

Ueber die Temperatur der Sonne.

Von

DR. J. M. PERNTER.

Vortrag, gehalten den 9. März 1887.

Mit zwei Abbildungen im Texte.



Man hat in den warmen Sommermonaten vielfach Gelegenheit, nicht nur die Damen, sondern sogar die Herren mit Sonnenschirmen sich gegen die brennenden Sonnenstrahlen schützen zu sehen. Da es meist ältere Herren sind, die sich dieses Schutzmittels bedienen, so darf man wohl annehmen, dass nicht die Sorge um die Erhaltung eines feinen Teints sie veranlasst, zu dieser Vorsichtsmassregel zu greifen, und ich glaube auf keinen Widerspruch zu stossen, wenn ich behaupte, dass selbst die Damen von den Sonnenschirmen, ausser der natürlich wichtigsten Sorge für ihren Teint, so nebenher doch auch den Schutz gegen die Hitze der Sonnenstrahlung erhoffen. Wie dem immer sei, daran zweifelt wohl Niemand, dass die Sonnenstrahlen im Sommer sehr heiss sind. Ja wir wissen mit voller Bestimmtheit, dass alle Wärme von Belang, die wir auf der Erdoberfläche vorfinden, gerade den Sonnenstrahlen zu verdanken ist. Es ist auch nicht diese allgemein bekannte und schon viel erörterte Wahrheit, die den Gegenstand unserer heutigen Betrachtungen bilden soll; wir möchten vielmehr einen Schritt weiter gehen und eine Frage aufwerfen, die, obwohl sie so nahe liegt,

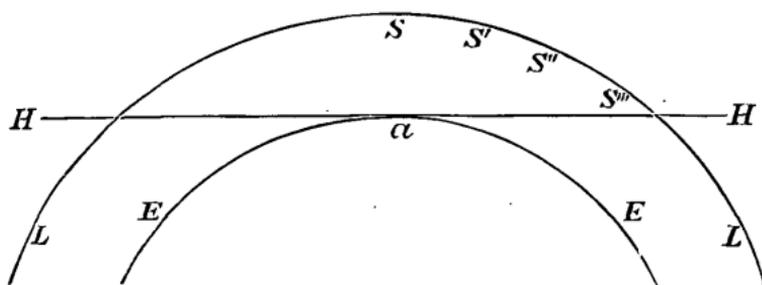
von den Wenigsten gestellt zu werden pflegt, und um deren Beantwortung sich die Welt im Allgemeinen gar wenig bekümmert, die Frage: wie heiss muss wohl die Sonne selbst sein, wenn sie noch in einer Entfernung von 20,000.000 Meilen unserer Erde so viel Wärme zu spenden vermag?

Ich will gleich recht deutlich sein. Mit der Frage: wie warm ist die Luft, wie heiss ist das Wasser? fragen wir nach der Temperatur der Luft oder des Wassers. Eine solche Frage beantwortet uns das Thermometer. Ein im Schatten aufgehängtes Thermometer sagt uns, wie viel Grade die Lufttemperatur beträgt; ein ins Wasser getauchtes Thermometer gibt uns die Temperatur des Wassers in Graden an. Wenn wir daher fragen: wie warm oder wie heiss ist die Sonne? so erwarten wir darauf die Antwort: so und so viel Grade. Da hat es aber seine Schwierigkeit. Man kann nicht einfach ein Thermometer hernehmen und es in die Sonne hineinstecken, um dann an demselben abzulesen, wie viel Grade die Sonne hat. Gegen diesen Vorgang bestehen gar viele Hindernisse. Erstens ist die Sonne doch ein wenig zu weit entfernt, zweitens, selbst wenn man hin könnte, würde man nicht zum Ziele gelangen, da das Thermometer sofort schmelzen, ja verdampfen würde, wenn man den Versuch machen könnte, dasselbe in die Sonne zu stecken. Das ist ja auch gar nichts Absonderliches, da ja selbst ein Hochofen eine solche Methode der Messung seiner Temperatur auf gleiche Weise verhindert. Kann man aber ein Thermo-

meter schon nicht in die Sonne selbst stecken, so hindert doch nichts, dasselbe in die Sonnenstrahlen zu halten und so wenigstens zu erfahren, wie heiss die Sonnenstrahlen sind. Dieser Vorgang, die Temperatur „in der Sonne“, nicht auf der Sonne, d. h. die Temperatur der Sonnenstrahlen auf der Erde zu bestimmen, ist seit Erfindung des Thermometers gebräuchlich. Wir erfahren daraus aber, dass die Temperatur der Sonnenstrahlen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten sehr verschieden ist, im Winter viel geringer als im Sommer, am Morgen und Abend viel niedriger als Mittags. Es dürfte wohl Niemand von Ihnen so Laie sein in dieser Sache, dass er annehmen würde, die Sonne selbst erleide diese grossen Schwankungen der Temperatur. Ich ahne aber, dass es gar Viele gibt, die geneigt sind zu glauben, der Unterschied der Temperatur der Sonnenstrahlen im Winter und Sommer, des Morgens und Mittags hänge von der Schiefe der Strahlen ab. Dies ist ein Irrthum in unserem Falle, weil in unserem Falle keine verschieden schiefen Strahlen existiren. Sie denken sich die Erdoberfläche horizontal und auf dieselbe die Sonnenstrahlen auffallend, und da haben Sie ganz recht, dass darauf die Strahlen im Winter schiefer auffallen als im Sommer und des Morgens schiefer als Mittags. Ganz anders stellt sich aber der Fall bei einer Thermometerkugel; auf eine Kugel fallen die Strahlen immer gleich senkrecht und gleich schief auf. Die Schiefe der Strahlen erklärt also nicht den grossen Temperaturunterschied

der Sonnenstrahlen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten. Die Ursache dieser Erscheinung ist jedoch leicht zu finden. Man hat erforscht, dass die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre unserer Erde eine beträchtliche Schwächung erleiden; wir nennen dies die Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre. Es ist nun leicht verständlich, dass diese Schwächung um so grösser sein wird, je länger der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen müssen, ehe sie an das Thermometer gelangen. Dieser

Fig. 1.



Weg ist aber um so länger, je niedriger die Sonne steht. Bei Sonnenaufgang steht die Sonne am Horizonte, also am niedrigsten; der Weg der Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre ist daher hierbei am längsten. Den kürzesten Weg hätten die Sonnenstrahlen zurückzulegen, wenn die Sonne im Zenithe steht; je ferner vom Zenithe die Sonne steht, desto länger ist der Weg der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre. Sie ersehen dies mit einem Blicke aus beistehender Figur 1. Sei *EE* ein Theil der Erdoberfläche, *HH* der Horizont

des Punktes a , und z der Zenith desselben, während LL die mit der Erdoberfläche concentrische Atmosphäre darstellt, so bedeuten Sa , $S'a$, $S''a$, $S'''a$ die Wege, welche die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen müssen, wenn die Sonne in den verschiedenen durch diese Strahlen angedeuteten Höhen steht. Sie sehen sofort, wie bedeutend die Weglängen dieser Strahlen verschieden sind und verstehen ohneweiters, dass diesen verschiedenen Weglängen verschiedene Schwächungen der Sonnenstrahlen entsprechen. Nach den neuesten Untersuchungen von Langley gelangen auf dem kürzesten Wege durch den Zenith nur 60% jener Intensität oder Wärme der Sonnenstrahlen bis zur Erdoberfläche, welche dieselben an der Grenze der Atmosphäre besitzen. Es ist dann leicht zu berechnen, wie viel von der Sonnenwärme auf den anderen Wegen, bei niedrigerem Sonnenstand, noch zu uns gelangt.

Wenn wir um die Temperatur der Sonne fragen, interessirt uns natürlich viel mehr, wie heiss die Sonnenstrahlen wären, wenn sie in der Atmosphäre keine Schwächung erleiden würden, als wie heiss sie nach dieser bald grösseren, bald geringeren Schwächung noch sind. Letzteres mag in einzelnen Fällen und für das tägliche Leben von Nutzen sein zu wissen, für die Bestimmung der Sonnentemperatur müssen wir einen Schritt weiter thun und berechnen, wie gross die Wärme der Sonnenstrahlen an der Grenze unserer Atmosphäre ist. Nach den oben gegebenen Erklärungen hält dies nicht schwer. Bezeichnet man mit A die gesuchte In-

tensität der Sonnenstrahlen an der Grenze der Atmosphäre, mit J die thatsächlich an der Erdoberfläche gemessene Wärme, mit z den Abstand der Sonne vom Zenithe, so findet man: $A = \frac{J}{0.60^{\sec z}}$.

Sie haben ganz recht, wenn Sie sagen, dass sich noch immer nicht einsehen lässt, was uns die Kenntniss der Wärme oder Temperatur der Sonnenstrahlen an der Grenze der Atmosphäre zur Bestimmung der Temperatur der Sonne selbst nützen soll. Und doch haben wir damit schon einen bedeutenden Schritt zu unserem Ziele gethan. Da nämlich im freien Weltenraume keine Schwächung der Sonnenstrahlen durch Luft oder ein anderes Medium eintritt (wenigstens berechtigt uns der heutige Stand unserer Kenntnisse zu dieser Annahme), so liesse sich doch wohl leicht berechnen, welche Temperatur die Sonnenstrahlen in einer beliebigen Entfernung von der Sonne haben, sogar in einer Entfernung von einer Meile von der Sonnenoberfläche, oder gar in der Entfernung Null, d. h. auf der Sonnenoberfläche, da ja bekanntlich die Intensität der Strahlen mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt. An der Sonnenoberfläche ist die Entfernung vom Sonnenmittelpunkte gleich dem Sonnenhalbmesser oder 94.000 Meilen, an der Erdoberfläche etwa 220 Sonnenhalbmesser oder 20,000.000 Meilen. Das Verhältniss der Quadrate der Entfernung der Erde und des Sonnenhalbmessers ist beiläufig 46.000. Mit dieser Zahl wäre also die gefundene Temperatur der Sonnenstrahlen an der Grenze

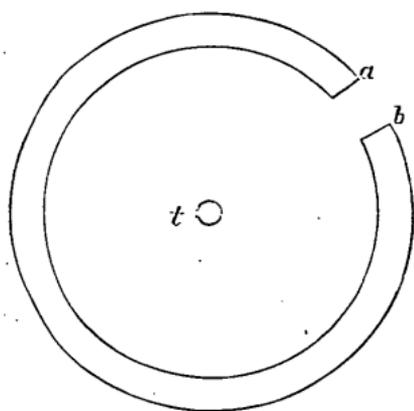
der Atmosphäre zu multipliciren, um die Temperatur auf der Sonnenoberfläche zu finden. Die Sache ist jedoch nicht ganz so einfach und leicht, wie es jetzt scheinen mag. Das sollen uns übrigens die Beispiele lehren.

Es war kein Geringerer als Newton, welcher der Erste den Versuch machte, aus der Beobachtung der Temperatur der Sonnenstrahlen die Temperatur der Sonne selbst zu berechnen. Ich führe seine Beobachtung hier an, indem ich die Celsiusgrade anwende. Er fand, dass sich die Temperatur eines den Sonnenstrahlen ausgesetzten Thermometers zu 65.56° C. ergab, während gleichzeitig die Temperatur im Schatten 29.44° C. war. Sie werden fragen, was uns hiebei die Temperatur im Schatten interessire? Gar sehr; denn diese Temperatur müssen wir als Temperatur der Umgebung von der Temperatur, die das Thermometer in den Sonnenstrahlen anzeigte, abziehen, um die reine Wirkung der Sonnenstrahlen zu erhalten. Hiernach ergibt sich als directe Wirkung der Sonnenstrahlen $65.56^{\circ} - 29.44 = 36.12^{\circ}$ C. Newton multiplicirte nun diese 36.12° C. mit der Verhältnisszahl der Quadrate der Entfernungen, die wir oben zu beiläufig 46.000 angegeben haben, und fand so als Temperatur der Sonnenstrahlen auf der Sonnenoberfläche oder schlechtweg als Temperatur der Sonnenoberfläche beiläufig $1,661.000^{\circ}$ C.

Der berühmte Astronom P. Secchi wiederholte den Newton'schen Versuch 1846, bemerkte aber sofort, dass die Newton'sche Methode der Beobachtung etwas abgeändert werden müsse. Da nämlich, wie oben be-

merkt wurde, die Temperatur der Umgebung von der in der Sonne beobachteten in Abzug zu bringen ist, so erkannte Secchi ganz richtig, dass diese Temperatur der Umgebung ihrer Wichtigkeit gemäss genau bestimmt werden müsse. Dies ist aber nur möglich, wenn man das Thermometer, auf welches die Sonnenstrahlen

Fig. 2.



fallen, in eine Hülle gibt, wo die Temperatur constant erhalten wird, und durch welche Hülle die Sonnenstrahlen nur durch eine kleine Oeffnung Zutritt zum Thermometer finden. Möge Ihnen folgende Skizze eine Vorstellung der Anordnung geben. *t* ist das Thermometer, *a b* die

Oeffnung, durch welche die Sonnenstrahlen zum Thermometer gelangen, der übrige Theil des Kreises ist das geschwärzte Innere eines von Wasser constanter Temperatur durchflossenen kugelförmigen Gefässes. Man lässt nun die Sonnenstrahlen so lange durch *a b* auf das Thermometer fallen, bis dasselbe die höchste Temperatur erreicht und constant bleibt; gleichzeitig bestimmt man aber durch besondere Thermometer die Temperatur des in der Hülle fließenden Wassers. Der Unterschied dieser beiden Temperaturen, den wir mit θ bezeichnen wollen, ist die Wirkung der

Sonnenstrahlen. Um aus diesem θ die Temperatur der Sonne selbst zu berechnen, ging Secchi auf Grund der Newton'schen Principien folgendermassen vor: Der Winkel, unter welchem man von t aus die Sonne sieht, ist $32' 3''$; das Verhältniss der scheinbaren Oberfläche der Sonne zu dem der umgebenden Hülle ist daher 183.900, man hat daher das oben gefundene θ mit dieser Zahl: 183.900 zu multipliciren, um die Temperatur auf der Sonne zu finden. Secchi führte mit seinem Apparate (Aktinometer von Secchi) viele Messungen aus und fand im Allgemeinen, dass das von den Sonnenstrahlen getroffene Thermometer 12.08°C . höher stand als das Thermometer, welches die Temperatur der Hülle angab. Dies mit 183.900 multiplicirt, ergäbe als Temperatur der Sonne selbst $2,217.814^{\circ}\text{C}$. Secchi war sich wohl bewusst, dass die gefundene Differenz von 12.06°C . gegen die Hülle beträchtlich grösser werden müsste, falls in der Atmosphäre keine Schwächung der Sonnenstrahlen stattfände; er sah folgerichtig auch ein, dass die aus der von ihm gefundenen Differenz berechnete Temperatur der Sonne viel zu klein ausfallen müsste. Da es aber nicht möglich ist, den Apparat an die Grenze der Atmosphäre zu bringen und dort Messungen vorzunehmen, so glaubte er wenigstens dadurch einen genaueren Werth für die Temperatur der Sonne zu erhalten, wenn er einen auf dem Montblanc von Soret gefundenen Werth für θ zur Berechnung der Sonnentemperatur verwende. Soret fand nämlich auf dem Montblanc $\theta = 21.13^{\circ}\text{C}$. Multiplicirt man diesen

Werth mit 183.900, so findet man als Temperatur der Sonne beiläufig $3,886.000^{\circ}$ C. Würde man annehmen, dass auch auf dem Montblanc noch die Atmosphäre eine Schwächung der Sonnenstrahlen um ein Viertel, also um 7° C. beiläufig verursache, so müsste man $\theta = 28 \cdot 13^{\circ}$ C. setzen, und man erhielte dann als Temperatur der Sonne $28 \cdot 13 \times 183900 = 5,173.077^{\circ}$ C. Das sind nun allerdings so enorme Zahlen, dass wir uns umsonst abmühen würden, uns einen Begriff von dem Hitzegrade zu machen, den dieselben darstellen. Wenn Sie bedenken, dass die Gluth eines Hochofens kaum zweitausend Grade übersteigt, und dass die höchste auf der Erde darstellbare Temperatur, die des elektrischen Lichtbogens zwischen Kohlenspitzen, wenig über 3000° betragen dürfte, so geht uns jedes Mass für die Millionen Grade verloren, die nach Newton, Secchi und Anderen die Sonne besitzen soll.

Es ist daher leicht begreiflich, dass es Forscher gab, die diese unfassbaren Hitzegrade auf der Sonne nicht gelten lassen wollten; und sie hatten in der That mehr als einen Grund, den sie gegen die obigen Berechnungen ins Treffen führen konnten. Vor Allem erwies sich das Newton'sche Princip, dass man die von den Strahlen bewirkte Erwärmung einfach der Temperatur des strahlenden Körpers, in unserem Falle der Sonne, proportional setzen dürfe, d. h. dass man die Differenz θ nur mit der constanten Verhältnisszahl 183.900 zu multipliciren brauche, um die Temperatur der Sonne zu erhalten, als falsch. Dulong und Petit

machten viele Versuche, um den Zusammenhang zwischen der Intensität der Strahlung und der Temperatur des strahlenden Körpers zu finden, und aus ihren Versuchen ergab sich ein ganz anderes Gesetz als das von Newton angenommene. Nach Dulong und Petit wächst die Strahlung nicht im gleichen Verhältnisse wie die Temperatur des strahlenden Körpers, sondern viel rascher. Bedeutet t die Temperatur des strahlenden Körpers und t' die der Hülle, so ist der Zusammenhang zwischen Temperatur und Strahlung (S) dargestellt durch die etwas complicirtere Gleichung $S = M(a^{t-t'} - a^{t'})$. Hiedurch war bewiesen, dass die Strahlung viel rascher wächst als die Temperatur des strahlenden Körpers, dass also ein doppelt so stark strahlender Körper durchaus nicht doppelt so warm sei. Benutzt man das Dulong-Petit'sche Gesetz zur Berechnung der Temperatur der Sonne, so findet man allerdings ganz lächerlich kleine Werthe. So ergeben hiernach die Versuche von Pouillet eine Temperatur der Sonne von 1461° C., die von Crova 1493° C. und die von Violle 1550° C. Das sind allerdings Temperaturen, die uns auch auf der Erdoberfläche vorkommen, dafür kann man aber um so sicherer sein, dass sie für die Sonne entschieden zu niedrig sind und dass das Dulong-Petit'sche Gesetz offenbar nach der entgegengesetzten Seite fehlt als das Newton'sche. In der That ist es unserem gelehrten Landsmanne Hofrath Professor Stefan gelungen, aus allen bisherigen Versuchen, die von Dulong und Petit miteinbegriffen, ein der Wahr-

heit näher kommendes Gesetz zu finden, welches den Zusammenhang zwischen Strahlung und Temperatur des strahlenden Körpers darstellt. Nach dem Stefan'schen Gesetze ist die Strahlung S proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur des strahlenden Körpers: $S = AT^4$. Berechnet man nun die neueren und genauesten Versuche über die Strahlung der Sonne nach dieser Formel, so findet man als Temperatur der Sonne aus den Versuchen von

Pouillet	5685° C.
Rosetti	5929° C.
Crova	6005° C.
Violle	6147° C.
Langley	6420° C.

Das sind wohl etwas grössere Werthe, als sich mit Hilfe des Dulong-Petit'schen Gesetzes ergaben, aber Sie werden dieselben doch immer noch klein finden. Sie dürfen freilich nicht den Massstab der Millionen Grade daran anlegen, die wir nach dem Newton'schen Gesetze gefunden; andererseits will ich Ihnen gerne zugeben, dass diese Werthe noch etwas zu klein sind. Es wurde zwar bei Berechnung der Temperatur der Sonne die Schwächung der Sonnenstrahlen in unserer Atmosphäre in Betracht gezogen, doch ist es wahrscheinlich, dass unsere Atmosphäre eine noch grössere Absorption auf die Sonnenstrahlen ausübe als die in Rechnung gezogenen 30 bis 40 Percent. Was nun aber in Folge dieser grösseren Absorption nur wahrscheinlich ist, das ist in Berücksichtigung der Absorption, welche

die Sonnenstrahlen in der Sonnenatmosphäre erleiden, gewiss. Obige Zahlen nehmen keine Rücksicht darauf, ob die Sonnenstrahlen direct und ungeschwächt von der Sonnenoberfläche bis an die Grenze unserer Atmosphäre gelangen, oder ob dieselben durch eine absorbirend wirkende Sonnenatmosphäre hindurch müssen, ehe sie durch den Weltraum bis an unsere Erde gelangen. Wenn wir sagen, die Temperatur der Sonne ergibt sich aus den Langley'schen Versuchen zu 6420°C ., so meinen wir damit, ein Körper, welcher an der Stelle der Sonne steht und dessen Oberfläche frei ausstrahlt, ohne von einer ihn umgebenden Atmosphäre behindert zu sein, muss an dieser Oberfläche eine Temperatur von 6420° besitzen, wenn er auf unserer Erde die Wärmewirkungen hervorbringen soll, wie es die Sonne in Wirklichkeit thut; wir nennen dies die effective Temperatur. Nun wissen wir aber, dass die Sonne, d. h. die leuchtende, strahlende Oberfläche der Sonne, die Photosphäre, umgeben ist nicht nur von der Chromosphäre, sondern auch von einer Atmosphäre, durch welche die von der Photosphäre kommenden Strahlen hindurch müssen, um in den Weltraum und in der Folge zu uns zu gelangen. Da wir nach der Temperatur der Sonne fragen, so meinen wir damit natürlich die Temperatur jener Schichte, welche leuchtet, d. h. der Sonnenoberfläche die wir sehen, der sogenannten Photosphäre. Es handelt sich nun, die Grösse der Schwächung der Sonnenstrahlen in der Chromosphäre und der Sonnenatmosphäre zu bestimmen, um sodann an-

geben zu können, wie heiss die Photosphäre ist. Glücklicherweise haben Pickering, Vogel und Andere diese Grösse bestimmt. In der Chromo- und Atmosphäre der Sonne werden nicht weniger als 80 Percent der von der Photosphäre ausgehenden Strahlen absorbirt. Hiernach berechnet sich nach dem Stefan'schen Gesetze die Temperatur der Photosphäre zu rund 10.000°C .

Diese Zahl ist die nach den neuesten Messungen und der strengsten Kritik, so weit eben die Methode es heute gestattet, am meisten sichergestellte, so dass wir sagen müssen: nach unseren jetzigen Kenntnissen gelingt es uns nicht, aus den Messungen der Sonnenstrahlung eine genauere Temperaturangabe für die Sonne (Photosphäre) zu erhalten als die obige. Wir wissen allerdings, dass diese 10.000°C . gewiss nicht exact sind und dass viele Gründe vermuthen lassen, dass wir einen beträchtlich zu niedrigen Werth gefunden haben.

Es wäre deshalb von grossem Werthe, wenn uns die Wissenschaft noch ein anderes Mittel, eine andere Methode an die Hand gäbe, um die Temperatur der Sonne zu bestimmen. Von mehreren genialen Methoden, die fast alle Zöllner angegeben, ist eine allerdings derart, dass sie auf den ersten Blick zum Ziele zu führen scheint. Ich lasse alle anderen nicht nur unsicheren, sondern höchst hypothetischen Methoden unberührt und will mich nur mit dieser Einen erfolversprechenden befassen.

Es ist Ihnen wohl Allen bekannt, dass man am Sonnenrande rothe Garben bemerkt, die besonders zur

Zeit der Sonnenfinsternisse Allen deutlich sichtbar sind; man nennt sie Protuberanzen. Diese Protuberanzen sind in der Hauptsache glühende Wasserstoffmassen, die von der Sonnenoberfläche (Photosphäre) in die Höhe schiessen; sie erreichen bald grössere, bald kleinere Höhen und sind jederzeit in grosser Menge vorhanden, so dass der Sonnenrand thatsächlich fortwährend mit diesen feurigen rothen Garben gesäumt erscheint. Es war ein genialer Gedanke Zöllner's, diese Protuberanzen zur Berechnung der Sonnentemperatur zu verwenden. Nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie kühlt sich ein in der Atmosphäre aufsteigendes Gas in dem Masse ab, als mit der Höhe der Druck abnimmt, und es lässt sich aus der Temperatur des Gases an der Oberfläche der Erde oder der Sonne leicht die Temperatur berechnen, welche es besitzen wird, wenn es bis in eine beliebige Höhe aufgestiegen ist. Aber umgekehrt lässt sich aus der Höhe, bis zu welcher ein Gas aufgestiegen, und der Temperatur, die es in dieser Höhe noch hat, die Temperatur berechnen, die es auf der Oberfläche der Sonne hatte. Da aber die Oberfläche der Sonne wohl keine beträchtlich verschiedene Temperatur haben kann als die Gase, die von ihr aufwärts strömen, so wäre damit die Temperatur der Sonnenoberfläche berechnet. Vielleicht fürchten Sie, dass es doch schwer sein dürfte, die Temperatur zu wissen, welche der glühende Wasserstoff einer Protuberanz in der obersten Schichte derselben noch besitzt. Ja, genau lässt sie sich nicht wohl angeben, aber immer-

hin so genau als nöthig: jedenfalls ist die Temperatur in der obersten Schichte der Protuberanzen noch wenigstens 570° C., da sie ja leuchten und kein Körper von niedrigerer Temperatur Licht aussendet. Man hat daher nur die Höhe der Protuberanzen zu messen (was nebenbei gesagt allerdings nicht immer gar so leicht gelingt), um dann sofort die Temperatur an dem Punkte der Sonnenoberfläche berechnen zu können, von welchem aus die Protuberanz sich erhob. Auf diese Weise fand Zöllner die Temperatur der Sonne zu $1.000.000^{\circ}$ C.

Dies scheint nun wieder mehr für die Annahme von Secchi zu sprechen. Allein es ist eben nur Schein. Zöllner hat bei seiner Berechnung zwei Dinge unbeachtet gelassen. Erstens, dass die Protuberanzen nicht aus reinem Wasserstoffe bestehen, sondern denselben alle Arten von metallischen Dämpfen beigemischt sind, die sich in Folge der Abkühlung beim Aufsteigen zu metallischen Tropfen condensiren. Aehnliches sehen wir ja auch auf unserer Erde. Ein aufsteigender Luftstrom, der Wasserdampf mit sich führt, condensirt den Wasserdampf in Folge der Abkühlung beim Aufsteigen zu Wolken und Regen. Die Folge hievon ist aber, dass sich der Luftstrom nicht so rasch abkühlen kann, weil die bei der Condensation freiwerdende Wärme ihn fortwährend vor zu schneller Abkühlung schützt. Ein Gleiches ist auf der Sonne bei den Protuberanzen der Fall. Diese langsamere Abkühlung in Folge der Condensation muss also bei der

Rechnung berücksichtigt werden. — Zweitens ist es nicht erlaubt, einfach eine Protuberanz herzunehmen und aus derselben die Temperatur der Sonne zu berechnen. Sie verstehen leicht, dass da eine jede Protuberanz eine andere Sonnentemperatur ergeben würde, je nach den verschiedenen Höhen der Protuberanzen. Auch darf man nicht gerade die höchsten auswählen, da dieselben ja Ausnahmen sind und ihre Berechnung nichts Anderes ergeben würde als eine ausnahmsweise Temperatur an einem bestimmten Punkte der Sonnenoberfläche. Will man einen dem gewöhnlichen Zustande der ganzen Sonnenoberfläche entsprechenden Werth der Temperatur derselben erhalten, so muss man die mittlere Höhe der jederzeit in grosser Menge vorhandenen, den Saum des Sonnenrandes bildenden Protuberanzen zur Grundlage der Rechnung machen. Man kann diese Höhe zu 1500 Meilen annehmen — erschrecken Sie nicht über diese Zahl, die für irdische Verhältnisse masslos gross ist, gegenüber dem Sonnendurchmesser von 184.000 Meilen aber immerhin noch klein genannt werden kann. Freilich gibt es Protuberanzen von riesigen Höhen. So kommen Höhen von 20.000 Meilen zuweilen vor. Young hat mehrere von über 30.000 Meilen und Secchi will eine von 55.000 Meilen beobachtet haben, ja Young gibt sogar an, eine solche von 76.000 Meilen gesehen zu haben — das wäre beinahe die Grösse des Sonnenhalbmessers. Doch diese Ausnahmen können uns, wie gesagt, für die Rechnung nicht massgebend sein.

Ich habe nun mit Zugrundelegung dieser Bemerkungen die mittlere Temperatur der Sonnenoberfläche zu 104.000° C. berechnet. Sie sehen, bei kritischer Handhabung der genialen Zöllner'schen Methode verschwinden die Millionen.

Stellen wir nun die Frage bestimmt: welches ist die Temperatur der Sonne?

Versteht man unter Temperatur der Sonne diejenige der Sonnenoberfläche, also der Photosphäre — und das ist darunter zu verstehen — so kommen wir zu dem Resultate, dass dieselbe zwischen 100.000° C. und 10.000° C. liegt. Wir sehen, dass die bisherigen Angaben, welche so enorme Differenzen aufweisen wie $5.000.000^{\circ}$ und 1400° C., verschwinden, und dass es immerhin engere Grenzen gibt, zwischen welche es uns gelungen, die Temperatur der Sonne einzuschliessen.

Beachten Sie, dass die obere Grenze von 100.000° C. ein Näherungswerth ist, der möglicherweise noch zu hoch sein könnte, und dass die untere Grenze von 10.000° C. zweifellos zu klein ausfallen musste, da sowohl die Annahme der in der Erdatmosphäre ausgeübten Absorption zu klein sein muss, als auch das Stefan'sche Gesetz der vierten Potenz zu kleine Werthe liefern dürfte, und Sie werden finden, dass wir in der That die Temperatur der Sonne schon mit einer nach den früheren Resultaten unerhofften Annäherung angeben können: Die Temperatur der Sonne liegt zwischen 10.000 und 100.000° C.
