Winkel, um welchen die Mittellinie der Axen, in einer Ebene, welche sehr nahe senkrecht zur Kante $c:s$ steht, nach unten geneigt ist gegen die Normale zur Krystallplatte.

	I.	II.	III.
Roth (Li):	$45\frac{1}{2}^{\circ}$	$59\frac{1}{2}^{\circ}$	7°
Gelb (Na):	37	$55\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{2}^{\circ}$
Grün (Tl):	23	52	8.

Hieraus zu schliessen, würde die Axenebene für das äusserste Roth des Spectrums mit derjenigen für das äusserste Violett einen Winkel von nahe 70° einschliessen; eine Dispersion der Axenebenen, wie sie wohl noch nicht bekannt ist. Sie hat die eigenthümliche Erscheinung zur Folge, dass eine Spaltungsplatte von Bijodorthonitrophenol, im parallelen weissen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols betrachtet und in ihrer eigenen Ebene gedreht, bei keiner Stellung dunkel wird, sondern stets eine Interferenzfarbe zeigt, welche gerade so wechselt, wie die Farbe einer circular-polarisirenden Platte beim Drehen eines Nicols.

IV. Ueber den Aggregatzustand der Sonnenflecke; von F. Zöllner.

(Das Folgende ist ein wortgetreuer Abdruck der von mir am 7. November 1873 in der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. vorgetragenen Abhandlung, auf welche sich Hr. Prof. Reye in seiner letzten Publication — diese Ann. Bd. CLI, S. 172 — gelegentlich bezieht. Einer Erwiderung derselben sowie überhaupt einer Fortsetzung der Controverse mit Hrn. Reye halte ich mich auf Grund der am Schlusse meiner ersten Erwiderung abgegebenen Erklärung für überhoben.)

§. 1.

Kirchhoff spricht in den „Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente“ ¹⁾ seine Anschauung von der physischen Beschaffenheit der Sonne in folgenden Worten aus:

1) Abhandl. d. Kgl. Akad. d. W. zu Berlin 1861, S. 83.

„Die wahrscheinlichste Annahme, die man machen kann, ist die, daß die Sonne aus einem festen oder tropfbarflüssigen, in der höchsten Glühhitze befindlichen Kern besteht, der umgeben ist von einer Atmosphäre von etwas niedrigerer Temperatur“.

„Bei der Sonnenatmosphäre sind es Schichten, die in gewisser Höhe über der Oberfläche des Kernes sich befinden, die das Meiste zur Bildung der dunklen Linien des Spectrums beitragen; *die untersten Schichten nämlich, die nahe dieselbe Temperatur als der Kern besitzen, verändern das Licht dieses wenig, da sie jedem Lichtstrahle den Verlust an Intensität, den sie durch Absorption herbeiführen, durch ihr eigenes Glühen nahe ersetzen*“.

Diese Sätze, welche allen meinen bisherigen Untersuchungen über die physische Beschaffenheit der Sonne zu Grunde liegen, sollen auch den Ausgangspunkt der folgenden Entwicklungen bilden.

Die nächste wahrscheinliche Folgerung, welche sich aus jenen Kirchhoff'schen Sätzen ergibt, besteht darin, daß die über der glühendflüssigen Oberfläche befindliche Atmosphäre in ihren unteren Schichten im Allgemeinen mit einer Nebel- und Wolkendecke erfüllt ist, welche in einer gewissen Höhe über dem glühendflüssigen Meere schwebt.

In der That gewährt die leuchtende Sonnenoberfläche in starken Fernröhren und unter günstigen Luftverhältnissen den Anblick eines Aggregates cumulusartiger Gebilde von leuchtenden Wolken ¹⁾.

- 1) „En effet, nous avons dit que la matière lumineuse du Soleil est analogue aux brouillards ou aux nuages; dès lors, il est bien naturel d'admettre que les grains sont les sommets des mamelons arrondis terminant ces masses vaporeuses qui flottent comme nos cumuli, dans l'atmosphère solaire. Rien n'est plus commun, même sur la Terre, que de voir, du sommet d'une montagne, des brouillards et des nuages produire un effet semblable; les dimensions énormes de ces corps solaires, présentant une étendue de plusieurs centaines de kilomètres, ne peuvent que rendre cette explication plus plausible.“ P. Secchi, *Le Soleil* p. 37.

Die *Erkennbarkeit* dieser Wolken ist bedingt durch ihren Helligkeitsunterschied von denjenigen Stellen, welche, von Wolken befreit, uns den Anblick tieferer Schichten oder des glühendflüssigen Kernes gestatten. Jener Helligkeitsunterschied aber, von welchem die Sichtbarkeit der glühenden Wolkengebilde abhängt, ist offenbar an dieselbe Bedingung geknüpft, welche Kirchhoff oben für die glühenden Gasschichten der Sonnenatmosphäre überhaupt ausspricht. Demgemäß läßt sich folgender, für das Verständniß der Vorgänge an der Sonnenoberfläche wichtige Satz allgemein aufstellen:

Wolken in der Sonnenatmosphäre, „die nahe dieselbe Temperatur als der Kern besitzen, verändern das Licht dieses wenig, da sie jedem Lichtstrahle den Verlust an Intensität, den sie durch Absorption herbeiführen, durch ihr eigenes Glühen nahe ersetzen“.

Aus diesem Satze ergibt sich:

Erstens, daß die Wolken in den tieferen Schichten der Sonnenatmosphäre sehr schwer wahrnehmbare Gebilde seyn müssen, da die Wahrnehmbarkeit eines Gegenstandes nur durch Helligkeitsdifferenzen zwischen ihm und seiner Umgebung ermöglicht wird;

Zweitens, daß die Annahme wolkenartiger Verdichtungsproducte und der Nachweis ihrer Entstehung zur Erklärung der Sonnenflecke und ihrer geringeren Helligkeit *allein* nicht ausreichend ist; es muß gleichzeitig eine Ursache nachgewiesen werden, durch welche das betreffende Wolkengebilde dergestalt eine dauernde Temperaturerniedrigung erleidet, daß sich dasselbe durch Verminderung des Emissionsvermögens für Licht und Wärme wochen- und monatelang als *dunkler* Fleck von seiner Umgebung unterscheidet.

§. 2.

Im Allgemeinen sind nur zwei Ursachen denkbar, durch welche ein glühender Körper eine Temperaturerniedrigung erleiden kann, nämlich:

1. durch Leitung bei Berührung mit einem kühleren Körper,

2. durch Ausstrahlung.

Da in der Sonnenatmosphäre die äußeren Schichten die kühleren, die tieferen die heißeren sind, so wäre die erste Art einer localen Abkühlung der leuchtenden Wolkendecke nur dadurch möglich, daß an der betreffenden Stelle durch einen *absteigenden* Luftstrom, kühlere Gasmassen aus höheren Schichten mit den heißeren Wolken in tieferen Schichten in Berührung kämen.

Indessen selbst die Annahme eines solchen permanenten, absteigenden Luftstromes — ganz abgesehen von der Frage nach seiner Ursache — würde, wie mir scheint, *allein* nicht ausreichend seyn, die fragliche Temperaturerniedrigung und dadurch eine hinreichende Verminderung der Lichtemission an der betreffenden Stelle zu erklären. Denn durch jene kühleren und höheren Schichten der Sonnenatmosphäre blicken wir, da sie durchsichtig sind, auf die heißere und tiefere Wolkenschicht. Soll also die Temperatur der letzteren durch Berührung mit den ersteren erniedrigt werden, so kann dieß doch nur wieder auf Kosten einer entsprechenden Temperaturerhöhung der herabströmenden kälteren Gastheile geschehen, die ohnedieß durch Compression beim Herabsteigen in dichtere Schichten eine Temperaturerhöhung erleiden müßten. Hierdurch würde aber die Lichtemission der herabgeströmten Gastheile wieder erhöht, wodurch jedenfalls ein Theil des Lichtverlustes, den sie durch Abkühlung an der tiefer gelegenen Wolkenschicht erzeugen, wieder durch Zunahme ihrer eigenen Lichtentwicklung ersetzt wird. Es dürfte daher auch für diese, in tiefere Schichten herabsteigenden Luftmassen *mutatis mutandis* dasselbe gelten, was oben in den Kirchhoff'schen Sätzen für die unteren Schichten der Sonnenatmosphäre allgemein ausgesprochen wurde; *sie verändern das Licht nur wenig, da sie jedem Lichtstrahle den Verlust an Intensität, den sie durch Abkühlung herbeiführen, durch ihr eigenes Glühen nahe ersetzen.*

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich der folgende Satz:

Zur Erklärung einer localen Abkühlung von längerer Dauer an der Sonnenoberfläche muß die Temperaturerniedrigung durch Leitung bei Berührung mit einem kälteren Körper ausgeschlossen werden ¹⁾.

Denn gesetzt, man leugnete die Richtigkeit dieses Satzes, und wollte die in der That über den Sonnenflecken beobachteten absteigenden Ströme (*down-rush*) als Ursache der lokalen Temperaturerniedrigung betrachten, so wäre man doch wiederum gezwungen, eine bestimmte Ursache anzugeben, durch welche gerade an dieser Stelle wochen- und monatelang absteigende Ströme erzeugt werden.

Verzichtet man hierbei auf die Annahme unbekannter, *extrasolarer* Ursachen, so bleibt nur die Annahme einer Temperaturerniedrigung in den tiefer als das allgemeine Niveau der leuchtenden Wolkendecke gelegenen Schichten

- 1) Es ist selbstverständlich, daß eine locale Abkühlung in der leuchtenden Wolkendecke der Sonne noch weniger durch einen aufsteigenden und daher *heißeren* Luftstrom erzeugt werden kann. Stellen, an denen solche aufsteigenden Ströme mit besonderer Heftigkeit stattfinden, werden vielmehr durch die höhere Temperatur der dabei gebildeten wolkenartigen Verdichtungsproducte als *helle*, etwas über dem allgemeinen Niveau der Sonnenoberfläche *erhöhte* Stellen erscheinen, wie die sogenannten *Fackeln*, nicht aber als *dunkle*, *vertiefte* Stellen, wie die Flecken. Bereits Liais bemerkt in einer schönen und sorgfältigen Arbeit vom Jahre 1867: „*Par conséquent dans les points où la photosphère s'élève au-dessus de son niveau général, on devra voir des facules*“. (*Mém. de Cherbourg* 1867, p. 334.)

Ich würde es für überflüssig gehalten haben, diese einfachen Folgerungen besonders hervorzuheben, wenn nicht neuerdings Hr. Prof. Reye versucht hätte, die Sonnenflecke durch aufsteigende Ströme „an einer besonders heißen Stelle der Sonnenoberfläche“ als „*wolkenartige Verdichtungsproducte in den tieferen Regionen der Sonnenatmosphäre, welche sich ähnlich wie die großen Wolkenschichten der irdischen Cyclonen von unten her erneuern*“ zu erklären. (Vergl. Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen in der Erdatmosphäre mit Berücksichtigung der Stürme in der Sonnen-Atmosphäre dargestellt und wissenschaftlich erklärt von Dr. Th. Reye, ordentl. Professor an der Universität Straßburg. Hannover 1872, p. 178.)

der Sonnenatmosphäre übrig. Denn eine solche locale Erniedrigung der Temperatur ist allein im Stande nach uns bekannten Analogien in der irdischen Atmosphäre dauernd absteigende Ströme zu erzeugen.

Da jedoch diese Temperaturerniedrigung auf der Sonne *nicht* durch Leitung bei Berührung mit einem kühleren Körper erzeugt werden kann, so bleibt nur die Annahme einer intensiveren *Ausstrahlung* von Wärme als Ursache jener localen Abkühlung übrig. Die Aufgabe der weiteren Erklärung kann also nur darin bestehen, die Ursachen nachzuweisen:

Erstens, durch welche in den unterhalb des Niveaus der leuchtenden Wolkenschicht gelegenen Theilen der Sonne an einer bestimmten Stelle eine stärkere Wärmeausstrahlung stattfinden kann als an anderen Stellen.

Zweitens, durch welche die so erzeugte Temperaturerniedrigung und folglich alle durch sie bedingten Erscheinungen (Dunkelheit, absteigende Ströme) längere Zeit hindurch localisirt bleiben können.

§. 3.

Die Beantwortung der ersten Frage habe ich bereits vor drei Jahren in meiner Abhandlung „Ueber die Periodicität und heliographische Verbreitung der Sonnenflecke ¹⁾“ durch folgende auf die Sonnenatmosphäre bezüglichen Erläuterungen zu geben versucht.

„Die Beschaffenheit dieser Atmosphäre muß die Intensität der Wärmeausstrahlung der von ihr eingehüllten Sonnenoberfläche in ähnlicher Weise beeinflussen, wie die Beschaffenheit der irdischen Atmosphäre die Wärmeausstrahlung der erwärmten Erdoberfläche beeinflusst. Ist nämlich die Atmosphäre unserer Erde *ruhig* und *wolkenfrei*, so ist die durch nächtliche Ausstrahlung erzeugte Temperaturerniedrigung am stärksten und als Resultate dieser Ausstrahlung bilden sich je nach der Temperatur Thau oder Reif. — In analoger Weise muß die Tempe-

1) Berichte der K. S. Ges. d. W. 12. Dec. 1870, S. 339.

raturerniedrigung der glühendflüssigen Sonnenoberfläche durch Ausstrahlung an denjenigen Stellen am bedeutendsten seyn, wo die darüber befindliche Atmosphäre möglichst *ruhig* und *klar* ist. An solchen Stellen wird sich die eingetretene Temperaturerniedrigung bei hinreichender Gröfse auch durch eine Verminderung der Leuchtkraft bemerkbar machen und hierdurch einem entfernten Beobachter die Erscheinung eines dunklen Fleckes darbieten müssen“.

Wenn aber die leuchtende Wolkendecke der Sonne in Folge der angegebenen Bedingungen an einzelnen Stellen sich lichtet und uns so den Blick auf die tiefer gelegenen Schichten der Atmosphäre oder auf die Oberfläche des glühendflüssigen Kernes gestattet, so darf man nicht erwarten, daß dieses Phänomen sich unmittelbar auch *optisch* für unsere Wahrnehmung in auffallender Weise bemerklich machen wird, etwa wie die Aufhellung der Wolkendecke eines von der Sonne beleuchteten Planeten. Denn „Wolken in der Sonnenatmosphäre, die nahe dieselbe Temperatur als der Kern besitzen, verändern das Licht dieses wenig, da sie jedem Lichtstrahle den Verlust an Intensität, den sie durch Absorption herbeiführen, durch ihr eigenes Glühen nahe ersetzen“.

Mit Berücksichtigung der Lichtabsorption in der Sonnenatmosphäre selber und des Einflusses, den die verschiedene Tiefe der darin befindlichen leuchtenden Objecte unter sonst gleichen Umständen auf ihre Helligkeit äufsern muß, ist es sogar nicht einmal möglich *a priori* den Sinn der Helligkeitsänderung zu bestimmen, welcher bei einer solchen Aufhellung in der Sonnenatmosphäre eintritt. Denn die gröfsere Helligkeit der tiefer gelegenen und deshalb heißeren Objecte könnte durch jene Absorption compensirt oder sogar vermindert werden. Indessen scheinen öfter hellere Stellen (Fackeln) an denjenigen Orten der Sonnenoberfläche beobachtet zu werden, wo einige Tage später die Entwicklung eines Fleckes stattfindet ¹⁾.

1) Secchi, *Le Soleil* p. 38. Wenn man mit dem Namen „Fackeln“

Es handelt sich jetzt um die Discussion der zweiten Frage, *durch welche Umstände können Temperaturunterschiede, die durch Ausstrahlung an der Oberfläche eines Körpers entstanden sind, möglichst lange Zeit localisirt bleiben?*

Um unsere Betrachtungen an bestimmte Vorstellungen zu knüpfen, denken wir uns drei heisse Körper in Form von Kugeln, die sich bis auf ihren Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig) durch *Nichts* von einander unterscheiden. Einer jeden dieser Kugeln sey an einer gleich grossen Stelle dieselbe Wärmequantität entzogen und hierdurch bei allen eine gleiche, locale Temperaturerniedrigung erzeugt. Welche Kugel wird zur Ausgleichung der entstandenen Temperaturdifferenz an ihrer Oberfläche die längste Zeit erfordern? Offenbar die *feste*, denn bei ihr kann die Ausgleichung nur durch *Leitung* der Wärme geschehen, während bei den beiden andern Kugeln diese Ausgleichung auch noch durch die Bewegungen der verschieden erwärmten Körpertheile beschleunigt wird und zwar um so mehr, je grösser unter übrigens gleichen Umständen die Beweglichkeit des Stoffes ist. Es wird also auch an der Oberfläche der flüssigen Kugel eine entstandene Temperaturdifferenz länger verharren müssen als an der Oberfläche der gasförmigen.

Man kann also allgemein den folgenden Satz aussprechen:

allgemein nur hellere Stellen auf der Sonnenoberfläche bezeichnet, so könnte man vielleicht, falls obige Annahme richtig ist, bezüglich der Ursache ihrer Entstehung zwei Arten von Fackeln unterscheiden:

1. solche, welche, wie die oben erwähnten, durch Aufhellung der leuchtenden Wolkendecke entstehen. Dieselben würden am Rande der Sonne verschwinden und nur in den centralen Theilen der Sonnenscheibe sichtbar seyn.
2. solche, welche wie die um den äusseren Rand der Penumbra befindlichen durch aufsteigende heissere Luftströme erzeugt werden. Diese Fackeln treten am Rande deutlicher hervor, wie dies schon Liais in seiner oben erwähnten Arbeit durch die Absorption der äusseren, kühleren Schichten der Sonnenatmosphäre erklärt hat.

Eine locale Temperaturerniedrigung an der Oberfläche eines Körpers erfordert eine um so längere Zeit zu ihrer Ausgleichung, je weniger beweglich unter übrigens gleichen Umständen die Theile des Körpers sind. Folglich muß der feste Aggregatzustand eines Körpers am besten geeignet seyn, einen, durch irgend welche Umstände entstandenen, Wärmeverlust an seiner Oberfläche längere Zeit zu fixiren.

Da nun die Sonnenflecke Stellen localer Temperaturerniedrigung an der Oberfläche eines glühenden Körpers sind, die sich zuweilen mehrere Monate hindurch erhalten können, so ist die Annahme eines festen Aggregatzustandes der Kerne der Flecken die *wahrscheinlichste* Annahme, welche zur Erklärung ihrer längeren Dauer gemacht werden kann. Demgemäß treffen die Einwendungen, welche man im Hinblick auf die hohe Temperatur der Sonne gegen das längere Bestehen schlackenartiger Abkühlungsproducte erhoben hat, in noch viel höherem Maaße die wolkenförmigen Verdichtungsproducte.

Gleichzeitig folgt aber auch aus den Bewegungen der Flecke, sowohl in Länge als Breite, daß die Oberfläche, auf welcher jene Schlacken schwimmen, eine flüssige seyn muß.

§. 4.

Faßt man die wesentlichen Momente der für den *festen* Aggregatzustand der Sonnenflecke gegebenen Deduction kurz zusammen, so ergibt sich Folgendes:

Die geringere Helligkeit der Sonnenflecken kann nur die Folge einer localen Temperaturerniedrigung seyn. Diese kann nicht durch Leitung bei Berührung mit einem kühleren Körper erzeugt werden; noch weniger durch aufsteigende Ströme aus tieferen und deshalb heißeren Schichten¹⁾; sie muß deshalb durch *Ausstrahlung* an solchen

1) Die beim Aufsteigen einer erhitzten Luftmasse durch ihre Ausdehnung eintretende Abkühlung bezieht sich selbstverständlich auf diejenige Temperatur, welche die Luftmasse selber in tieferen Schich-

Stellen entstanden seyn, wo die hierzu günstigen Bedingungen der Atmosphäre realisirt waren. Zur längeren Localisirung des hierdurch entstandenen Wärmeverlustes ist der *feste* Aggregatzustand der *günstigste*, weil bei diesem die Ausgleichung der Temperaturerniedrigung nur durch Leitung möglich ist und nicht wie bei Körpern im flüssigen oder gasförmigen Zustande noch durch Gleichgewichtsstörungen beschleunigt wird.

Demgemäß ist meine Vorstellung von der physischen Beschaffenheit der Sonne, entsprechend den bisher von mir vertretenen Anschauungen, kurz folgende:

Die Sonne ist ein glühendflüssiger Körper, umgeben von einer glühenden Atmosphäre; in der letzteren schwebt eine fortdauernd sich erneuernde Decke von leuchtenden cumulusartigen Wolkengebilden in einem gewissen Abstände über der flüssigen Oberfläche. An solchen Stellen, wo die Wolkendecke sich vermindert oder auflöst, entstehen durch kräftige Ausstrahlung auf der glühendflüssigen Oberfläche schlackenartige Abkühlungsproducte. Dieselben liegen folglich tiefer als das allgemeine Niveau der leuchtenden Wolkendecke und bilden die Kerne der Sonnenflecke. Ueber diesen abgekühlten Stellen entstehen absteigende Luftströme (*down-rush*), welche um die Küsten der Schlackeninseln eine Circulation der Atmosphäre einleiten, der die Penumbren ihren Ursprung verdanken. Die innerhalb dieses Circulationsgebietes gebildeten wolkenartigen Abkühlungsproducte werden hinsichtlich ihrer *Gestalt* und *Temperatur* durch die Natur der strömenden Bewegung bestimmt. Sie müssen uns daher in Folge ihrer Temperaturerniedrigung *weniger*

ten besafs, nicht auf die Temperatur derjenigen höheren Schicht, in welcher sie zu Ruhe kommt. Denn unter die Temperatur dieser Schicht kann diejenige der emporgestiegenen Masse nicht sinken. Da nun die Kerne der Flecken tiefer als das Niveau der leuchtenden Wolkendecke liegen, so müßten sie als Wolken eines aufsteigenden Stromes eine höhere Temperatur als letztere besitzen und daher *hellere*, nicht *dunklere* Stellen der Sonnenoberfläche seyn.

leuchtend als die übrige Wolkendecke der Sonnenoberfläche und *trichterartig vertieft* durch ihre absteigenden Bewegungen über dem Fleck erscheinen ¹⁾).

§. 5.

Obschon diese Darstellung und Begründung meiner Anschauungen von der physischen Beschaffenheit der Sonne für vorurtheilsfreie Leser ausreichend seyn dürfte, die we-

- 1) Der *äußere* Rand der Penumbra liegt folglich *im Niveau der leuchtenden Wolkendecke*, durch welche im Allgemeinen die Gränzen der Sonnenscheibe für unsere Wahrnehmung bestimmt ist. Diese Bemerkung wird ausreichen, um einen Einwand zu beseitigen, welchen kürzlich Hr. Faye als Consequenz meiner Anschauung von der Penumbra ausgesprochen hat. Hr. Faye bemerkt nämlich gelegentlich einer Reproduction meiner Theorie, man müßte zufolge derselben beim Verschwinden eines Fleckes am Sonnenrande jenes trichterförmig vertiefte Wolkengebilde frei schwebend auf der Chromosphäre projicirt erblicken. (*... quand la tache arrive au bord, ce tore, ce bourrelet ou cette espèce dentonnoir devra se dessiner en saillie sur la chromosphère ... mais je ne le vois pas: s'il existait on l'aurait vu cent fois, on l'aurait dessiné.* Vergl. *Comptes rendus* 25. Août 1873, p. 503.) Es konnte diese Folgerung des Hrn. Faye nur aus einer irrthümlichen Auffassung meiner Theorie entspringen; ich habe niemals behauptet, daß wir direct auf die Oberfläche des glühendflüssigen Kernes der Sonne blicken, sondern stets besonders darauf aufmerksam gemacht, daß dieselbe mit Dämpfen, Nebeln und Wolken bedeckt ist, auf welche zunächst unsere Blicke treffen.

Es scheint, als ob man diesen Umstand bei der Beurtheilung meiner Schlackentheorie und den gegen dieselbe erhobenen Einwendungen gänzlich übersehen hat. Ich könnte mir sonst wenigstens nicht erklären, wie man den so deutlich ausgesprochenen wolkenartigen Charakter der Penumbra und den schnellen Wechsel ihrer inneren und äußeren Contouren als Argument gegen die schlackenartige Natur des Kernfleckes hat anführen können. Selbst die Oberfläche jener Schlackenmassen wird mit nebel- und wolkenartigen Condensationsproducten bedeckt seyn müssen, wie ich dieß in meiner letzten Abhandlung (diese Ber. 21. Febr. 1873) ausdrücklich durch folgende Bemerkung zu erläutern versuchte: „Bei der dampfreichen Atmosphäre der Sonne und der immer noch sehr hohen Temperatur abgekühlter Schlacken wird man es als unzweifelhaft betrachten dürfen, daß unsere Blicke nicht direct auf die feste Masse des Kernfleckes, sondern auf die über demselben condensirten Dämpfe fallen.“

sentlichsten Einwendungen zu beseitigen, welche derselben bisher von ihren Gegnern gemacht worden sind, so halte ich es dennoch den letzteren gegenüber nicht für überflüssig, am Schlusse dieser Arbeit noch etwas specieller auf jene Einwendungen einzugehen.

Soweit mir bekannt, sind es besonders zwei Argumente, die der Annahme schlackenartiger Abkühlungsproducte für die Sonnenflecke entgegengestellt wurden:

Erstens die schnelle Veränderlichkeit ihrer Gränzen und die vielfach daran beobachteten wolkenartigen Neubildungen.

Zweitens die hohe Temperatur und Wärmestrahlung der Sonne, welche solche Schlackenmassen schnell wieder schmelzen und auflösen müßte, wenn auch nur ein geringer Theil der ausgestrahlten Wärme von ihnen absorbirt würde.

Zur Widerlegung des ersten Einwandes genügt es, sich zu vergegenwärtigen, wie gerade durch die von mir vertretenen Anschauungen von der Entstehung der Penumbra ein großer Reichthum solcher Bewegungen und Wolkenbildungen erzeugt werden muß, wie sie den erwähnten Beobachtungen entspricht. Wenn man daher meiner Theorie nicht fälschlich die Folgerung unterschiebt, man müßte direct auf die glühendflüssige Oberfläche des Sonnenkörpers blicken und dort die Schlacken, ähnlich denjenigen auf der glühendflüssigen Masse eines Schmelzofens, herumswimmen sehen, so verliert der erste Einwand jede Berechtigung.

Die Nothwendigkeit einer hell leuchtenden Wolkendecke, welche die glühendflüssige Sonnenoberfläche allseitig umhüllt, habe ich übrigens bei jeder sich darbietenden Gelegenheit in meinen Arbeiten hervorgehoben. Denn meine ganze Theorie der Periodicität und heliographischen Verbreitung der Sonnenflecke hat jene Wolkendecke zu einer ihrer wesentlichen Voraussetzungen und ich habe in der betreffenden Abhandlung vor drei Jahren über die Tem-

peratur und Sichtbarkeit dieser Wolken Folgendes bemerkt¹⁾:

„Diese Wolken brauchen indessen durchaus nicht eine so niedrige Temperatur zu besitzen, daß sie uns als dunkle Stellen erscheinen, vielmehr können sie mit Berücksichtigung der hohen Temperatur der Sonne nur aus Stoffen in glühendem Zustande bestehen, so daß sich derartige Condensationserscheinungen auf der leuchtenden Sonnenscheibe nur wenig oder gar nicht bemerklich machen werden“.

Es folgt hieraus, sowie namentlich aus den oben mehrfach wiederholten Sätzen Kirchhoff's, daß weder die Auflösung noch die Bildung wolkenartiger Trübungen in der Sonnenatmosphäre optisch leicht wahrnehmbare Erscheinungen seyn können, etwa ähnlich den Trübungen in unserer Atmosphäre oder in derjenigen eines mit *reflektirtem* Lichte leuchtenden Planeten.

Mit Berücksichtigung dieses Umstandes hielt ich mich für berechtigt, die Ursache der geringeren Häufigkeit der Sonnenflecke in der Polar- und Aequatorialzone durch die hier, in Folge der allgemeinen Circulation der Sonnenatmosphäre, vorwiegend vorhandenen atmosphärischen Trübungen zu erklären, indem durch diese der Sonnenatmosphäre gerade diejenigen Bedingungen geraubt werden, welche allein eine kräftige Temperaturerniedrigung tiefer gelegener Stellen durch *Ausstrahlung* ermöglichen.

Ich drückte dieses Argument a. a. O. mit folgenden Worten aus:

„Wir haben folglich in der Aequatorialzone und in den Regionen höherer Breiten auf der Sonnenoberfläche Gebiete vorwiegender atmosphärischer Trübungen, wogegen zwischen beiden Gebieten, analog den irdischen Passatzonen, die Orte relativer Klarheit liegen. Die Bedingungen zur Wärmeausstrahlung der *glühendflüssigen Oberfläche* müssen demgemäß an diesen Stellen im Durchschnitt günstiger, als an anderen seyn und folglich auch

1) Vergl. diese Berichte, 12. Dec. 1870, S. 349.

die Entwicklung der Sonnenflecken, als Resultate dieser Ausstrahlung hier begünstigen“.

Ich glaube, daß es bei gehöriger Berücksichtigung dieser Verhältnisse keiner weiteren Erörterungen bedarf, um Einwendungen, wie die folgenden, zu widerlegen.:

„Wären die Flecke *schlackenartige* Abkühlungsproducte, die wie Schollen auf einer flüssigen Oberfläche schwimmen, so müßten sie nach unserer Meinung gerade an den kälteren Sonnenpolen am häufigsten sich zeigen“ ¹⁾, oder

„Si elles étaient de simples scories dues au refroidissement, ce ne serait pas sans doute dans les régions les plus chaudes, qu'on les verrait se former; or c'est, au contraire, dans les zones voisines de l'équateur, qu'elles apparaissent et jamais aux pôles“ ²⁾.

Unsere Kenntniß von der verschiedenen Wärmestrahlung der Polar- und Aequatorialgegenden der Sonne beruht auf Beobachtungen P. Secchi's mit Hülfe einer Thermosäule ³⁾. Der hierbei beobachtete Unterschied der Wärmestrahlung betrug etwa $\frac{1}{16}$. Diesem Unterschiede der *Ausstrahlung* muß jedoch ein *viel geringerer* Unterschied der *Temperaturen* entsprechen, wie ich dies in meiner letzten Abhandlung ⁴⁾ theils durch Beobachtungen, theils durch Erörterungen über die Kirchhoff'sche Function zu begründen versuchte. Es verliert also durch diesen Umstand der obige Einwand noch mehr an Bedeutung, indem der Temperaturunterschied zwischen den Polen und dem Aequator, zufolge dessen „an den kälteren Sonnenpolen“ sich die Schlacken am häufigsten zeigen sollten, bis zu einer uns vorläufig noch unbekannten GröÙe herabgesetzt wird.

Schließlich sey noch erwähnt, daß auch an der Erdoberfläche durch Ausstrahlung der Wärme in ruhigen und

1) Reye, Wirbelstürme, S. 183.

2) Faye, *Compt. rendus* 25. Août. 1873.

3) Secchi, *Le soleil*, p. 133.

4) Diese Berichte. Sitzung am 21. Febr. 1873.

wolkenlosen Nächten die größten Temperatur-Differenzen in kürzester Zeit hervorgerufen werden können.

„Am auffälligsten tritt die nächtliche Wirkung der Wärmestrahlung des Bodens im Gebiet des quer durch die Alte Welt streichenden, die Wüsten umfassenden Gürtels auf. . . . Selbst in der eigentlichen afrikanischen Wüste sinkt die Temperatur des Nachts so anhaltend und tief unter den Gefrierpunkt, daß das Wasser in den Schläuchen gefriert, während sich am Mittag die Hitze bis über 40° C. erhebt“¹⁾.

„Das Schließen der Eisdecke über Flüsse hängt vorzüglich von dem Wärmeverlust ab, den die Oberfläche durch kräftige nächtliche Ausstrahlung erleidet“.

Dafür bringt Arago²⁾ folgende Belege bei.

„Im December 1762 war die Seine gänzlich zugefroren in Folge eines sechstägigen Frostes, bei dem die Temperatur im Mittel — 3,9 Grad Celsius war und im Maximo nicht — 9,7 Grad überstieg. Dagegen floß im Jahre 1748 der Strom noch, nachdem 8 Tage lang eine mittlere Temperatur von — 4,5 Grad geherrscht und die Kälte sogar ein Maximum von — 12 Grad erreicht hatte. Die Wasserhöhe, von der die Stromgeschwindigkeit bedingt wird, war zu beiden Zeiten gleich. Allein 1762 war der Himmel vor dem gänzlichen Zufrieren völlig heiter, während er 1748 entweder bewölkt oder ganz bedeckt war. — Im Jahre 1773 am 6. Febr. ging die Seine mit Eis nach fünftägigem Frost, der im Mittel — 6 Grad betragen hatte und im Maximo bis — 10,6 Grad gestiegen war. — Im Jahre 1776 erschien das Treibeis erst am 19. Jan., obgleich es schon seit dem 9. fror und vom 15. bis zum 19. Jan. die Temperatur im Mittel — 8,3 Grad gewesen und im Maximo auf — 13,1 Grad gesunken war. Der Wasserstand erklärt diese Erscheinung nicht; denn er betrug 1776 4,5 Fuß, 1773 dage-

1) A. v. Humboldt, Ueber die Hauptursachen der Temperatur-Ver-schiedenheit auf dem Erdkörper. Pogg. Ann. Bd. 11, S. 7.

2) *Annuaire pour l'an 1828* und Pogg. Ann. Bd. 14, S. 293.

Poggendorff's Annalen Bd. CLII.

gen 8 Fuß. Allein vom 3. bis 6. Februar 1773 war der Himmel völlig heiter, während er sich vom 9. bis 19. Jan. 1776 nur auf wenige Augenblicke aufklärte. — Eine der stärksten Kälten, welche man zu Paris seit dem Gebrauche des Thermometers beobachtet hat, ist die vom Jahre 1709; aber gerade in diesem Jahre blieb die Seine bei Temperaturen von -23° C. in der Mitte beständig offen¹⁾.

Diese Thatsachen werden zur Genüge beweisen, daß auch an der Erdoberfläche die Ausstrahlung der Wärme bei der localen Temperaturenniedrigung einer Wasseroberfläche die wirkliche Ursache ist und daß selbst die Eisbildung unter übrigens gleichen Umständen bei beträchtlich höherer Lufttemperatur und günstigen Bedingungen zur Ausstrahlung eintreten kann, als bei Verhinderung der letzteren durch eine Wolkendecke.

§. 6.

Ich gehe jetzt zur Discussion des zweiten Einwandes gegen die Schlackentheorie der Sonnenflecken über, nämlich zur Widerlegung der Behauptung, es könnten jene Schlacken bei der hohen Temperatur der Sonne nicht längere Zeit auf der glühendflüssigen Oberfläche, ohne zu schmelzen, verharren.

Hr. Prof. Reye hat in seinem Buche über Wirbelstürme S. 177 jener Behauptung in folgenden Worten Ausdruck verliehen:

„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

1) Schmid, Meteorologie, S. 137 und 187.

Monate absorbierte Fünftel wäre ja im Stande, eine Eisschicht von etwa 90000 Meter oder 12 geogr. Meilen Dicke zu schmelzen!“

In ganz ähnlicher Weise spricht sich Hr. Faye in den *Comptes rendus* vom 25. August 1873 S. 505 aus, indem er bemerkt:

„Si M. Zöllner a repris en sous-oeuvre cette idée (c. a. d. des scories), c'est qu'il a cru y trouver une explication simple et rationnelle du noir des taches, laquelle manque aux éruptions privées du noyau obscur; mais il n'y parvient qu'en attribuant tacitement auxdites nappes de scories la propriété de résister à la chaleur solaire pendant des semaines et des mois. Or celle-ci n'eut-elle que sa seule radiation, suffirait pour fondre une enveloppe de fer forgé à raison d'un kilomètre d'épaisseur par jour. Que serait-ce si l'on tenait compte de la chaleur communiquée par contact? Cette enveloppe disparaîtrait sans doute en quelques instants. Evidemment ceux qui ont mis les premiers cette notion de scories en avant ne se faisaient pas la moindre idée de la puissance d'un pareil foyer.“

Diese Argumente könnten im Hinblick auf die früher angestellten Betrachtungen durch die einfache Bemerkung entkräftet werden, daß sie offenbar mit noch viel größerer Berechtigung gegen eine wolkenartige als schlackenartige Natur der Sonnenflecke anwendbar sind, wenn nicht eine permanente Ursache zur fortdauernden Erzeugung jener Wolke angenommen wird. Es wurde aber bereits oben gezeigt, daß eine solche Ursache nur in einer relativ starken Temperaturerniedrigung der *unteren* Schichten der Sonnenatmosphäre gesucht werden muß. Will man daher nicht, allen physikalischen Gesetzen zum Trotz, eine solche Abkühlung „in den *tieferen* Regionen der Sonnenatmosphäre“, „an einer *besonders heißen* Stelle der Sonnenoberfläche“ dadurch entstehen lassen, daß „die dort befindlichen untersten Schichten von Metaldämpfen und Gasen durch

Ueberhitzung zum Emporsteigen gezwungen werden“¹⁾, so bleibt als *günstigste* und deshalb *wahrscheinlichste* Annahme nur die Bildung schlackenartiger Abkühlungsproducte übrig, welche dann gleichzeitig die über den Sonnenflecken beobachteten *absteigenden* Ströme (*down-rush*) nothwendig zur Folge haben.

Indessen ganz abgesehen von diesen Bemerkungen, liegt den obigen Argumentationen gegen den festen Aggregatzustand der Sonnenflecke eine stillschweigend gemachte Voraussetzung zu Grunde, welche auf einem Irrthum beruht, nämlich auf einer Verwechslung der Zeit als Maass der Wärmestrahlung, mit derjenigen Zeit, welche zur Verwandlung der ausgestrahlten Wärmemenge in eine ihr äquivalente Arbeit erfordert wird.

- 1) Reye, Wirbelstürme, S. 178 und 179. Hr. Prof. Reye schildert seine Vorstellung von der Ursache und Entstehung eines Sonnenfleckens wörtlich folgendermassen (l. c. S. 179):

„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 Metaldämpfen 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 Metaldämpfe 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 . . .“

Das Aufsteigen von Metaldämpfen und eine hierbei eintretende Verdichtung zu Wolken findet an allen Stellen der Sonnenoberfläche statt; die mittlere Höhe der hierdurch gebildeten, leuchtenden Wolkendecke ist das Niveau der sogenannten Photosphäre. Wenn nun „an einer besonders heißen Stelle der Sonnenoberfläche“ ein aufsteigender Strom von Gasen und Dämpfen entsteht, so muß derselbe seine wolkenförmigen Condensationsproducte auch in *größerer* Höhe als in dem allgemeinen Niveau der leuchtenden Wolkendecke absetzen, also eine Wolke in den *höheren*, nicht „*tieferen*“ Regionen der Sonnenatmosphäre bilden, wie es die Beobachtungen für die Kernflecken verlangen. Am Sonnenrande müßte eine solche Wolke sich als eine leuchtende Erhöhung und nicht als eine dunkle Vertiefung der Scheibe projectiren, wie letzteres gleichfalls bei größeren Flecken beobachtet wird (vergl. Secchi, *Le soleil*, p. 62).

Wenn man das Maafs der Wärmeeinheit durch die Gröfse einer ihr äquivalenten molecularen Arbeit definirt — mag dieselbe im Schmelzen oder in einer bestimmten Temperaturerhöhung der Gewichtseinheit eines gegebenen Stoffes bestehen — so ist man natürlich im Stande, *theoretisch* jede beliebige in der Zeiteinheit producirt Wärmequantität durch jene Arbeit auszudrücken. *Empirisch* berechtigt jedoch Nichts zu der Annahme, dafs die Zeit, innerhalb welcher eine bestimmte Wärmemenge *produciert* wird, dieselbe seyn mufs, welche zur Verwandlung dieser producirt Wärme in eine ihr äquivalente Arbeit erforderlich ist. Diese Zeit hängt vielmehr theils von der Beschaffenheit der zu leistenden Arbeit, theils von den besonderen Eigenschaften und Anordnungen der Körper ab, an denen sich der Procefs des Wärmeumsatzes vollzieht.

Wird z. B. die Quantität der in der Zeiteinheit von einer glühenden Oberfläche ausgestrahlten Wärme durch eine bestimmte Temperaturerhöhung der Gewichtseinheit eines *festen* Körpers gemessen, so hängt die Schnelligkeit, mit welcher diese Temperaturerhöhung in Wirklichkeit stattfindet, von der specifischen Wärme und Leitungsfähigkeit des betreffenden Körpers ab, also von Verhältnissen, die mit der Schnelligkeit der Wärmeproduction der glühenden Oberfläche gar nichts zu schaffen haben.

Aehnliches gilt, wenn die Quantität der Wärme durch Schmelzungsarbeit gemessen wird. Wenn z. B. ein Cubikmeter Eisen von 0° durch Berührung einer seiner quadratischen Flächen mit einer glühendflüssigen Oberfläche geschmolzen werden soll, welche *bei Abwesenheit* der Eisenmasse in einer Secunde so viel Wärme ausstrahlt, dafs damit in derselben Zeit 10 Cubikmeter Eisen geschmolzen werden könnten, so ist klar, dafs die Zeit, welche in Wirklichkeit zur Schmelzung der Eisenmasse erforderlich ist, eine viel gröfsere seyn wird. Denn diese Zeit hängt unter Anderem ab, erstens: von der Leitungsfähigkeit des Eisens. Je gröfser dieselbe ist, desto schneller mufs sich die zur Schmelzung erforderliche Wärme mittheilen und verbreiten.

Zweitens: von der Schnelligkeit, mit welcher sich die geschmolzenen Theile entfernen können, um nicht durch ihre Temperaturerhöhung der noch nicht geschmolzenen Masse einen Theil der producirtten Wärme zu entziehen. Da nun allgemein in der Wirklichkeit von der durch eine glühendflüssige Oberfläche ausgestrahlten Wärme nur *ein Theil* zur Schmelzung darauf schwimmender Körper verwandt werden kann, ein anderer Theil dagegen zur Temperaturerhöhung, Bewegung und Ausdehnung der geschmolzenen Substanz verbraucht wird, so darf nicht, wie es in den oben angeführten Argumentationen der HH. Faye und Reye geschieht, die Zeit, in welcher von einer glühenden Oberfläche eine bestimmte Quantität Wärme ausgestrahlt wird, mit derjenigen Zeit identificirt werden, welche diese Wärmequantität gebraucht, um sich *vollständig* in eine ihr äquivalente Arbeit des Schmelzens zu verwandeln. Die letztere Zeit hängt von der besonderen Beschaffenheit der physikalischen Verhältnisse und von der Natur des schmelzenden Körpers ab.

Aus der Gesamtheit der in vorstehender Abhandlung angestellten Betrachtungen ergiebt sich daher, wie mir scheint, daß die Voraussetzung schlackenartiger, durch Ausstrahlung an der glühendflüssigen Oberfläche der Sonne entstandener Abkühlungsproducte die einzige Annahme zur Erklärung der Sonnenflecke ist, welche nicht zu Widersprüchen mit physikalischen Gesetzen und sicher verbürgten Beobachtungen führt.