-Atmosphäre.**

Eine schöne Bestätigung unserer Ansichten von der Entstehung der Wettersäulen und Wirbelstürme finden wir nicht nur in ihrem vorzugsweisen Auftreten während der heissen Tages- oder Jahreszeit, sondern auch in ihrer sonst unbegreiflichen örtlichen und geographischen Verbreitung. Die kleineren Wirbelwinde bilden eine ganz gewöhnliche Erscheinung in den Sandwüsten und baumlosen Steppen der wärmeren Erdstriche, z. B. in Südrussland, Africa, Indien, Australien und in den Sand- und Graswüsten von America; auf unseren reich cultivirten Fluren dagegen sind sie verhältnissmässig selten, wir sehen sie fast nur an heissen, windstillen Sommertagen, und zwar auf sonnigen Plätzen und Landstrassen, und das leichtbewegliche Laub unserer Wälder, sowie die langgestreckten Kornhalme werden äusserst selten von ihnen beunruhigt. Ebenso treten die Wettersäulen und Wasserhosen am Häufigsten in der heissen Zone auf, weil dort die erforderlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der Luft am Leichtesten vorkommen können; in den kalten Zonen hingegen sind sie gänzlich unbekannt. Es ist sicher kein Zufall, wenn speciell in Deutschland das Rheinthale bei Königswinter und Coblenz verhältnissmässig oft von Wettersäulen heimgesucht wurde; von Höhenzügen umschlossen mag die Luft in diesem weiten und wasserreichen Thale häufiger als anderswo ganz zur Ruhe kommen, und alsdann durch die Gluth der Sonne, welche unserem edlen Wein sein Feuer giebt, aufgelockert werden, bis sie emporstrudelt.

Die Vereinigten Staaten von Nordamerika haben grössere und einförmigere Ebenen als das mittlere und westliche Europa, ihr Sommer ist heisser als der unserige; was Wunder also, wenn die Americanischen Tornados heftiger, ausgedehnter und häufiger sind, als unsere Wettersäulen! Ohne Zweifel aber werden sie wiederum weit übertroffen von den Tornados der Africanischen Sandwüsten, welche ganze Wolken von Staub mit sich emporreissen, so dass dadurch selbst auf den Canarischen Inseln manchmal die Sonne verdunkelt wird.

Und wenn bei den Wirbelstürmen nicht bloß die starke Erwärmung, sondern namentlich auch der Dampfgehalt der unteren Luftschichten eine grosse Rolle spielt, so ist es wohl begreiflich, dass dieselben vorzugsweise auf dem Meere, seltener und minder heftig auf den Kontinenten entstehen, dass sie am Schrecklichsten in der heissen Zone wüthen, dass sie dort namentlich in der Gegend der Calmen sich bilden, und dass ihre Ausdehnung von der Grösse des Meeres, dessen Luftraum sie durchwühlen, theilweise abhängt. Piddington <sup>37 b)</sup> macht zu der Andaman-See, diesem engbegrenzten östlichen Theile der Bai von Bengalen, die Bemerkung, eine weite Ausdehnung des Meeres sei durchaus nicht erforderlich zur Entwicklung von äusserst heftigen Cyclonen, die freilich einen sehr kleinen Umfang haben mögen; und einen Beleg hiefür bietet ihm der Orkan vom 10. bis 12. November 1844, welcher daselbst die Englischen Transportschiffe Briton und Runnimeade zu Wracks machte. Ebenso mag die relative Kleinheit des Chinesischen Meeres daran schuld sein, dass seine fürchterlichen Teifuns im Vergleiche zu den Wirbelstürmen des Atlantischen und des südlichen Indischen Oceans eine geringe Ausdehnung haben. Seit den Tagen des Horaz ist das Caspische Meer berüchtigt wegen seiner plötzlichen und heftigen Stürme; wenn dieselben, wie wir anzunehmen geneigt sind, zum Theil den Character von Cyclonen besitzen, so gehören sie gewiss wegen der geringen Grösse jenes Meeres zu den Seetornados oder Tornado-Cyclonen.

Umgekehrt dürfen und müssen wir schliessen, dass die Wirbelstürme viel häufiger, heftiger und in noch grösserer Ausdehnung in unserer Atmosphäre auftreten würden, wenn unter allen Himmelsstrichen die Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnisse der Luft denjenigen unter den Tropen ähnlich wären. Welche gewaltige Rolle mögen die Cyclonen aber erst in grauer Vorzeit gespielt haben, als noch die Erde, wie hervorragende Astronomen und Geologen mit Grund behaupten, glühend war! Damals gab es vielleicht Meere von feurig-flüssiger Lava, aber keine von Wasser; letzteres war vielmehr theils als durchsichtiger Dampf, theils in Form von schweren, dichten Wolken in der viel weiter als jetzt sich erstreckenden Atmosphäre vertheilt, und wo es etwa in wolkenbruchartigen Regengüssen zur glühenden Erdoberfläche niederstürzte, wurde es alsbald wieder siedend in Dampf verwandelt. Die untersten Luftschichten, von der Erdoberfläche aus viel stärker erhitzt als heutzutage, mussten auf diese Weise ganz bedeutende Mengen von Wasserdampf aufnehmen; die obersten Luftschichten dagegen, zum Theil durch Wolken gegen die Gluth der Erde geschützt, konnten und mussten durch Wärmestrahlung nach aussen sich stark abkühlen und ihren Dampfgehalt in Form von Regen verlieren.

Ueber die ganze Erde hin waren also die Bedingungen zur Entstehung der ausgedehntesten Cyclonen vorhanden. Im Wirbelsturme emporsteigend, musste die heissfeuchte untere Luft ganz andere Wassermassen in Wolkenform abgeben, als jetzt; ihr Auftrieb musste wegen der Grösse dieses Niederschlages und seiner latenten Wärme viel heftiger und die Geschwindigkeit des Sturmwindes unvergleichlich grösser werden, als in den furchtbarsten unserer jetzigen Orkane. Es wird keine müssige Speculation sein, wenn wir uns eine Vorstellung davon zu bilden suchen, wie damals wohl die Erde vom Monde her ausgesehen haben mag.

Sie musste dem Beobachter als eine grosse, glühende Scheibe erscheinen, von etwa viermal so grossem Durchmesser wie die Mondscheibe, jedoch umgeben von einer sehr ausgedehnten, von Wolken durchzogenen Atmosphäre. Während vielleicht auf der feurig-flüssigen Erdoberfläche keine bedeutenden Unterschiede wahrzunehmen waren, zeigte der umgebende Luftraum bei genauer Beobachtung starke, längere Zeit hindurch andauernde Wallungen, die mit den grösseren, regelmässig geformten Wolken in Beziehung standen.

An solchen Stellen der Erdscheibe nämlich, wo die Luft heftig nach aussen hin vorbrach, bildete sich bald aus dem mitgerissenen Wasserdampfe eine rasch anwachsende und immer dichter werdende Wolke, die auf der Erdscheibe als rundlicher Fleck sich darstellte. In der Mitte, wo die Wolke sich erneuerte, so lange der nach aussen gehende Luftstrom anhielt, erschien sie compact und undurchdringlich, an den Rändern dagegen war sie in kleinere Stücke zertheilt, die allmählig sich auflösten. Manchmal war vielleicht auch die Wirbelbewegung des ausbrechenden Luftstroms erkennbar, sei es am Luftstrom selbst und dem mitgeführten Nebel, sei es an der gebildeten Wolke. Letztere bewegte sich bei der Drehung der Erde langsam von West nach Ost, bis sie: am östlichen Rande der Erdscheibe verschwand; und wenn der erzeugende Luftstrom lange genug anhielt, kam sie nach einiger Zeit am westlichen Rande wieder zum Vorschein, so dass aus dieser regelmässigen Bewegung die Dauer der Erdumdrehung hätte annähernd berechnet werden können. Aber auch eine eigene Bewegung dieser Wirbelstürme über die Erdoberfläche hin hätte wahrgenommen werden können, indem gleichzeitige Wolken dieser Art sich manchmal auch gegen einander verschoben, sich namentlich ihr Abstand vom Aequator änderte und sie nicht immer dieselbe Umlaufszeit ergaben.

Diese Betrachtung ist durchaus keine eitle Phantasie, wie so manche romanhafte Auslassungen über das Leben und die Bewohner ferner Planeten oder kaum sichtbarer Fixsterne, sondern sie gründet sich auf die sichere Kenntniss, die wir von den Wirbelstürmen besitzen. Sie wird ausserdem bestätigt durch die Erscheinungen, welche in den letzten Jahren mit Hülfe der Spectral-Analyse auf dem einzigen, noch heftig glühenden Körper unseres Sonnensystemes, auf der Sonne selbst wahrgenommen worden sind. Auch auf der Sonne giebt es ungeheure Cyclonen, und vielleicht dient Das, was wir soeben über die Wirbelstürme des früher glühenden Erdballs gesagt haben, dazu, auch jene solaren Cyclonen unserem Verständnisse näher zu rücken. Wir sind zu der Hoffnung berechtigt, dass die Erforschung dieser Sonnenstürme auch zu der Kenntniss der irdischen Cyclonen noch einmal wesentlich beitragen werde, und sicher werden aus ihr neue Bestätigungen unserer Erklärung der Wirbelstürme sich ergeben. Der Schilderung bisheriger Beobachtungen von solaren Cyclonen müssen wir eine kurze Zusammenstellung derjenigen zuverlässigen Kunde, die wir bis jetzt von der Constitution der Sonnenatmosphäre besitzen, vorausschicken. <sup>51)</sup>

Kirchhoff, welcher bekanntlich mit Bunsen zusammen die Spectral-Analyse geschaffen hat, bewies durch dieselbe schon 1861 „mit einer so grossen Sicherheit, als sie bei den Naturwissenschaften überhaupt erreichbar ist“, dass die Sonnenatmosphäre Eisendämpfe enthält; schon damals behauptete er die Anwesenheit von Calcium, Magnesium, Natrium, Chrom und Nickel in der Atmosphäre der Sonne. Spätere Untersuchungen von Angström u. A. bestätigten diese Behauptung und fügten jenen Metallen noch das Kobalt, Kupfer, Barium, Mangan, Titan, und das Wasserstoffgas hinzu; auch machten sie es sehr wahrscheinlich, dass noch andere Metalle, wie Zink und Aluminium, sich in Dampfform auf der Sonne befinden. Von einer Anzahl sonstiger Metalle und von den nichtmetallischen Stoffen Silicium, Kohle, Stickstoff, Sauerstoff u. A. konnte das Vorkommen in der Sonnenatmosphäre bisher nicht direct durch das Spectroscop bewiesen werden; aus Secchi's Beobachtungen vom Februar 1869 scheint übrigens hervorzugehen, dass in oder über grossen Sonnenflecken sich Wasserdampf befindet, und hiernach würde in der Sonnenatmosphäre auch der Sauerstoff nachgewiesen sein.

Thatsächlich herrscht also auf der Sonne eine so hohe Temperatur, dass Eisen und viele andere Metalle sich als flüchtige, glühende Dämpfe in ihrer Atmosphäre vorfinden. Bei totalen Sonnenfinsternissen wird diese Atmosphäre sichtbar als ein Lichtkranz, welcher die dunkle Mondscheibe wie eine Glorie umgiebt und bekanntlich „Corona“ genannt wird. Der innere perlweisse Theil dieser Corona hat eine scheinbare Breite von drei bis vier Bogenminuten und darüber; von ihm aus durchziehen meistens unregelmässige, wenig leuchtende Strahlenbündel den minder hellen, aber breiteren äusseren Ring, welcher allmählig in das Dunkel des Himmels übergeht.

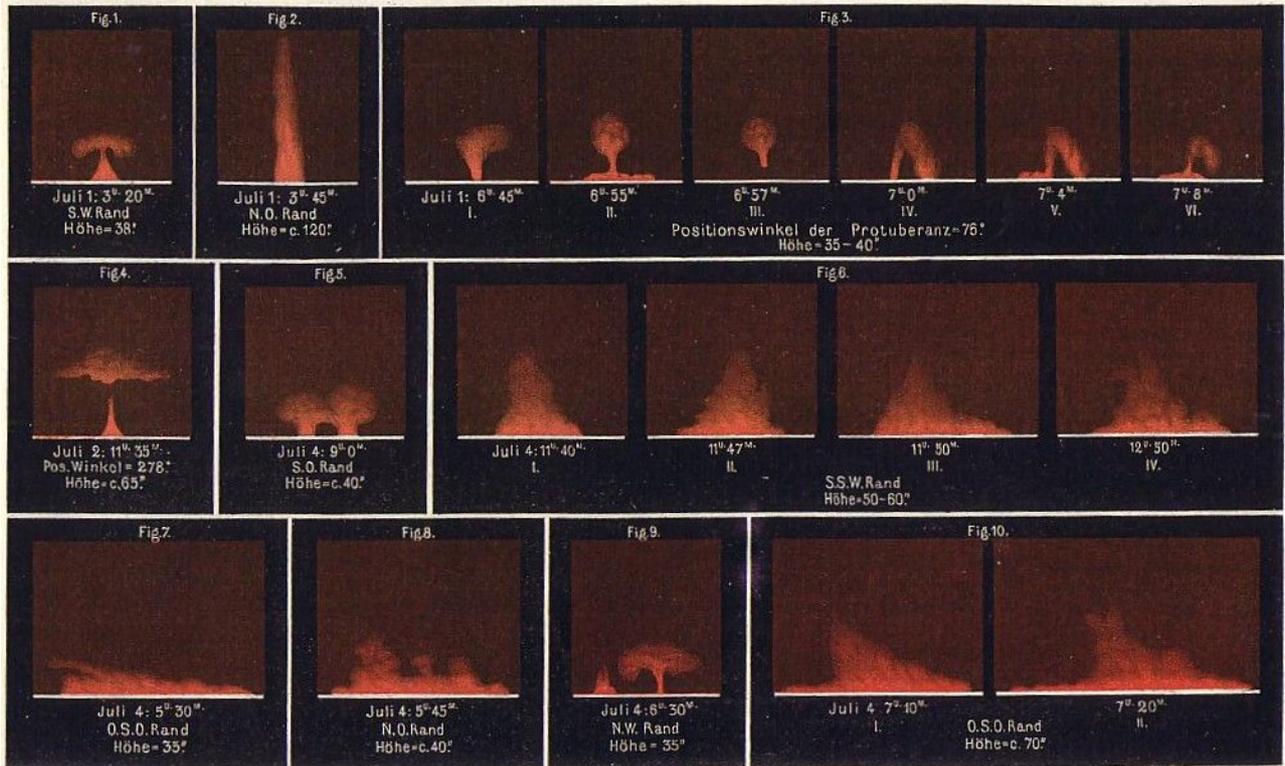
Da in der Entfernung der Sonne einer scheinbaren Ausdehnung von einer Bogensekunde die wahre Ausdehnung von 100 (genauer 98,04) geographischen Meilen entspricht, so ergibt sich allein für jenen inneren hellglänzenden Theil der Atmosphäre eine Höhe von 18000 bis 24000 und mehr geographischen Meilen über der eigentlichen Sonnenoberfläche, während bekanntlich der Erddurchmesser nur 1719 solche Meilen misst. Das Spectrum der Corona ist im Vergleiche zum Sonnenspectrum lichtschwach, aber gleich diesem continuirlich, wie Riha und Tennant bei der Sonnenfinsterniss von 1868, Pickering, Harkness, Young u. A. übereinstimmend bei der Americanischen von 1869, und namentlich Young<sup>52)</sup> bei derjenigen vom December 1870 beobachtet haben. Dunkle Linien hat man im Coronaspectrum bisher nicht wahrgenommen, wohl aber mehrere helle, von denen die stärkste mit einer Linie des Eisendampfes zusammenfällt und mehrere andere (worunter die Linie  $D_3$ ) unbekanntem Gasen angehören. Auch diese Spectraluntersuchungen beweisen, dass der untere Theil der Sonnenatmosphäre aus selbstleuchtenden, glühenden Dämpfen oder Gasen besteht. Young schreibt dieser glühenden Atmosphäre, welche er Leukosphäre nennt, eine Höhe von wenigstens 8 bis 10 Minuten oder 48000 bis 60000 geographischen Meilen zu, und spricht von gelegentlichen Ausläufern von der doppelten Höhe; nach ihm hat die Leukosphäre vielleicht gar keine obere Grenze, sondern erstreckt sich unbestimmt in den Weltraum. Auch Lockyer giebt die Höhe dieses glühenden Theiles der Sonnenatmosphäre zu 6 bis 10 Minuten an; doch ist sie nicht überall dieselbe, sondern wie Secchi aus den Photographieen der Corona schliesst, am grössten beim Aequator und in den Regionen der Sonnenflecke, am kleinsten an den Polen der Sonne.

Die eigentliche Sonnenscheibe kann von der Corona sehr genau unterschieden werden; ihr blendend intensives Licht pflegt dasjenige der Corona in wenigen Secunden zu verdecken, wenn ihr äusserster Rand hinter dem Monde hervortritt. In welchem Aggregatzustande der Sonnenkörper selbst sich befindet, kommt für unsere Erörterungen, die sich auf den wahrnehmbaren Theil der Sonnen-Atmosphäre beziehen, nicht in Betracht; unzweifelhaft aber befindet auch er sich in lebhaftester Gluthhitze, und rühren wesentlich von ihm die Licht- und Wärmestrahlen her, welche unsere Erde beleben. Einige weitere Aufschlüsse über die Beschaffenheit jener Atmosphäre so wie namentlich auch über die Bewegungen in derselben liefern uns die Beobachtungen und Messungen, welche an den Protuberanzen, Flecken und Fackeln der Sonne angestellt worden sind.

Die Protuberanzen wurden bis vor wenigen Jahren nur bei totalen Sonnenfinsternissen als kleine rosenrothe Flecke beobachtet, welche in Form von Flammen, Wolken oder Bergen über den Mondrand hervorragten; zuerst bemerkte sie Stannyan aus Bern am 12. Mai 1700. Am 18. August 1868 gelang es zuerst Janssen, diese interessanten Gebilde nach einer bereits von Lockyer angegebenen Methode bei vollem Sonnenschein wahrzunehmen, und seitdem haben ausser diesen beiden Forschern namentlich Zöllner, Respighi, Huggins, C. A. Young, Secchi u. A. sie sorgfältig beobachtet. Das Spectrum der Protuberanzen besteht aus wenigen charakteristischen Linien, welche trotz der blendenden Helligkeit der Sonnenscheibe im Spectroscope sichtbar werden, wenn das Sonnenspectrum durch genügend viele Prismen stark ausgedehnt und dadurch sehr lichtschwach gemacht wird. Aus der Lage jener Linien schlossen bereits Janssen und Lockyer, dass die Protuberanzen hauptsächlich aus glühendem Wasserstoffgase bestehen; jedoch enthalten ihre unteren Theile nicht selten auch glühende Metaldämpfe, namentlich solche von Eisen, Titan, Barium, Natrium und Magnesium.<sup>53)</sup> Lockyer entdeckte ausserdem, dass die Sonne von einer im Spectroscope sichtbaren Hülle glühenden Gases umgeben ist, von welcher die Protuberanzen locale Anhäufungen sind. Er gab dieser Hülle den Namen "Chromosphäre"; ihre mittlere Dicke beträgt gegenwärtig 1000 bis 1500 geographische Meilen, und der Wasserstoff tritt auch in ihr am Deutlichsten hervor.

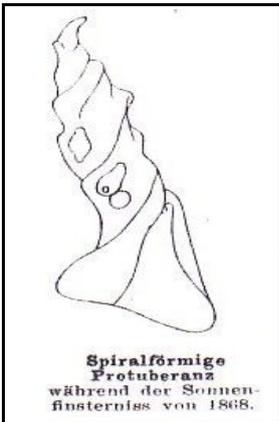
Die Protuberanzen ragen oft ungeheuer hoch über die Chromosphäre hinaus; so waren unter 4000 von Respighi<sup>54)</sup> skizzirten Protuberanzen mehr als 700 eine Minute oder drei bis vier Erddurchmesser hoch, und einige sogar sechs Minuten oder 36000 geographische Meilen.

Sonnen-Protuberanzen, beobachtet von Prof. F. Zöllner in Leipzig, 1. bis 4. Juli 1869.



Unsere Tafel giebt mit Professor Zöllners gütiger Erlaubniss eine Anzahl von Protuberanzen wieder, welche derselbe im Juli 1869 beobachtete, und deren Höhe 3500 bis 12000 geographische Meilen beträgt. Zöllner unterscheidet als charakteristische Gruppen die dampf- oder wolkenförmigen und die eruptiven Protuberanzen. Auch Respighi <sup>51)</sup> erklärt die meisten der von ihm beobachteten Protuberanzen für gasige Eruptionen, welche nicht selten in parabolischen Strahlen zur Sonnenoberfläche zurückfallen; sie zeigen die seltsamsten, an phantastische Pflanzenformen erinnernden Umrisse, und verzweigen sich häufig auch seitlich in erstaunlicher Weise. Secchi <sup>55)</sup> unterscheidet drei Hauptformen von Protuberanzen, die berg- und cumulusartigen Anhäufungen (amas), die flammenartigen Strahlen (jets), welche oft in Garben vereinigt auftreten, und die weniger leuchtenden aber dauerhafteren Federbüsche (panaches), welche oft frei schwebende Wolken erzeugen. Wunderbar ist die Schnelligkeit, mit welcher trotz der grossen Dimensionen ihre Formen sich ändern, und von welcher die Figuren 3, 6 und 10 der Tafel Zeugniss geben. Wie Respighi und Secchi wahrgenommen haben, entstehen die veränderlichsten und am schnellsten verschwindenden Protuberanzen in der Nähe von Sonnenflecken; ausserhalb der Fleckenzone bis zu etwa 70 Grad Breite hinauf bleiben sie dagegen gewöhnlich tagelang sichtbar, so dass beide Beobachter sogar befriedigende Versuche machen konnten, mit ihrer Hülfe die Umdrehungszeit der Sonne zu bestimmen. Innerhalb der ersten 20 Grade bei den Polen wurden von Respighi nur ausnahmsweise Protuberanzen beobachtet; die dortigen Eruptionen sind im Allgemeinen sehr klein. Auch in der Nähe des Aequators sind grosse Protuberanzen verhältnissmässig selten.

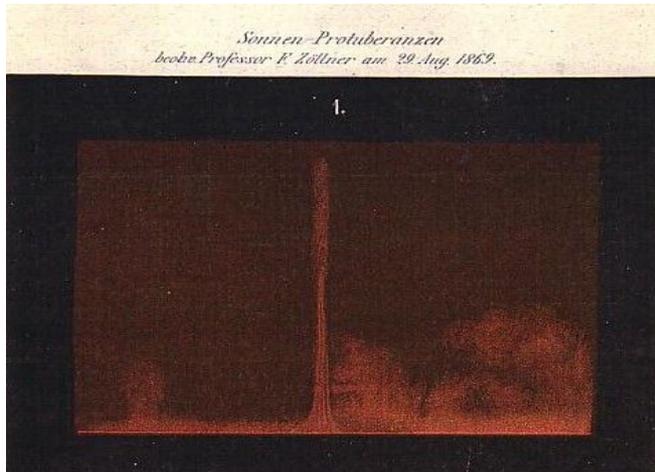
Nicht selten lassen die eruptiven Protuberanzen eine starke Drehbewegung deutlich erkennen; sie gleichen alsdann unseren Wirbelstürmen, übertreffen dieselben jedoch ausserordentlich an Grösse und Heftigkeit. Unter denjenigen, welche Tennant während der Sonnenfinsterniss von 1868 photographirt hat, war die höchste, bestehend abgebildete eine derartige, ungeheure Gas-Cyclone. Ihre Höhe betrug 202 Secunden oder 20000 geographische Meilen, d. h.  $11\frac{1}{2}$  Erddurchmesser; und nach der Tennant'schen Skizze zu schliessen, betrug ihre Breite in halber Höhe etwa 3400 geographische Meilen oder nahezu zwei Erddurchmesser. Sie befand sich in 30 Grad nördlicher Breite, und der Sinn, in welchem die glühend aufsteigenden Gasmassen sich um ihre Axe drehten, stimmt wie man sieht mit derjenigen der Orkane unser nördlichen Erdhälfte überein.



Spiralförmige Protuberanz während der Sonnenfinsterniss von 1868.

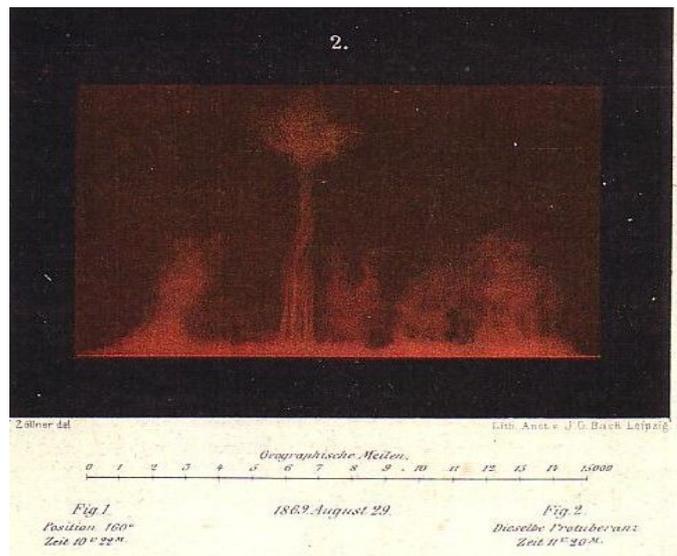
— Auch während der Finsterniss vom 7. August 1869 zeigte eine der grössten Protuberanzen, der 8200 geographische Meilen hohe sogenannte „Adler“, unten eine wirbelartige Drehung (welche auch auf den Photographieen deutlich zu erkennen sein soll), oben aber eine durch Centrifugalkraft erzeugte horizontale Wegschleuderung der Gasmassen.

Dieses wiederholte Auftreten wirbelnd aufsteigender Protuberanzen während der wenigen Minuten einer totalen Sonnenfinsterniss lässt schliessen, dass derartige chromosphärische Wirbelstürme eine sehr gewöhnliche Erscheinung sind.



Auch die prachtvolle Protuberanz, welche wir mit Professor Zöllners Erlaubniss auf der gegenüberstehenden Tafel wiedergeben, zeigt in ihrem oberen Theile deutlich eine Wirbelbewegung. Ihre Höhe beträgt 9000 bis 10000 geographische Meilen; Zöllner giebt die Geschwindigkeit, mit welcher die glühenden Gase in ihr emporstiegen, zu etwa 25 geographischen Meilen in der Secunde an. Auch Lockyer hat übrigens ähnliche Geschwindigkeiten in der Sonnenatmosphäre beobachtet; am 12. Mai 1869 beobachtete er mitten auf der

Sonnenscheibe eine Protuberanz, in welcher das glühende Wasserstoffgas mit nach oben hin wachsender Geschwindigkeit emporstieg, bis es schliesslich mindestens 32 geographische Meilen per Secunde zurücklegte <sup>51b</sup>). Das Spectroscop gestattet nämlich, die relative Bewegung glühender Gase in Bezug auf unser Auge zu bestimmen. Mit seiner Hülfe konnte daher Lockyer u. A. am 14. März 1869 am Sonnenrande eine heftige Cyclone beobachten, in welcher die horizontale Geschwindigkeits-Componente des Gases etwa  $8\frac{1}{2}$  geographische Meilen per Secunde betrug, also über 1200mal so viel wie die Windgeschwindigkeit in den heftigsten irdischen Orkanen.



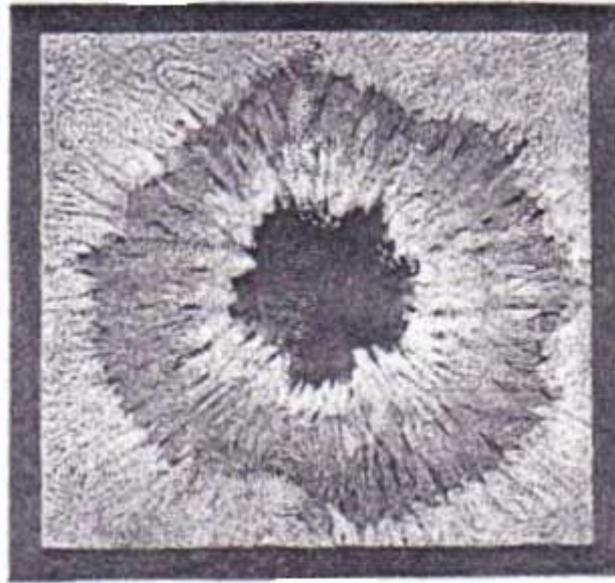
Dass auch flammenartige Protuberanzen und die bisweilen von ihnen sich ablösenden Wolken sehr starke Wirbelbewegungen annehmen können, beweist die folgende Schilderung Vogel's <sup>56)</sup>: „Die grösste und höchste Protuberanz wurde (von mir 1871) März 5 beobachtet; ihre Höhe betrug 160 Secunden, sie glich einem mächtigen Feuer .... Eine sich später von der Hauptmasse dieser Protuberanz abtrennende Wolke, die längere Zeit isolirt schwebte, hatte eine überaus starke rotatorische Bewegung. Bei enger Spaltstellung erschien die helle Protuberanzlinie stark gekrümmt und gleichsam um die dunkle F Linie des Sonnenspectrums geschlungen. Die Abweichungen betragen 0,23 Milliontel Millimeter Wellenlänge, was einer Geschwindigkeit von circa 20 Meilen in der Secunde entspricht.“ Eisen- und Magnesiumdämpfe wurden von dieser Protuberanz bis zu einer Höhe von 6 Secunden oder 600 geographischen Meilen mit emporgerissen.

Wir sind zu der Annahme berechtigt, dass diese Wirbelstürme der Sonnen-Atmosphäre auf ähnliche Weise entstehen wie die grossen Cyclonen unserer Oeane, oder besser gesagt (weil ja über ihnen keine wolkenartigen Niederschläge, sondern höchstens glühende Gaswolken sich bilden) wie unsere kleineren Wirbelwinde und Staubhosen. Bei solchen Protuberanzen, in denen das Wasserstoffgas mit nach oben hin wachsender Geschwindigkeit über die Chromosphäre emporsteigt, dürfte die Annahme eines vorhergehenden labilen Gleichgewichts-Zustandes der Sonnenatmosphäre geradezu nothwendig sein. Dass Alles, was wir bis jetzt über die enormen Geschwindigkeiten der eruptiven Protuberanzen wissen, sehr gut mit dieser Annahme vereinbar ist, beweisen unsere Rechnungen im Anhang No. 4. Von vorn herein ist klar, dass die Dimensionen und Geschwindigkeiten aufsteigender Luftströme in der Sonnen-Atmosphäre weit bedeutender sein müssen als in der irdischen; denn die sie begünstigenden Temperatur-Unterschiede sind ohne Zweifel in der Sonnen-Atmosphäre ausserordentlich viel grösser als im Luftkreise unserer kleinen Erde. Dass übrigens nicht alle Protuberanzen, namentlich nicht die lange andauernden Federbüsche (oder panaches) des P. Secchi, auf diese Art zu erklären sind, halten auch wir für wahrscheinlich. Bei der Besprechung der Sonnenflecke wird sich ergeben, weshalb die eruptiven Protuberanzen vorzugsweise in der Fleckenzone und in der unmittelbaren Nähe der Flecke, sehr selten dagegen in der Nähe der Sonnenpole auftreten.

Hätten uns nicht bereits die Sonnenfinsterniss-Beobachtungen gelehrt, dass die Gashülle der Sonne sich viele tausend Meilen weit über die Chromosphäre hinaus erstreckt, so müssten wir es schliessen aus der Wahrnehmung frei schwebender oder sich seitlich weithin verzweigender Protuberanzen. Mit Sicherheit dürfen wir ebenso schliessen, dass die von Kirchhoff nachgewiesenen Dämpfe von Eisen, Calcium, Magnesium u. s. w. sich hauptsächlich, wenn nicht ausschliesslich unterhalb der Chromo-sphäre befinden. Denn nur in den unteren Theilen der Protuberanzen sind solche hellglühende Metalldämpfe direkt wahrgenommen worden; zudem hängt die Vertheilung der Gase und Dämpfe in der Sonnenatmosphäre wesentlich von ihrem specifischen Gewichte ab, und die schwersten Dämpfe müssen sich mehr nach unten hin anhäufen. Secchi <sup>51d)</sup> hat während der Sonnenfinsterniss von 1860 zwischen der Chromosphäre und der eigentlichen Sonnen-scheibe eine nur wenige Secunden breite atmosphärische Schicht deutlich wahrgenommen, deren glänzendes Licht ihn momentan blendete, als er nach dem Verschwinden der Sonne das gefärbte Glas fortzog. Er hebt hervor, dass Airy 1842, Stephan und Tisserand 1868 und Cappelletti 1865 ähnliche Beobachtungen gemacht haben. Später entdeckte er mittelst des Spectroscopes am Rande der Sonnenscheibe eine sehr dünne Schicht, welche ein continuirliches Spectrum fast ohne Fraunhofer'sche Linien ergab, und die er für identisch hält mit jener innersten Region der Sonnenatmosphäre. In dieser, nur wenige hundert Meilen dicken Schicht glaubt er die von Kirchhoff nachgewiesenen Metalldämpfe annehmen zu müssen.

Diese Annahme hat durch eine Entdeckung Young's während der Sonnenfinsterniss vom 22. December 1870 eine glänzende Bestätigung erhalten. Young <sup>57)</sup> sah „während einer oder zwei Secunden nach Eintritt der Totalität das Gesichtsfeld seines Spectroscopes bedeckt mit leuchtenden Linien; und soweit es sich in dieser allzu kurzen Zeit beurtheilen liess, zeigte jede nicht atmosphärische Linie des Sonnenspectrums sich hellglänzend.“

Den Zeitungsnachrichten <sup>58)</sup> zufolge wurde neuerdings während der Sonnenfinsterniss vom 12. December 1871 dieselbe Beobachtung in Jaffa erneuert; „gerade vor dem Totalen geriethen die schwarzen Linien des Sonnenepectrums plötzlich in einen strahlenden Glanz, verblichen dann, und es blieben vier helle Linien.“ — Secchi's Annahme stimmt ausserdem gut mit den Thatsachen überein, welche bislang über die Sonnenflecke festgestellt sind.

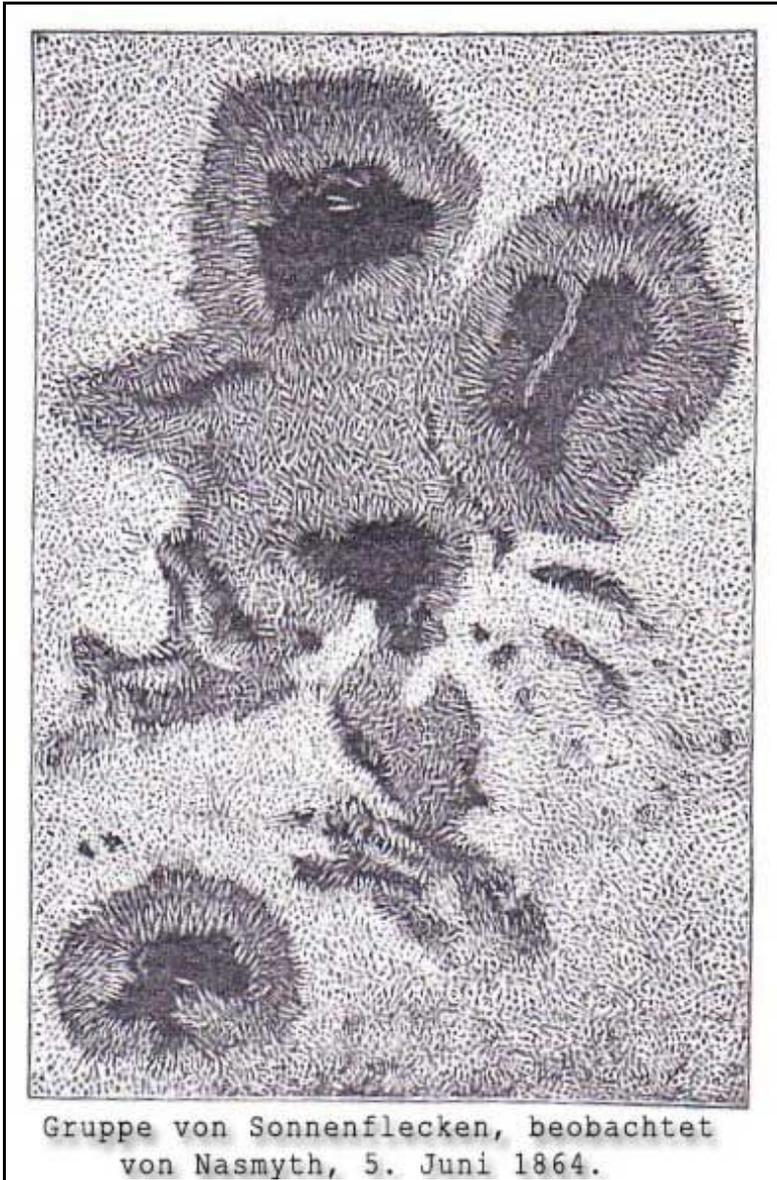


Sonnenfleck vom 3. December 1865, nach Tacchini.

Die Sonnenflecke zeigen bei sehr starker Vergrösserung unregelmässige, wechselnde Formen; sie erscheinen in starken Telescopen eckig und zerrissen, wie ausgeschnitten, manchmal durch lichte Streifen überbrückt und meist von einem minder dunklen Halbschatten oder Hof (Penumbra) umgeben, welcher oft die Form des Kernfleckes in allgemeinen Zügen wiederholt, Spörer's Beobachtungen zufolge besteht ein solcher Hof aus unzähligen kleinen und kleinsten Flecken oder Poren, die manchmal sehr rasch entstehen und wieder vergehen; ihre Zwischenräume lassen die helle Fläche des Sonnenkörpers, über welcher der Fleck sich befindet, durchblicken, Grosse Flecke pflegen tage-, ja wochenlang trotz des Wechsels ihrer Gestalt und Grösse anzudauern, und Schwabe sah 1840 eine Fleckengruppe sogar während acht Sonnen-Rotationen (oder 200 Tagen) wiederkehren. Wie Secchi angiebt, nehmen im Allgemeinen die Flecke schliesslich eine rundliche Form an, die sie aber nicht sehr lange behalten; bald verengen sie sich wieder bis zur Grösse von Poren und schliessen sich dann völlig, auch theilen sie sich wohl, ehe sie verschwinden. Während der Fleck jene rundliche Grenzform angenommen hat, pflegt der Hof wie in der umstehenden Figur Tacchini's ein strahliges Gefüge zu besitzen; er ist nach innen zu heller als aussen, und seine Lichtpunkte überfluthen häutig den Rand des Kernes, woselbst sie aber in wenigen Stunden oder sogar Minuten sich auflösen.

Im Allgemeinen treten die Sonnenflecke in Gruppen auf, welche nicht selten von einem gemeinsamen Hofe umschlossen sind. In der gegenüberstehend abgebildeten Gruppe erkennt man deutlich die schwarzen Kerne mit ihren verschieden geformten Halbschatten, deren „Blätter“ nach dem Kernschatten gerichtet sind, sodann auch eine Lichtbrücke in einem der Kerne, und das Ganze umgeben von der granulirten, leuchtenden Sonnenoberfläche. Manchmal theilt sich ein Sonnenfleck in zwei oder mehrere, indem sich vom Rande her Lichtbrücken bilden, deren Glanz demjenigen der umgebenden Sonnenfläche vergleichbar ist, und indem diese sich durch Auflösung oder Verschiebung der benachbarten Kerntheile erweitern.

Ogleich die Flecke auf der strahlenden Sonnenscheibe ähnlich wie das blendende Drummond'sche Kalklicht schwarz erscheinen, so leuchten sie dennoch beträchtlich.



Herschel schätzte ihre Helligkeit auf 0,007 des Sonnenlichtes; und hiernach würde den sehr genauen Messungen Zöllner's zufolge ein schwarzer Kernfleck noch immer 4000 mal so viel Licht ausstrahlen wie eine gleichgrosse Fläche des Vollmondes. Henry und Alexander haben nachgewiesen, dass die Flecke auch weniger Wärme ausstrahlen als die hellen Theile der Sonnenscheibe; aus 12 Messungen fanden sie am 4. Januar 1845, dass der Fleck nur  $\frac{4}{5}$  so viel Wärme ausstrahlte wie seine Umgebung. Secchi schliesst aus seinen eigenen Messungen, dass die Sonnenatmosphäre nicht weniger als  $\frac{88}{100}$  aller vom Sonnenkörper ausgesendeten Strahlen absorbiert, dass die Aequator-Gegenden der Sonne wenigstens um  $\frac{1}{16}$  mehr Wärme ausstrahlen als die Regionen jenseits der dreissigsten Breitengrade, und dass die Sonnenflecke nicht bloss weniger Licht, sondern ebenso auch weniger Wärme als die übrigen Regionen ausstrahlen.

Ausser den mehr oder minder dunklen Sonnenflecken und meist in deren Nähe zeigt die Sonnenscheibe auch hellere Stellen, die Sonnenfackeln. Oft umgeben sie kranzartig mit strahlenförmigen Verzweigungen den Hof eines Fleckes, wie in der unten folgenden Figur

Secchi's, welche einen grossen runden Fleck in der Nähe des Sonnenrandes darstellt. Als zwei von diesen Verzweigungen sich am Sonnenrande selbst befanden, sah Secchi deutlich daselbst eine Hervorragung von etwa einer Secunde; er zweifelt deshalb nicht, dass diese Fackeln wirkliche Erhöhungen sind. Der Zusammenhang zwischen den Flecken und Fackeln ist noch nicht völlig aufgeklärt; oft folgt den kranzartigen Fackeln nach einigen Tagen eine Fleckengruppe. Secchi sagt, die Bildung der Sonnenflecke werde immer einige Tage im Voraus angezeigt: „Man bemerkt in der Lichtsphäre eine grosse Unruhe, die sich bald durch Fackeln, bald durch Poren kundgibt, sowie durch Abnahme der sie trennenden Lichtschicht; diese Poren verschieben sich anfangs rasch, dann scheint eine derselben das Uebergewicht zu erlangen, und sie verwandelt sich in eine weite Oeffnung“; hernach entwickelt sich allmählig der Halbschatten. In einer ganz kürzlich (September 1871) erschienenen Abhandlung <sup>55)</sup> erklärt Secchi ferner: „Die Gegenwart der strahlen- und garbenförmigen Protuberanzen ist das beste Zeichen von der bevorstehenden Erscheinung eines Fleckes ... Die Fackeln sind stetige Begleiter der strahlenförmigen Protuberanzen; aber die federbuschförmigen, zumal die kleinen, sind recht oft von ihnen unabhängig.“



Respighi beobachtete umgekehrt, dass die Fackeln gewöhnlich von bedeutenden Protuberanzen begleitet sind; er erklärt sie für „Modifikationen der Lichtsphäre in der Nachbarschaft mächtiger Eruptionen.“ Gerade in der Umgebung von Flecken beobachtete er manchmal enorme Protuberanzen, die rascher sich ausdehnten und verschwanden als anderswo; er sagt: „An den Rändern der Flecke erheben sich gewöhnlich Gas-Strahlen von ausserordentlicher Stärke und Heftigkeit und von wohlbestimmten Formen“, im Kerne dagegen treten entweder gar keine oder nur unbedeutende, kurze Eruptionen auf. Respighi vermuthet, dass die bisweilen gigantischen Protuberanzen in der Nachbarschaft der Flecke den raschen Wechsel der letzteren hinsichtlich ihrer Form und Lage verursachen. Andererseits fand Secchi 55), dass die Protuberanzen auch hinsichtlich ihrer Zahl und Grösse mit den Sonnenflecken in Beziehung stehen: „gegenwärtig gehen wir einem Minimum der Flecke entgegen, und auch die Protuberanzen sind wenig zahlreich und wenig ausgedehnt.“

Wohl die meisten Astronomen halten gegenwärtig mit Galilei, Kirchhoff und Spörer die Sonnenflecke für wolkenartige Gebilde. Wirklich dürfte sich nur durch diese Annahme das Uebereinandergreifen zweier Sonnenflecke erklären lassen, welches 1816 von Raschig, 1819 von Hallaschka, 1864 von Weiss und 1869 von Haag beobachtet wurde. Die unzweifelhaft bewiesene und allgemein anerkannte Thatsache, dass die Kerne tiefer liegen als ihre Halbschatten, steht mit dieser Annahme nicht im Widerspruch; vielmehr spricht gerade diese Thatsache, wonach also die kleineren, jenen Hof bildenden Flecke weiter als der Kern vom Sonnenzentrum entfernt sind, gegen jede andere Hypothese über die Beschaffenheit der Flecke. Secchi entdeckte mit Hülfe des Spectroscopes, dass „die Tiefe der Flecke mit dichten Metalldämpfen erfüllt“ ist; und zwar enthalten die höchsten Flecke Natriumdämpfe, die mittleren auch Calciumdämpfe und die sehr tiefen eine Menge von Eisendämpfen. Zur Erklärung dieser Beobachtungen macht er mit Recht geltend, dass das Atomgewicht von Natrium und Calcium kleiner ist als dasjenige von Eisen. Auch Lockyer wurde durch seine Beobachtungen zu der Ansicht geführt, dass die Flecke im Allgemeinen Vertiefungen seien, ausgefüllt mit verdichteten Massen von Eisen, Calcium, Barium, Magnesium, Natrium, Wasserstoff, und überragt von dem leichteren Wasserstoffgase. Nach Young treten auch die Titanlinien, welche im gewöhnlichen Sonnenspectrum nicht leicht bemerkbar sind sehr stark im Spectrum der Flecke hervor.

Gegen die Auffassung der Sonnenflecke als wolkenartiger Gebilde hat jedoch in neuester Zeit Zöllner <sup>59)</sup> einen gewichtigen Einwand erhoben, und zwar auf Grund der ungleichen Rotationsdauer der Flecke. Bereits Scheiner machte darauf aufmerksam, dass die dem Sonnenäquator näheren Flecke eine kürzere Umlaufszeit liefern, als die entfernteren; und sehr deutlich geht Dieses aus der folgenden, von Carrington herrührenden Tabelle hervor:

Breite. Grade.	Nördliche Hemisphäre.			Südliche Hemisphäre.		
	Täglicher Rotationswinkel.	Tägliche Bewegung in Breite.	Zahl der beobachteten Flecke.	Täglicher Rotationswinkel.	Tägliche Bewegung in Breite.	Zahl der beobachteten Flecke.
0 <sup>0</sup>	867'	+ 3'.3	5	—	—	—
5 <sup>0</sup>	863'	— 2'.4	85	865'	— 1'.6	31
10 <sup>0</sup>	859'	— 1'.0	142	856'	+ 1'.0	218
15 <sup>0</sup>	851'	+ 0'.2	127	845'	— 0'.4	98
20 <sup>0</sup>	840'	+ 1'.0	151	839'	+ 0'.8	200
25 <sup>0</sup>	831'	+ 3'.0	116	827'	+ 3'.0	75
30 <sup>0</sup>	824'	+ 3'.5	59	814'	+ 1'.2	67
35 <sup>0</sup>	806'	—	18	805'	— 5'.3	19
40 <sup>0</sup>	—	—	—	—	—	—
45 <sup>0</sup>	—	—	—	759'	— 8'	2
50 <sup>0</sup>	787'	+ 11'	1	—	—	—

Aus dieser interessanten Tabelle ist ersichtlich, dass die Sonnenflecke am Häufigsten in den Gegenden des 10. und 20. Grades nördlich sowohl wie südlich vom Sonnenäquator beobachtet werden, dagegen viel seltener in grösserer Nähe des Aequators; niemals aber sind sie nahe bei den Polen in solcher Grösse und Dauer aufgetreten, dass sie zur Bestimmung der Umlaufzeit dienen konnten. Ferner ersieht man, dass die Flecke der höheren Breiten im Allgemeinen dem nächstgelegenen Pole sich nähern. Endlich aber beweist die Tabelle, dass wirklich die vom Aequator entfernten Flecke im Allgemeinen viel langsamer rotiren, als die näher gelegenen; während z. B. die am Aequator befindlichen in  $360.^{60}/_{867}$  oder nicht ganz 25 Tagen die Sonnenaxe umkreisen, brauchen hierzu die unter dem 35. Breitengrade liegenden  $360.^{60}/_{806}$  oder beinahe 27 Tage. Dieses Erfahrungsgesetz erleidet übrigens wesentliche Ausnahmen; Spörer hat nicht allein zu verschiedenen Zeiten, sondern auch gleichzeitig Sonnenflecke beobachtet, von denen der vom Aequator entferntere schneller rotirte als der andere.

Zöllner macht nun geltend, dass jenen Beobachtungen Carrington's zufolge die täglichen Rotationswinkel von zwei Punkten der Sonnenoberfläche, deren heliographische Breiten um  $1^\circ$  verschieden sind, sich durchschnittlich um  $1^\circ.6$  von einander unterscheiden, und dass demnach ein wolkenartiger, runder Fleck von  $1^\circ$  Durchmesser sich während einer halben Rotationsdauer der Sonne in einen Streifen von  $20^\circ$  Länge verwandeln müsse; ein Fleck von  $3^\circ$  Durchmesser (und es giebt deren noch grössere) würde sogar nach einmaliger Rotation einen Streifen von  $120^\circ$  Länge bilden sich also fast über den ganzen uns zugewendeten Theil des betreuenden Parallelkreises ausdehnen müssen. [Aus Carrington's Tabelle ist ersichtlich, dass Zöllner hier Minuten mit Graden verwechselt hat; denn die täglichen Rotationswinkel von zwei Punkten der Sonnenoberfläche, deren heliographische Breiten um  $1^\circ$  verschieden sind, unterscheiden sich durchschnittlich nur um  $1^\circ.6$  (nicht um  $1^\circ.6$ ) von einander. Ein Fleck von  $3^\circ$  Durchmesser würde demnach erst nach 60maliger Rotation einen Streifen von  $120^\circ$  Länge bilden, Zöllner's Einwand bleibt gleichwohl bestehen, wenn er auch sehr bedeutend an Gewicht verliert.] Da nun derartige Erscheinungen, bis auf die nun leicht erklärliche Tendenz der Gruppen, sich den Breitenkreisen parallel zu stellen, nicht beobachtet werden, so kann Zöllner gegenüber der bisherigen Galilei-Kirchhoff'schen Auffassung der Flecke mit einigem Rechte sagen: „Ich betrachte die Abwesenheit dieser Streifenbildung auf der Sonne als einen der schlagendsten Beweise gegen die wolkenartige Natur der Sonnenflecke.“ Er selbst hält die Flecke für ungeheure Schollen von schlackenartiger Beschaffenheit, die auf der, wie er annimmt, feurig-flüssigen Sonnenoberfläche treiben.

Wir selbst wollen noch einen zweiten, bisher kaum beachteten Einwand geltend machen, der aber noch stärker gegen die schlacken- als gegen die wolkenartige Beschaffenheit der Flecke gerichtet ist. Die von der Sonne ausgestrahlte Wärmemenge ist, Pouillet's Messungen zufolge, so ungeheuer gross, dass sie hinreichen würde, um an der Sonnenoberfläche in jeder Minute eine Eisschicht von 10 bis 11 Meter Dicke zu schmelzen. Wenn nun von den Flecken auch nur der fünfte Theil dieser Wärmemenge absorbiert wird, wie ist es alsdann denkbar, dass dieselben wochen-, ja monatelang sich als Schlacken oder Wolken erhalten, ohne zu schmelzen oder sich zu verflüchtigen? Das in einem Monate absorbierte Fünftel wäre ja im Stande, eine Eisschicht von etwa 90000 Meter oder 12 geogr. Meilen Dicke zu schmelzen! Zöllner nimmt an, dass die Flecke entstehen, wenn an der Sonnenoberfläche durch ungewöhnlich starke Ausstrahlung die Temperatur sich bedeutend erniedrigt; um so mehr dürfte gegen seine Auffassung der Sonnenflecke als „schlackenartiger Abkühlungsprodukte“ die zugleich mit ihnen eintretende Abnahme der Wärmestrahlung in's Gewicht fallen. Denn man vergesse nicht, dass die Flecke innerhalb weniger Tage sich bilden und dann oft viele Wochen lang Bestand haben.

Die sorgfältigen Beobachtungen Spörer's u. A. mit stark vergrössernden Telescopen haben nun aber gelehrt nicht bloss, dass die Flecke fortwährend ihre Gestalt und Grösse wechseln, sondern auch dass diese Formänderungen und Bewegungen vorwiegend durch partielle Neubildungen und Auflösungen an den Rändern hervorgebracht werden. Die Neubildungen müssen von den untersten Schichten der Sonnenatmosphäre herrühren, weil sie mit dichten Metalldämpfen erfüllt sind. Wir werden deshalb nicht fehl gehen, wenn wir mit Rücksicht auf analoge Vorgänge in unserer irdischen Atmosphäre und im Anschlusse an Galilei's Auffassung behaupten:

Die Sonnenflecke sind wolkenartige Verdichtungsproducte in den tieferen Regionen der Sonnenatmosphäre, welche sich ähnlich wie die grossen Wolkenschichten der irdischen Cyclonen von unten her erneuern.

Die lange Dauer grosser Sonnenflecke wird hiedurch erklärt, denn auch die irdischen Cyclonenwolken dauern manchmal wochenlang; zugleich wird der von Zöllner erhobene Einwand nebst unserem eigenen beseitigt. Die Höhenunterschiede der Flecke, ihre ungleiche Rotationsdauer als Folge ihrer Eigenbewegung, ihre rundliche Grenzform, die raschen und ausserordentlich grossen Aenderungen ihrer Gestalt und Grösse, ihr Entstehen und Vergehen werden begreiflich; auch ihre bemerkenswerthen Beziehungen zu den Protuberanzen und ihre heliographische Verbreitung werden, wie wir sehen werden, leicht verständlich. Versuchen wir, soweit unsere Kenntnisse von der Sonne und die ungeheuren Verschiedenheiten zwischen der solaren und der irdischen Atmosphäre es gestatten, uns eine bestimmte Vorstellung von den betreffenden Vorgängen zu machen.

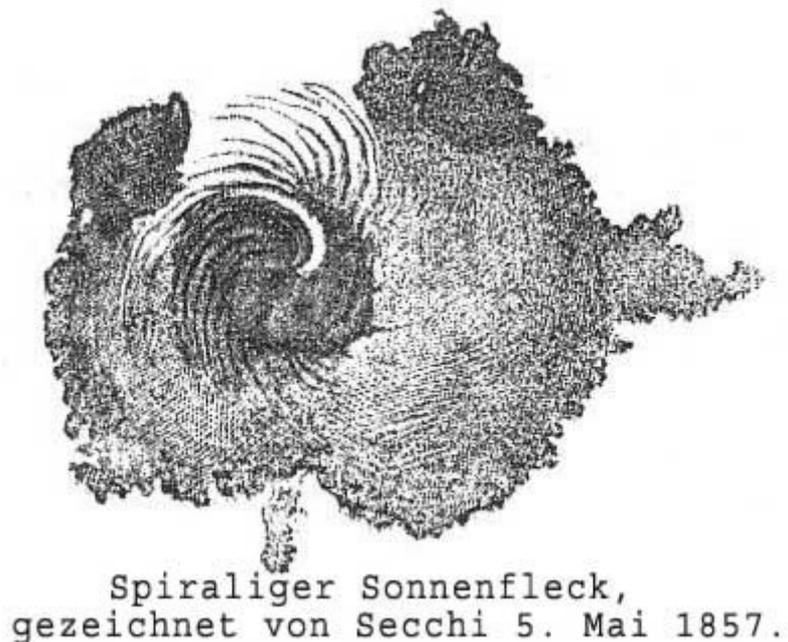
An einer besonders heissen Stelle der Sonnenoberfläche, die gleich den Fackeln heller erscheinen wird als ihre Umgebung, mögen also die dort befindlichen untersten Schichten von Metalldämpfen und Gasen durch Ueberhitzung zum Emporsteigen gezwungen werden. Sie dehnen sich dabei aus und erkalten, nachdem sie vielleicht 100 oder 200 geographische Meilen gestiegen sind, so stark, dass die Metalldämpfe sich theilweise verdichten; ihre frei werdende latente Wärme vergrössert zugleich den Auftrieb der übrigen Dampf- und Gasmassen. Eine Wolke bildet sich als dunkler Fleck über der hellen Stelle, rasch wachsend von dem nachströmenden Dampfe, zugleich aber glühenden Regen von Eisen, Calcium, Natrium, Titan und vielleicht auch von chemischen Verbindungen dieser Metalle zur Sonnenoberfläche zurücksendend. Sie absorbirt einen beträchtlichen Theil der von unten sie treffenden Licht- und Wärmestrahlen und bewirkt über sich eine Abkühlung der Sonnen-Atmosphäre; die dort befindlichen Gase werden für uns theilweise unsichtbar, weil sie nicht mehr hinlänglich glühen, oder wie Respighi durch Beobachtung gefunden hat, „über den Kernschatten ist die Chromosphäre im Allgemeinen sehr niedrig und fehlt bisweilen gänzlich.“

Auch von oben müssen jetzt die erkalteten Dämpfe und Gase der Wolke zustürzen; die von unten aufsteigenden aber schiessen unter den Rändern des Fleckes hervor, und setzen den Rest ihrer Verdichtungs-Producte in Form kleiner und kleinster Wolken in grösserer Höhe ab, so den Hof des Kernfleckes bildend. Den Messungen Wilson's, Tacchini's und Secchi's zufolge liegt der äussere Rand des Hofes nicht über 800 geographische Meilen oberhalb des Kernes; von dieser Höhe an enthalten deshalb die aufsteigenden Gasmassen nur noch Spuren von Metalldämpfen, und sie erscheinen rings um den Fleck als ungeheure eruptive Gas-Protuberanzen, deren untere Theile häufig im Spectroscop die Linien glühender Dämpfe von Natrium, Magnesium, Eisen u. s. w. zeigen.

Seltener kommt es vor, dass die Wolke sich durch eine Lichtbrücke spaltet und so einen Theil des aufsteigenden oder auch des von oben herabsinkenden Stromes durchlässt. Nach Secchi's Beobachtung stimmt das Spectrum einer Lichtbrücke mit dem gewöhnlichen Sonnenspectrum überein bis auf die drei Wasserstofflinien, welche nicht dunkel, sondern hellleuchtend erscheinen und zugleich in das Spectrum des Kernes übergreifen. Eine andere directe Bestätigung dieser unserer Auffassung der Lichtbrücken ist in dem folgenden Berichte Vogel's <sup>56)</sup> enthalten: „Am 6. Mai (1871) untersuchten wir, Dr. Lohse und ich, spectroscopisch einen grossen Sonnenfleck, dessen Kern durch zwei helle Lichtbrücken gespalten war. Als der Spalt des Spectroscopes auf diese Lichtbrücken gestellt wurde, zeigten sich starke Verschiebungen der Spectrallinien, und zwar so, dass die Theile längs der Kante des grösseren Flecks von der Sonnenoberfläche emporstiegen, an der Kante des kleineren Flecks dagegen sich auf dieselbe herabbewegten. In der Mitte der Lichtbrücke coincidirten die Linien mit den Linien des Spectrums der umliegenden Theile der Sonnenoberfläche. Auffällig war es, dass sämmtliche Linien im Spectrum, soweit es untersucht werden konnte, an dieser Verschiebung theilnahmen; es musste demnach eine im Bogen vor sich gehende Bewegung der feuerflüssigen Masse, sozusagen ein Hervorquellen derselben stattfinden, und zwar mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 5 Meilen in der Secunde, da

die Verschiebung bei der Linie  $F$  zu 0,05 Milliontel Millimeter Wellenlänge geschätzt wurde." Dass in dem von uns unterstrichenen Satze unter „feuerflüssiger Masse" nicht geschmolzene, sondern dampfförmige Metalle und überhaupt glühende Gase zu verstehen sind, wird jedem Kundigen einleuchten; denn aus einer Verschiebung dunkler Fraunhofer'scher Linien können wir nicht auf die Geschwindigkeit der Lichtquelle, sondern nur auf diejenige des absorbirenden Mediums schliessen.

Mit unserer Auffassung der Sonnenflecke stimmt die an einzelnen derselben oft beobachtete rotirende Bewegung sehr gut überein, die schon im vorigen Jahrhundert von Silberschlag bemerkt wurde. Denn die Rotation der Sonne, wiewohl 25mal langsamer als diejenige der Erde, muss in den Stürmen der Sonnenatmosphäre, soweit dieselben von starken aufsteigenden Strömungen herrühren, ebenfalls eine, wenn auch verhältnissmässig schwächere Wirbelbewegung hervorrufen. Wirklich sind in den letzten Jahren so häufig Drehstürme in der Sonnen-Atmosphäre beobachtet worden, dass das Wort „Cyclone" sich auch bei den Sonnenbeobachtern bereits eingebürgert hat. Manche Flecke deuten schon durch ihre spiralförmige Structur auf solche Wirbelbewegungen entschieden hin, wie z. B. der nebenstehend abgebildete, am spiralförmigen Sonnenfleck, von Secchi 5. Mai 1857.



Beobachtungen über den Sinn, in welchem diese Drehungen stattfinden, sind uns nicht bekannt; sie müssten, wie schon Carrington angegeben hat, auf der Nordhälfte der Sonne nach links und auf der Südhälfte nach rechts herum gehen. Doch könnte bei kleinen Flecken, zumal da die Sonne viel langsamer rotirt als die Erde, etwas Aehnliches eintreten, wie bei unseren Wirbelwinden und Wettersäulen, die bald nach links, bald nach rechts sich drehen. — Als Beispiel einer Sonnen-Cyclone möge noch Folgendes dienen. <sup>51a,b)</sup>

Am 21. April 1869 beobachtete Lockyer einen Fleck in der Nähe des Sonnenrandes. Um 7 ½ Uhr zeigte sich im Gesichtsfelde eine Protuberanz, welche in voller Thätigkeit begriffen war. Die Linien des Wasserstoffs waren äusserst glänzend, und da das Spectrum des Flecks zugleich sichtbar war, so konnte man sehen, dass die Protuberanz dem Flecke vorauseilte. Die heftige Eruption hatte Metalldämpfe aus der Photosphäre in einer Menge mit sich gerissen, wie es vorher noch nicht beobachtet worden war. Hoch oben in der Wasserstoffflamme schwebte eine Wolke von Magnesiumdampf. „Es erschien, als ob die Protuberanzen sozusagen vom anliegenden Rande des Fleckes gespeist würden", sagt Lockyer selbst. Um 8 ½ Uhr war der Ausbruch vorüber; aber eine Stunde später begann eine neue Eruption, und eine neue Protuberanz bewegte sich mit der furchtbarsten Schnelligkeit weiter.

Während Dieses vor sich ging, erschienen plötzlich auf der nach uns zu liegenden Seite des Fleckes die Wasserstofflinien als helle Linien, und breiteten sich so beträchtlich aus, dass man annehmen musste, ein Wirbelsturm finde Statt. — An demselben Tage um 10 Uhr 55 Min. wurde zu Kew die Sonne photographirt; das Bild zeigte deutlich, dass in der Nähe des von Lockyer beobachteten Fleckes heftige Störungen in der Photosphäre stattgefunden hatten. Auf einer zweiten Photographie um 4 Uhr 1 Min. 9 erschien der Sonnenrand wie weggerissen, und zwar gerade an der Stelle, wo das Spectroscop Kunde eines Wirbelsturmes gegeben hatte.

Man darf solchen Beobachtungen gegenüber nicht geltend machen, dass bei den meisten Flecken keine Drehbewegung wahrgenommen ist. Auch die einförmige Wolkenschicht, welche unsere irdischen Cyclonen überdeckt, nimmt ja scheinbar nicht Theil an der Bewegung des Orkanes; und doch entsteht und erneuert sie sich fortwährend durch den Wirbelsturm. Auch darf nicht vergessen werden, dass die Flecke immerhin mehrere hundert geographische Meilen über der eigentlichen Sonnenoberfläche liegen mögen, und dass beim Aufsteigen zu dieser gewaltigen Höhe die Dampf- und Gasmassen andere, ihre Drehbewegung verdeckende Bewegungen annehmen können. Und dann wiederholen wir, dass die Wirbelbewegung der Sonnen-Cyclonen verhältnissmässig schwächer sein muss als diejenige der irdischen, weil die Sonne viel langsamer um ihre Axe rotirt als die Erde. Damit mag im Zusammenhange stehen, dass ein Sonnenfleck im Allgemeinen einen viel kleineren Bruchtheil der Sonnenoberfläche überdeckt als ein irdischer Wirbelsturm von der Erdoberfläche. Eine irdische Cyclone von 600 Seemeilen oder 150 geographischen Meilen Durchmesser (wir kennen ja sogar solche von 1000 und 1500 Seemeilen Breite) überspannt zehn Meridiangrade; auf der Sonnenoberfläche messen zehn Meridiangrade nicht weniger als 16150 geographische Meilen oder nahezu  $9\frac{1}{2}$  Erddurchmesser, und Flecke von dieser Ausdehnung sind äusserst selten. Kommen doch selbst Flecke von 3 bis  $3\frac{1}{2}$  Erddurchmesser Breite, die bereits mit unbewaffnetem Auge wahrnehmbar sind, nicht so gar häufig vor, wie schon der Umstand beweist, dass die Sonnenflecke überhaupt erst nach Erfindung des Fernrohres und mit Hilfe desselben entdeckt wurden. Unsere Auffassung der Sonnenflecke giebt uns auch über ihre sehr ungleiche heliographische Verbreitung Rechenschaft. Secchi's Messungen haben, wie schon erwähnt wurde, ergeben, dass die Sonne an ihrem Aequator bedeutend wärmer ist als an den Polen; denn in 30 Grad Breite strahlt jeder Theil ihrer Oberfläche etwa  $\frac{1}{16}$  weniger Wärme aus als ein gleichgrosser Theil derselben am Aequator. Der Grund dieser Thatsache ist nach unserer Ansicht zunächst in der starken Absorption der Sonnenatmosphäre zu suchen, welche nach Secchi nur 12 Procent der vom Sonnenkörper ausgesendeten Strahlen durchlässt; denn wegen der Rotation der Sonne ist diese Atmosphäre am Aequator höher als an den Polen, und sie muss deshalb dort die Sonne mehr vor rascher Ausstrahlung und Abkühlung schützen als hier. Dazu kommt die Einwirkung der atmosphärischen Strömungen, welche, jener ungleichen Wärmevertheilung zufolge, in ähnlicher Weise auf der Sonne wie auf der Erde stattfinden müssen. In der heissen Zone steigt die Luft empor, strömt oben den Polen zu [Secchi<sup>55)</sup> hat einen directen Beweis für diese oberen Strömungen gefunden. Seinen Beobachtungen zufolge sind die Gipfel der Protuberanzen meistens dem nächstliegenden Pole zugeneigt.] und sinkt in deren Nähe, durch Strahlung abgekühlt, wieder herab, um wiederum dem Aequator zuzuströmen und dort auf's Neue erwärmt aufzusteigen. Die polaren Gegenden der Sonnenoberfläche sind deshalb, wie schon Zöllner<sup>60)</sup> hervorhebt, von kälterer Luft bespült als die äquatorialen. Dieses ist aber ein Grund, weshalb in der Nähe der Sonnenpole ebenso wenig Protuberanzen und Flecke vorkommen, wie Wettersäulen und Wirbelstürme in den kalten Zonen unserer Erde; denn starke aufsteigende Strömungen können daselbst nicht eintreten. Wären dagegen die Flecke schlackenartige Abkühlungsprodukte, die wie Schollen auf einer feurigflüssigen Oberfläche schwimmen, so müssten sie nach unserer Meinung gerade an den kälteren Sonnenpolen am Häufigsten sich zeigen. — Auch das seltene Auftreten der Flecke in grosser Nähe des Sonnenäquators findet in ähnlicher Weise seine Erklärung wie die gleiche Erscheinung bei irdischen Wirbelstürmen.

Ueber die wahren Bahnen der Flecke wissen wir leider sehr wenig, weil bis jetzt die Rotationszeit der Sonne nicht unabhängig von ihnen mit Sicherheit ermittelt werden konnte. Sollte es sich bestätigen, was Vogel<sup>56)</sup> durch spectroscopische Messungen gefunden hat, dass nämlich die

Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche etwas grösser ist, als die Beobachtungen der Sonnenflecke sie ergeben haben, so würde daraus folgen, dass die Flecke ähnlich wie die irdischen Wirbelstürme der heissen Zone von Osten nach Westen fortschreiten, also entgegengesetzt der Drehbewegung der Sonne. In höheren Breiten bewegen sich die Flecke in stärkerer Masse der Sonnenumdrehung entgegen als in den niederen; auch nähern sie sich im Allgemeinen gleich unseren Wirbelstürmen dem nächstgelegenen Pole. Eine allgemein gültige Regel lässt sich jedoch für ihre Bahnen ebenso wenig aufstellen wie für diejenigen der irdischen Cyclonen.

Wir wissen, dass unsere Ozeane häufig von gleichzeitigen Orkanen aufgeregt werden, und auch bei den Wasserhosen und Tornados haben wir die Bemerkung gemacht, dass sehr oft mehrere derselben nahe bei einander beobachtet werden. Beispielsweise finden wir auf unserer Karte IV die Wirbelstürme der Martha und des Phönix verzeichnet, deren Axen am 25. Februar 1860 nur 960 Seemeilen von einander entfernt waren, so dass vielleicht die Wolkenschicht des einen mit derjenigen des anderen zusammenhing. Aehnliche Erscheinungen beobachten wir bei den Sonnenflecken, welche ja häufig in Gruppen vereint auftreten, von einem und demselben Hofe umschlossen. Dass dabei die einzelnen Flecke sich verschieden bewegen, hat Spörer constatirt; doch ist wahrscheinlich und natürlich, dass sie sich in ihrer Bewegung gegenseitig beeinflussen. Sehr merkwürdig ist die nicht selten beobachtete Theilung eines Fleckes in zwei oder mehrere andere; doch finden wir auch hiefür ein Analogon bei irdischen Cyclonen. Piddington hat einen wüthenden Wirbelsturm, welcher im Juni 1842 über Calcutta hinwegging, einige hundert Seemeilen landeinwärts verfolgt; derselbe theilte sich in zwei vollkommene Cyclonen von kleinerem Durchmesser, deren Bahnen er in seiner Karte der Bai von Bengalen verzeichnet hat.

Die Analogie der Sonnenflecke mit den Wolken irdischer Cyclonen können wir auf diese Weise bis in's Einzelne verfolgen; doch glauben wir, dass in einem Punkte eine wesentliche Verschiedenheit bestehen wird. Die Wolkenschicht unserer Wirbelstürme löst sich wahrscheinlich langsam, vielleicht erst im Verlaufe von Wochen, vollständig auf, und wird zumal in den höheren Breiten vermuthlich sehr weit über die Erdoberfläche vertheilt und fortgetragen; die Sonnenflecke dagegen müssen wegen der ungeheuren Wärmemenge, die sie fortwährend absorbiren, sehr rasch, vielleicht schon in wenigen Stunden zergehen, sobald der sie erzeugende aufsteigende Strom vollständig aufhört. Zum Belege hiefür erinnern wir an die ausserordentlich grossen Dimensionen der Formänderungen, welche grosse Flecke nicht selten in einer oder einer halben Stunde erleiden. Diese rasche Auflösung von Fleckentheilen, welche nicht beständig von unten erneuert werden, ist gewiss der Grund, wenn wir die, freilich nur schwache Tendenz zur Streifenbildung bei den Sonnenflecken nicht verwirklicht sehen. Wenn die auf einzelnen Planeten, namentlich auf dem Jupiter beobachteten Flecke ebenfalls Wolken sind, was freilich noch nicht ausgemacht ist, so dürfte manches Abweichende in ihrem Verhalten gegenüber den Sonnenflecken durch jenen wesentlichen, in der hohen Temperatur der Sonne begründeten Unterschied erklärlich werden.

Wir halten es für unnöthig, noch auf die elfjährige Periode, welche Schwabe und R. Wolf hinsichtlich der Häufigkeit der Sonnenflecke constatirt haben, ausführlich einzugehen. Denn die scharfsinnigen Betrachtungen, durch welche Zöllner <sup>60)</sup> diese Periodicität erklärt, finden ebenso gut auf wolken- wie auf schlackenförmige Flecke Anwendung.

Die erste Anregung zu dieser unserer Auffassung der Sonnenflecke, welche, wie wir dargelegt zu haben glauben, alle über die Flecke bekannten Thatfachen im befriedigendsten Zusammenhange erscheinen lässt, verdanken wir einer Aeusserung des Sir J. F. W. Herschel. In der achten Versammlung der British Association for the Advancement of Science bemerkte dieser berühmte Astronom im Anschlusse an einen Vortrag von Reid <sup>36c)</sup>, „mit den Sonnenflecken seien Umstände verknüpft, welche ihm mit Gewalt den Gedanken an Tornados in der Sonnenatmosphäre aufdrängten.“ Doch müssen wir sogleich von Herschel uns trennen, wenn derselbe fortfährt: „Diese Tornados zerstreuen und öffnen die leuchtenden oberen Materien und legen die dunkle Masse darunter bloss“; denn seine Annahme eines dunklen Sonnenkernes ist bereits von Kirchhoff völlig widerlegt worden.

Wir halten es nicht bloß für möglich, sondern geradezu für wahrscheinlich, dass diese unsere Erklärung der Sonnenflecke bei dem raschen Fortschritt unserer Kenntnisse über die Sonne schon bald in einzelnen Punkten Modifikationen und Verbesserungen erfordern wird. Dennoch aber glauben wir dem Grundgedanken derselben, „dass nämlich die Sonnenflecke wolkenartige Verdichtungsprodukte sind, die sich durch aufsteigende Gas- und Metaldampfströmungen von unten her bilden und erneuern“, etwas mehr Werth als den einer blossen Hypothese beilegen zu dürfen. Denn er gründet sich vor Allem auf die unzweifelhafte Thatsache, dass dieselben Kräfte, welche auf unserer kleinen Erde die Wettersäulen und Wirbelstürme hervorrufen, in viel stärkerer Masse auf dem ungeheuren, glühenden Sonnenball thätig sind. Kein Vernünftiger kann daran zweifeln, dass auch auf der Sonnenoberfläche die Schwerkraft wirksam ist, und dass auch dort ein Gas, welches unter gegebenem Drucke erwärmt wird, sich ausdehnt.

Wir haben im Grunde nur die gemeinschaftlichen Wirkungen der Schwerkraft und dieser Expansionskraft der Gase in der Sonnen-Atmosphäre aufgesucht und erörtert, indem wir an der Hand sehr zahlreicher und mannigfaltiger Beobachtungen eine Erklärung der Sonnenflecke und einer bestimmten Art von Protuberanzen zu geben versuchten.

Wenn uns, nachdem dieser ganze Abschnitt druckfertig redigirt war, noch irgend Etwas in den hier ausgesprochenen Ansichten bestärken konnte, so war es der hocheureliche Umstand, dass einer der fleissigsten Beobachter der Sonnenflecke, dessen hohe Autorität in Bezug auf dieselben kein Astronom bezweifelt, nämlich Professor Spörer in Anclam, seither durch seine Beobachtungen zu ganz ähnlichen Ansichten gelangt ist. Er äussert sich wie folgt: <sup>61)</sup> „Bei den gewöhnlichen Protuberanzen werden durch die Gewalt der Wasserstofferuptionen wohl auch andere Massen emporgeschleudert, aber durch die Ausbreitung des Wasserstoffs wird die Temperatur vermindert; jene Massen werden als minder leuchtende unsichtbar, und werden anfänglich auch in dem Grade zerstreut, dass dabei keine Flecke entstehen können. In der flammigen Chromosphäre (oder Protuberanz) findet keine derartige Ausbreitung des Wasserstoffs statt, in der höheren Temperatur bleiben die gehobenen Massen nahe der Oberfläche leuchtend; darüber bilden sich dunkle Wolken (abgekühlte Massen, Verbrennungsprodukte, Aschen u. dergl.), und die allseitig auf die heisseren Flächen einströmenden Stürme treiben die dunklen Stoffe zusammen, welche sich dann als dunkle Wolken bis zur Oberfläche herabsenken und niedrige Protuberanzen ersticken. Der so entstandene Fleck ist Mittelpunkt convergirender Stürme; die den Hof bildenden kleinen Flecke zeigen die Richtung der Stürme. Die sogenannten Lichtadern der Kerne sind Spalten des Kernes, zwischen denen nicht nur (wie ich sonst meinte) die untere Fackelfläche sichtbar wird, sondern durch welche auch flammige Protuberanzen zum Durchbruche gelangen.“