VIII. *Beobachtungen des atmosphärischen Potentialgefälles und der ultravioletten Sonnenstrahlung; von Julius Elster und Hans Geitel.*

(Aus den Sitzungsberichten¹⁾ der Wiener Akademie im Auszuge mitgetheilt von den Hrn. Verfassern.)

(Hierzu Taf. II u. III.)

Einleitung.

Von den Hrn. v. Bezold²⁾ und Arrhenius³⁾ ist der Gedanke ausgesprochen worden, dass die Erscheinungen der atmosphärischen Electricität unmittelbar von der Sonnenstrahlung abhängig sein könnten. Nachdem es uns gelungen war, an verschiedenen Substanzen die photoelectrische Wirkung der brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes (im Folgenden kurz *ultraviolette* genannt) nachzuweisen, schien uns diese Auffassung an Gewicht gewonnen zu haben, und wir hielten es für angezeigt, sie auf dem Wege unmittelbarer Beobachtung zu prüfen.

Nach Beschaffung eines auf die lichtelectrische Zerstreuung gegründeten Photometers begannen wir in Wolfenbüttel die Messungen der ultravioletten Sonnenstrahlung an heiteren Tagen im September 1889 und setzten sie bis October 1891 fort. Ein Theil der Beobachtungen wurde im Juli 1890 auf dem Sonnblickobservatorium und in der zugehörigen Thalstation Kolm Saigurn ausgeführt. Gleichzeitig ermittelten wir nach dem Vorgange des Hrn. Exner an störungsfreien Tagen in stündlichen Intervallen die Intensität des electrischen Feldes der Erde.

Indem wir im Folgenden über die angewandten Methoden und ihre Ergebnisse berichten, theilen wir den Stoff in der Art ein, dass wir in dem ersten Abschnitte die Messungen der atmosphärischen Electricität, im zweiten die Einrichtung und Prüfung der photometrischen Apparate, im dritten die

1) Wien. Ber. Bd. 101. Abth. IIa. p. 703. März 1892.

2) v. Bezold, Sitzungsber. der Berl. Akad. 36. p. 905. 1888.

3) Arrhenius, Meteorolog. Zeitschrift V. p. 297. 1888.

Vergleichung der electricischen und photometrischen Beobachtungen und im vierten die Absorption des Ultraviolett in der Atmosphäre behandeln.

§ 1. Messungen des normalen Potentialgefälles der atmosphärischen Electricität in absolutem Maasse.

Die Bestimmung des Potentialgefälles der atmosphärischen Electricität in absolutem Maasse geschah von dem Fenster unserer Wohnung aus in der folgenden Weise:

Eine in einem schweren an dem Fensterbrett befestigten eichenen Klotze verschiebbare Stange von quadratischem Querschnitt und etwa 2 m Länge trägt an ihrem einen Ende einen verticalen, mit Metallfassung versehenen Ebonitstab. Um diesen, der als Träger einer kleinen metallenen Petroleumlampe dient, vor zufälligen Berührungen zu schützen, ist er von einer ihn nirgends berührenden Glasröhre umgeben. Die Lampe wird mittels eines Metalldrahtes mit dem Knopfe eines calibrierten Exner'schen Electroskopes verbunden, während das metallene Gehäuse desselben durch Verbindung mit der Gasleitung des Hauses auf dem Potential der Erde erhalten bleibt. Auf der verschiebbaren Stange brachten wir fünf Marken an, durch welche bestimmte Entfernungen der Flamme von der Hauswand bezeichnet wurden. Für jede der so bezeichneten Stellungen des Collectors wurde der Reductionsfactor der beobachteten Potentialwerthe auf freies Feld und 1 m Höhe mehrfach bestimmt, und das Mittel aus den nahe beieinander liegenden Zahlen der Umrechnung zu Grunde gelegt. Sämmtliche nach dieser Methode gemessenen Werthe geben daher die Potentialdifferenz eines in 1 m Höhe über dem Erdboden auf freiem Felde gelegenen Punktes gegen den Erdkörper an und sind daher sowohl unter sich, als auch mit den von Hrn. Exner¹⁾ und uns²⁾ früher gefundenen und publicirten Potentialwerthen vergleichbar. Jede unter die Messungen aufgenommene Zahl ist als Mittel aus drei Ablesungen gebildet.

Es ist von Hrn. Exner die Forderung gestellt worden,

1) F. Exner, Wien. Ber. 96. IIa. p. 419. 1887 und ebenda 99. IIa. p. 601. 1890.

2) J. Elster u. H. Geitel, Wien. Ber. IIa. p. 909. 1889.

bei luftpneumatischen Messungen die Tage mit normalem Witterungscharakter streng von denen zu scheiden, bei welchen durch Wolken- oder Niederschlagsbildungen, sowie durch lebhaftere Luftbewegung erfahrungsgemäss das electrische Feld der Erde beträchtliche Störungen erfährt. Da dieses Princip sich in der That als ein fruchtbringendes erwiesen hat, so sind wir bemüht gewesen, dasselbe so streng zur Durchführung zu bringen, als es unsere klimatischen Verhältnisse gestatten. Falls Niederschlagsgebiete heran- oder abzogen, denen normale Witterung vorausging oder folgte, haben wir die zwei Stunden vor Eintritt der Niederschläge gewonnenen Beobachtungen verworfen und die Messungen erst bei wolkenlosem Himmel wieder aufgenommen.

Dagegen haben wir *die* Beobachtungen nicht ausgeschlossen, während welcher nur hie und da vereinzelt, *keine* Niederschläge entsendende Wolken auftauchten, vereinzelt Cirri mit inbegriffen, da wir einen deutlichen Einfluss derartiger Gebilde auf unsere Messinstrumente nicht erkennen konnten.

Die durch Wind bewirkten Fehler in der Bestimmung des Potentialgefälles sind keinesfalls erhebliche, und zwar aus dem Grunde, weil Tage mit lebhafter Luftbewegung sich von selbst dadurch ausschalten, dass an solchen die als Collector dienende Flamme nicht brennend zu erhalten ist. An jenen Tagen, an denen dies eben noch möglich ist, äussert sich der Einfluss des Windes darin, dass, sobald die Flammengase nach unten gedrückt werden, das Electroskop einen zu tiefen Werth anzeigt, wie sich aus einem Vergleiche mit den beobachteten Ausschlägen bei windstillen Momenten sofort ergibt. Wir haben diesen Fehler nach Möglichkeit dadurch auszugleichen gesucht, dass wir nicht, wie wir sonst zu thun pflegten, das Mittel von drei aufeinanderfolgenden Ablesungen in das Beobachtungsprotokoll eintrugen, sondern nur den im Verlaufe der Messung auftretenden *grössten* Werth der Divergenz der Electroskopblättchen notirten.

Das gesammte vorliegende electrische Beobachtungsmaterial, gewonnen bei wolkenlosem oder heiterem Himmel, umfasst den Zeitraum von October 1888 bis dahin 1891 mit 177 Beobachtungstagen und 1684 Einzelmessungen. Dasselbe lässt sich in Bezug auf den Verlauf des mittleren täglichen Potential-

gefälles von zwei wesentlich verschiedenen Gesichtspunkten aus diskutieren, nämlich entweder geordnet nach der zeitlichen Aufeinanderfolge, oder vom Standpunkte der Exner'schen Theorie aus.

Wir wollen *beide* Wege einschlagen und theilen zunächst den jährlichen Verlauf des Tagesmittels des Potentialgefälles für unseren Wohnort Wolfenbüttel mit.

Wir fanden:

Monate:	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
$\frac{dv}{dn} \left(\frac{\text{Volt}}{\text{Meter}} \right)$:	470	391	339	294	138	110	102	123	121	121	188	260

Wir ersehen daraus, dass das atmosphärische Potentialgefälle im December seinen höchsten durchschnittlichen Werth erreichte ($dv/dn = 470$ Volt/Meter), während das Minimum im Juni mit 102 Volt/Meter beobachtet wurde. In Fig. 1 ist die jährliche Variation des Potentialgefälles graphisch dargestellt, als Abscissen sind die Zeiten (Monate) als Ordinaten die Werthe für dv/dn aufgetragen.

Das Zeichen der Luftelectricität fanden wir fast ausnahmslos *positiv*, nur an einigen aussergewöhnlich kalten Decembertagen des Jahres 1890 (am 28., 29. und 30.) mit einem mittleren Dampfdruck von etwa 1 mm erschien es im Laufe eines Tages bei wolkenlosem Himmel stundenlang negativ. Dabei trieb ein lebhafter SE-Wind feinen Staubschnee über eine ältere Schneelage hinweg. Die ganz abnormen, häufig von + zu - überspringenden Werthe des Potentialgefälles kennzeichneten sich deutlich als Störungen, die vermuthlich in der Reibung des Staubschnees an der übereisten Erdoberfläche ihre Ursache hatten.

Die zweite mögliche Darstellung der jährlichen Variation und zwar in ihrer Abhängigkeit vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ergibt sich, wie oben erwähnt, wenn wir uns auf den Boden der Exner'schen Theorie stellen.

Nach Herrn Exner¹⁾ ist:

$$\frac{dv}{dn} = \frac{A}{1 + k q_0},$$

1) F. Exner, Wien. Berichte. 99. IIa. p. 623. 1890.
Ann. d. Phys. u. Chem. N. F. XLVIII.

wo A das Potentialgefälle bedeutet, das herrschen würde, wenn aller Wasserdampf aus der Atmosphäre niedergeschlagen wäre; q_0 bezeichnet die in einem Kubikmeter Luft an der Erdoberfläche enthaltene Menge Wasserdampfes, gemessen in Grammen, k eine Constante.

Für die Constanten der Formel hat Hr. Exner durch ein Näherungsverfahren aus rund 1100 Beobachtungen, die theils in Wien, St. Gilgen, Venedig, Wolfenbüttel, theils in Ceylon gewonnen wurden, folgende Werthe abgeleitet:

$$A = 1410 \cdot k = 1.15.$$

Da wir zu jeder Messungsreihe des Potentialgefälles den zugehörigen Werth von q_0 aus den Beobachtungen der meteorologischen Station zu Braunschweig berechnen konnten, so sind wir in der Lage entscheiden zu können, ob die von uns beobachteten Werthe der Tagesmittel von q_0 und dv/dn sich in den Rahmen dieser Formel einordnen. Wir erhalten so die folgende Zusammenstellung:

q_0	Potentialgefälle	
	beobachtet	berechnet
1,6	502	496
1,9	430	442
2,5	400	364
3,7	318	268
4,6	252	224
5,6	137	189
6,5	184	166
7,6	148	145
8,4	112	133
9,4	115	119
10,6	118	107
13,5	121	85

Aus dieser Darstellung ersehen wir, dass für niederen Dampfgehalt — wenn wir von der Anomalie bei Gruppe Nr. 6 ($q_0 = 5,6$) absehen —, die Uebereinstimmung ziemlich befriedigend genannt werden kann, dass dagegen für Dampfgehalte von 8,0—15 g der Verlauf der Curve der entgegengesetzte ist, wie ihn Exner's Theorie verlangt. Während der Dampfgehalt von 8,4—13,5 g steigt, nimmt auch das Potentialgefälle wieder von 112—121 Volt/Meter zu, während theoretisch

(nach Hrn. Exner) eine weitere Abnahme bis zu 85 Volt zu erwarten stand. Zum mindesten muss man hieraus den Schluss ziehen, dass von $q_0 = 8$ g aufwärts eine *deutliche* weitere Abnahme des Potentialgefälles für unseren Wohnort *nicht* zu constatiren ist.

Da die electricischen Beobachtungen in stündlichen Zeiträumen erfolgten, so lässt sich auch die *tägliche* Variation des Potentialgefälles aus denselben ermitteln.

Hierzu wurden die Einzelbeobachtungen in der Weise miteinander combinirt, dass für jeden Monat die Stundenmittel des Potentialgefälles berechnet wurden. Lücken in den Beobachtungen sind, um das Material von willkürlichen Eingriffen frei zu halten, *nicht* durch Interpolation ausgefüllt.

Wir betrachten zunächst die tägliche Variation in den Monaten: November, December, Januar, Februar, März (Winter) unter Zugrundelegung der graphischen Darstellungen in Fig. 2. Wir entnehmen aus denselben, dass der Verlauf während der genannten Monate ein unregelmässiger ist. Diese Unregelmässigkeit zeigt sich übrigens nicht nur in der Verschiedenheit der Monatscurven unter sich, sondern tritt auch schon hervor bei der Vergleichung weniger Tage ein und desselben Monats. Im ganzen zeigt sich, dass die Potentialwerthe gegen Abend höher sind als am Morgen, sodass um 9 oder 10 p. durchschnittlich die höchsten Werthe beobachtet werden. Es erhellt dies sehr deutlich, wenn man die 80 Tage der genannten Monate unter Berücksichtigung der Gewichte zu einer einzigen Curve vereinigt. Diese Curve darf aber durchaus nicht so aufgefasst werden, als gebe sie den wahrscheinlichsten Gang des Potentialgefälles an einem Wintertage wieder. (Fig. 4, die obere Curve.)

Der Verlauf des Potentials in den übrigen Monaten des Jahres ist ein davon gänzlich verschiedener. Ein Blick auf die in Fig. 3 verzeichneten Curven lehrt sofort, dass die tägliche Variation in den Monaten April bis einschliesslich October (Sommer) der *Hauptsache nach die gleiche* ist. Ueberall sinken die hohen Vormittagswerthe bis zu einem tiefen Minimum gegen Sonnenuntergang herab; nur im Juni und Juli eilt es diesem Zeitpunkte um einige Stunden voran. Man wird hier kein Bedenken tragen, den aus einer Combination der Monats-

curven hervorgehenden mittleren Curven die Bedeutung einer Näherungsdarstellung des Potentialverlaufes im Sommer beizulegen, und zwar in dem Sinne, dass selbst einzelne herausgegriffene Tage der genannten Jahreszeit im grossen und ganzen das gleiche Verhalten zeigen. (Fig. 4, die untere Curve.)

Vereinigt man schliesslich die Winter- und Sommercurve und zwar wiederum unter Berücksichtigung der Anzahl der Beobachtungen zu einer einzigen Curve (Jahrescurve), so erhält man eine Linie, die den charakteristischen Gang des Potentialgefälles während der Sommermonate durchaus nicht mehr erkennen lässt. (Fig. 4, die mittlere Curve.)

§ 2. Die Photometrie der ultravioletten Sonnenstrahlung.

Die Wirkung der Sonnenstrahlen, um deren Messung es sich für uns handelt, besteht in der Fortführung negativer Electricität von leitenden Oberflächen, die von ihnen getroffen werden. Sie ist, wie schon in der Einleitung bemerkt wurde, vorzugsweise dem kurzwelligen Lichte eigenthümlich, den Hauptantheil übernehmen die violetten und ultravioletten Strahlen.¹⁾ Licht beliebiger Herkunft, dass eine Glasschicht passirt hat, ist daher gegenüber den meisten Körpern von geringer photoelectrischer Kraft; es hat die activen Strahlen, wenn es solche überhaupt enthielt, zum grössten Theile durch Absorption im Glase eingebüsst. Nur einige wenige bestimmte Substanzen, die aber ihrer Natur nach nicht in freiem Zustande an der Erdoberfläche vorkommen können, wie die Alkalimetalle²⁾, erweisen sich auch unter diesen Verhältnissen noch stark lichtempfindlich. Wollte man daher zur Messung der Intensität der electrisch wirksamen Bestandtheile des Sonnenlichtes Photometer benutzen, bei denen Glas oder andere absorbirende Substanzen in den Gang der Strahlen eingeschaltet sind, so würde man gerade *die* Lichtarten nahezu beseitigen, auf deren quantitative Bestimmung am meisten ankommt. Deshalb würde das Chlorknallgasphotometer von Bunsen³⁾ sowie alle die photochemischen Methoden, bei denen die lichtempfindliche Substanz hinter Glas oder in organische Sub-

1) W. Hallwachs, Wied. Ann. **33**. p. 301. 1888.

2) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. **43**. p. 225. 1891.

3) Bunsen u. Roscoe, Pogg. Ann. **108**. 1859.

stanzen eingebettet dem Lichte exponirt wird, für unseren Zweck nicht ausreichen, am wenigsten aber die Messung der gesammten Strahlungsenergie durch ihren thermischen Effect, der durch die gebräuchlichen Actinometer gegeben wird.

Es ist vielmehr nothwendig, ein Photometer zu construiren, durch welches gerade diejenige Wirkung des Lichtes gemessen wird, die uns hier interessirt, nämlich die von der ungeschwächten Strahlung abhängige Electricitätszerstreuung. Nach vielen Versuchen, ein geeignetes Material zu finden, kamen wir schliesslich zu der Verwendung des amalgamirten Zinks. Eine kleine Kugel aus chemisch reinem Zink, an einem eingeschraubten Stahlstifte befestigt, lässt sich, wenn sie frisch amalgamirt ist, durch erneutes Eintauches in reines Quecksilber und nachheriges Abreiben mit trockenem Seidenpapier von sehr gleichförmiger Oberflächenbeschaffenheit herstellen. Eine solche Kugel gibt, wenn sie negativ geladen den freien Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, ihre Electricität mit grosser Schnelligkeit an die umgebende Luft ab. Der Verlust an Ladung in einer gegebenen Zeit kann leicht an einem Electrometer gemessen werden, und schon der roheste Versuch lässt erkennen, dass die Geschwindigkeit der Entladung in starkem Maasse mit der Erhebung der Sonne über den Horizont zunimmt.

Eine amalgamirte Zinkkugel in Verbindung mit einem Electrometer wird also ein electrisches Actinometer darstellen, sobald es möglich ist, anzugeben, nach welchem Gesetze der in der Zeiteinheit gemessene Electricitätsverlust von der Intensität des die Kugel bestrahlenden Lichtes abhängt. Natürlich sind die Angaben eines solchen Instrumentes zunächst nur auf *die* Strahlengruppe zu beziehen, welche gerade an Zinkflächen die electrische Zerstreuung bewirkt.

Um zu einer Beziehung zwischen Lichtintensität und Electricitätsverlust zu gelangen, machen wir von einer Hypothese Gebrauch, deren experimentelle Prüfung im Folgenden mitgetheilt werden wird; wir nehmen an, dass der Coefficient der Zerstreuung der negativen Electricität von der Zinkfläche eine lineare Function der Intensität des Lichtes sei.

Bezeichnen wir diesen Coefficienten mit z , mit J die Intensität der photoelectrisch wirksamen Strahlung, so setzen wir:

$$z = a + b \cdot J.$$

a bedeutet demnach den Zerstreuungscoefficienten bei Ausschluss des Lichtes, b ist ein Factor, welcher von der Beschaffenheit der lichtempfindlichen Fläche, aber nicht von der Lichtintensität und dem electrischen Potential der Zinkkugel abhängig ist. Bezeichnet V dies Potential, $-dE$ die im Zeitelemente dt aus der Zinkfläche austretende Electricitätsmenge, so ist:

$$-dE = z \cdot V \cdot dt.$$

Ist C die Capacität des gesammten, aus Electrometer und Zinkkugel bestehenden Leittersystems, also:

$$E = CV,$$

so wird:

$$C dV = -z V \cdot dt,$$

also:

$$C \log \frac{V}{V_0} = -z \cdot t.$$

Durch Einsetzung des Werthes von z ergibt sich:

$$\log \frac{V_0}{V} = \frac{a + b \cdot J}{C} t.$$

V_0 ist das vor Beginn, V das nach Verlauf der Expositionszeit t beobachtete Potential der Zinkkugel. Aus der letzten Gleichung folgt:

$$J = \frac{1}{b} \left\{ \frac{C \cdot \log \frac{V_0}{V}}{t} - a \right\}.$$

a bestimmt man, indem man für dieselbe Expositionsdauer t das Absinken des Potentials V_0 bei Ausschluss des Lichtes $\{J = 0\}$ beobachtet, der Restbetrag sei nun V' , so ist:

$$a = \frac{C \cdot \log \frac{V_0}{V'}}{t}$$

und durch Einsetzung dieses Werthes in die vorige Formel erhalten wir:

$$J = \frac{C}{b \cdot t} \left\{ \log \frac{V_0}{V} - \log \frac{V_0}{V'} \right\}.$$

Das zweite Glied des Klammerausdrucks stellt eine Correction dar, die durch die gewöhnliche — nicht photoelectrische — Zerstreuung nothwendig wird; um diesen Betrag würde man die Strahlungsintensität zu hoch finden, wenn man die vom

Lichte unabhängige Zerstreuung vernachlässigt. (Es ist, wie weiter unten sich ergeben wird, für den praktischen Gebrauch nicht zweckmässig, der Formel die Gestalt:

$$J = \frac{C}{b \cdot t} \log \frac{V'}{V}$$

zu geben.) Misst man immer mit demselben Apparate in derselben Anordnung der Theile und unveränderter Umgebung, sodass C constant bleibt, ist man ferner sicher, dass sich die Lichtempfindlichkeit der Zinkfläche nicht ändert, ist also auch b constant, setzt man schliesslich eine bestimmte Einheit der Expositionsdauer t , etwa 1' fest, so erhält man die Lichtintensität nach dieser Formel in einem willkürlichen Maasse. Die Constante C/b nimmt man dann zweckmässig gleich der Einheit und verwendet Brigg'sche statt der natürlichen Logarithmen.

Unsere nächste Aufgabe ist nun, zu zeigen, dass die entwickelte Formel mit hinreichender Genauigkeit den Zusammenhang zwischen der Strahlungsintensität und der Electricitätszerstreuung darstellt. Dies kann dadurch geschehen, dass man mittels des Electrometers und der lichtempfindlichen Fläche Lichtintensitäten misst, deren Verhältniss im voraus bekannt ist. Wird dies unter allen Bedingungen, die bei praktischen Messungen der Sonnenstrahlung vorkommen können, durch die Formel wiedergegeben, so ist sie offenbar brauchbar. Da es nicht möglich ist, das Sonnenlicht in zahlenmässig angebbarer Weise in seiner Intensität willkürlich abzuändern, so mussten wir zu künstlichen Lichtquellen greifen. Gas und Petroleumlicht ist auf Zinkflächen so gut wie ohne Wirkung, eine Magnesiumflamme lässt sich nicht in genügender Constanz brennend erhalten, electricches Bogenlicht stand uns nicht zur Verfügung und würde auch wohl schwerlich gleichmässig genug herzustellen sein. Wir benutzen daher das Licht electriccher Funken, die durch einen kleinen Inductionsapparat (Funkenlänge 2 cm) in Verbindung mit einer Leydener Flasche geliefert wurden.

Dies Licht wirkt wegen seines hohen Gehaltes an Ultraviolett ziemlich stark auf Flächen von amalgamirtem Zink ein, bietet aber den Uebelstand, dass es electricche Kräfte erfordert, welche durch Fernwirkung sowohl die Electricitätszerstreuung

wie die Angaben des Electrometers beeinflussen können. Die hierdurch notwendig gemachten Schutzvorrichtungen werden noch besprochen werden. Vor der Hand ist nur hervorzuheben, dass es genügt, die lichtempfindliche Fläche in einem dunkeln Raume in Entfernungen von den Funken aufzustellen, die im Verhältnisse 1 : 2 : 3 : 4 etc. stehen, um Beleuchtungsintensitäten zu erhalten, deren Relativzahlen $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9} : \frac{1}{16}$ etc. sind. Wenn die obige Formel für beliebige Entfernungen, Expositions-dauern und Anfangsladungen ohne Unterschied das Gesetz der Intensitätsabnahme des Lichtes mit dem Quadrate der Entfernung wiedergibt, so sind wir berechtigt, sie der Construction eines Photometers zu Grunde zu legen.¹⁾

Als lichtempfindliche Fläche diene eine Platte *P* (vgl. Fig. 5) von amalgamirtem Zink von 64 cm² Oberfläche. Wir wählten die Plattenform, da sie für die Messung von Entfernungen am bequemsten ist, ausserdem würde bei einer Kugel von gleicher Oberfläche ihr Gewicht sehr störend geworden sein. Die Platte *P* wird von einem Siegellackstücke *S* getragen, das rechtwinkelig an eine Holzleiste *LL'* angekittet ist. Von einem Holzkasten von etwa 1 m Länge und 100 cm² (nahezu quadratischem) Querschnitt ist der Deckel frei abnehmbar, die eine der kleinsten Seitenflächen enthält bei *F* ein kreisförmiges mit klarem Gypse verschlossenes Fenster von 2,5 cm Durchmesser. Die gegenüberliegende Wand ist bis auf eine schmale Leiste *MN* ganz entfernt, an dieser ist nach aussen ein Metallring *R* mittels eines Siegellackstäbchens *S'* befestigt. Die Leiste *LL'* lässt sich auf zwei an den Längswandungen des Kastens angebrachten Vorsprüngen, deren einer (*MQ*) in der Figur sichtbar ist, verschieben, *P* schwebt alsdann frei, ohne die Wände zu berühren, innerhalb des Kastens. Von *P* aus ist ein dünner Draht durch *R* gezogen, der durch das kleine Gewicht *G* gespannt erhalten wird. Von *R* führt die Drahtleitung zum Electrometer. Durch Verschieben von *LL'* lässt sich *P* an jede Stelle des Kastens bringen, je nach der Lage ist die Länge des Drahtstückes *RG* verschieden. Der Kasten ist inwendig überall geschwärzt und

1) Hierbei ist für die geringen in Betracht kommenden Entfernungen die Absorption des Ultraviolett in der Luft vernachlässigt.

kann, wenn P eingesetzt ist, durch den ebenfalls unten geschwärzten Deckel oben geschlossen werden.

Als electricischer Messapparat für die Abnahme des Potentials auf P dient ein Aluminiumblattelectroskop. Das Instrument trägt, wie das Exner'sche, eine willkürliche Millimeter-scala, der Werth der in Scalentheilen gemessenen Divergenzen wird durch Calibrirung mittelst einer vielpaarigen Kette ermittelt.

Die etwa 1 mm langen electricischen Funken, welche das zur Bestrahlung der Platte P dienende Licht lieferten, sprangen zwischen zwei in ein Funkenmikrometer eingesetzten Zink- oder Aluminiumspitzen in einer Entfernung von 1 cm vor dem Gyps Fenster F , und zwar hinter einer kreisförmigen Oeffnung einer 21 cm im Durchmesser haltenden Blechscheibe, an die sich ein Netz aus eng geflochtenem Eisendraht anschloss. Durch dies zur Erde abgeleitete Schirmsystem wurde, wie die Beobachtung zeigte, sowohl die electrostatische Einwirkung des Inductionsapparates, als auch der Einfluss des Funkenlichtes auf das Electroskop und die zu ihm führenden Drahtleitungen unmerklich gemacht. Der Unterbrechungshammer des Inductoriums war so eingestellt, dass er mit Schliessung des Hauptstromes sofort in Thätigkeit trat, der Funkenstrom also gleichzeitig vor der Oeffnung F einsetzte. Der Stromschluss wurde mittelst eines Quecksilbercontactes bewirkt, der in unmittelbarer Nähe des Beobachters eingeschaltet war.

Sollte beobachtet werden, so setzten wir die an ihrer Vorderseite frisch amalgamirte und mit Seidenpapier abgeriebene Zinkplatte P an einem durch den Siegelackträger S geführten Stahldrahte festgeschraubt mittelst der Leiste $L L'$ in den Dunkelkasten ein und brachten sie in eine durch einen Centimetermaassstab gemessene Entfernung r_1 von der Unterbrechungsstelle des Funkenmikrometers vor F . Dann wurde der Deckel des Kastens geschlossen und der Ring R durch einen Draht mit dem Exner'schen Electroskope verbunden, dessen Gehäuse zur Erde abgeleitet war. Vor dem Electroskope nimmt der Beobachter Platz und ertheilt demselben und dadurch auch der Zinkplatte P mittelst einer Zambonischen Säule eine statische negative Ladung, die eine gewisse Divergenz der Aluminiumblättchen bewirkt. Wir

wählten das Potential der Platte bei den meisten Versuchen von immer derselben Grösse und erreichten dies dadurch, dass wir an dem nach R führenden Drahte einen Leinenfaden frei herabhängend befestigten und mittelst dieses Halbleiters durch den angelegten Finger dem absichtlich zu stark geladenen Instrumente so lange Electricität entzogen, bis es bei der gewünschten Divergenz (25 Scalentheilen) einstand. Dann schliesst der Beobachter den Quecksilbercontact und lässt den Funkenstrom des Inductoriums eine an der Uhr gemessene Zeit (t'') vor F übergehen, nach Ablauf derselben wird der Contact unterbrochen. Alsdann liest man das Electroskop von neuem ab und findet nun eine je nach der Stellung der Platte P und der Expositionsdauer t verschiedene Abnahme der Divergenz, hervorgerufen durch die photoelectrische Zerstreuung. Stärkere Unregelmässigkeiten im Gange des Unterbrechers und in der Funkenfolge verrathen sich leicht dem Ohre, Messungsreihen, bei denen sie vorkamen, wurden verworfen. Es erübrigt nun noch, den Betrag der gewöhnlichen Electricitätszerstreuung (ohne Belichtung) zu bestimmen. Arbeitet man im Winter in geheizten Räumen, so ist selbst bei den grössten Expositionszeiten, die wir wählten (2'), der Einfluss derselben nicht oder kaum bemerkbar. V' (vergl. Formel) erweist sich als gleich V_0 , das Correctionsglied der Formel verschwindet.

Nachdem so die Ablesungen für eine bestimmte Entfernung (r_1) und Expositionsdauer (t_1) der Platte P ausgeführt sind, wird diese durch Verschiebung in einen anderen, ebenfalls gemessenen Abstand (r_2) von der Funkenstrecke gebracht, und wie zuvor die Abnahme des Potentials bei Belichtung beobachtet. Dann bringen wir sie in ihre Anfangslage zurück und wiederholen für diese die Messung, um eine etwaige Veränderung in der Lichtempfindlichkeit erkennen zu können. Liegen die zuerst und zuletzt gefundenen Zahlen nahe zusammen, was stets zutrifft, wenn keine zu lange Zeit (wenige Minuten) zwischen den Messungen verfloss, so sind wir sicher, dass die Platte constant geblieben ist. Es ist so für jede Lage der Platte P bestimmt worden: 1) die Expositionsdauer t , 2) die Entfernung r , 3) das Anfangspotential V_0 , 4) das nach t'' Belichtungszeit noch vorhandene Potential V und 5) wenn nöthig, für dieselbe Zeit der Betrag V' auf welchen

V_0 durch die gewöhnliche, nicht photoelectrische Zerstreuung herabsank. Wird also, wie festgesetzt, die Constante C/b gleich der Einheit genommen, so wird:

$$J = \frac{1}{t} \left\{ \log \frac{V_0}{V} - \log \frac{V_0}{V'} \right\}.$$

Durch Einsetzung der den abgelesenen Scalentheilen s_0, s, s' entsprechenden Werthe von V_0, V, V' für beide Stellungen der Platte (r_1 und r_2) sowie der Expositionsdauern t_1 und t_2 erhält man für J zwei Zahlenwerthe J_1 und J_2 und es müsste sich herausstellen, dass:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Wie schon oben bemerkt, war bei unseren Messungen im geheizten Zimmer die gewöhnliche Zerstreuung meist unmerklich (für $1-2'$) d. h. V' gleich V_0 , dann wird:

$$J = \frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V},$$

und da die Anfangsladung V_0 , wenn nichts besonders bemerkt wird, bei allen Versuchen die gleiche war, so sind V und t die einzigen, die Grösse von J bestimmenden Variabeln. Demnach ist:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{t_2}{t_1} \frac{\log \frac{V_0}{V_1}}{\log \frac{V_0}{V_2}} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

die durch die Beobachtungen zu bestätigende Gleichung.

Zur leichteren Handhabung der Formel legten wir uns eine Tabelle an, in welcher wir (in Brigg'schen Logarithmen) für die Anfangsladung $V_0 = 231$ Volt (25 Scalentheile) für jeden Scalentheil den Betrag von $\log V_0/V$ verzeichneten. Aus derselben Tafel entnimmt man auch, wenn es erforderlich, den Werth der Correction für die gewöhnliche Zerstreuung. Aus diesem Grunde würde es, wie schon früher erwähnt, unzumässig sein, die Correction mit dem Hauptgliede der Formel zu vereinigen. Natürlich ist die Tabelle auch für beliebige Anfangspotentiale brauchbar, man hat nur die der Anfangsladung entsprechende Zahl von der der Restladung zugehörigen abzuziehen.

Aus der grossen Zahl der zur Prüfung der Formel ausge-

fürten Beobachtungen heben wir an dieser Stelle nur eine Reihe hervor, die wir bei gleichzeitiger Veränderung der Expositionszeiten und der Entfernungen erhielten. Indem wir für eine bestimmte Entfernung und Expositionsdauer den Werth von $\log V_0 / V$ durch Beobachtung bestimmten und mittelst desselben den Betrag dieses Quotienten für eine andere Entfernung und Belichtungszeit berechneten, konnten wir aus der Calibrirungstabelle des Electroskops die zu erwartende Schlussdivergenz entnehmen und diese dann mit der beobachteten vergleichen. Messungen dieser Art sind in Reihe IV zusammengestellt.

Reihe IV. 12. November 1889.

Expositionsdauer t''	20	15	25	40
Entfernungen r	30	15	20	45
Divergenzen s { beobachtet . .	17,0	7,1	7,7	18,1
{ berechnet . .	—	7,0	7,7	17,8

Die in der ersten Verticalreihe aufgeführten Zahlen sind der Berechnung der Divergenzen für die folgenden zu Grunde gelegt. Die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung kann in Anbetracht der Genauigkeitsgrenze der Ablesung wohl als befriedigend bezeichnet werden.

Durch besondere Versuchsreihen überzeugten wir uns ferner davon, dass die zu den photometrischen Versuchen verwandten Zinkflächen durch den Process des Amalgamirens stets in nahe der gleichen Lichtempfindlichkeit wieder hergestellt werden können und dass der Einfluss der Temperatur der Luft, ihrer Dichtigkeit, des Feuchtigkeits- und Kohlensäuregehaltes, sowie ihres Bewegungszustandes in den Grenzen belanglos ist, innerhalb deren diese Veränderlichen in der freien Atmosphäre variiren. Nur das electriche Feld der Erde erfordert bei Messungen im Freien die Vorsicht, dass man die lichtempfindliche Zinkfläche entweder durch ein Geflecht aus Draht oder ein sie umgebendes, den Sonnenstrahlen paralleles Metallrohr schützt.

Die im Vorigen zum Theil angedeuteten, in den Wiener Berichten eingehend beschriebenen Versuche haben zu dem Ergebnisse geführt, dass es unter Anwendung gewisser Vorsichtsmassregeln möglich ist, mittelst der photoelectricen Zerstreuung

die Intensität derjenigen stark brechbaren Strahlen des Sonnenlichtes zu messen, welche auf Flächen amalgamirten Zinks electricisch entladend wirken.

Wir haben dem electricischen Actinometer je nach dem Zwecke, für den es bestimmt ist, zwei verschiedene Formen gegeben. Bei der ersten Construction sahen wir besonders darauf, dass es die gesammte Strahlung, der ein Punkt der Erdoberfläche ausgesetzt ist, zu messen erlaubte und, da es fortlaufenden, womöglich täglichen Beobachtungen dienen sollte, dass es leicht zu handhaben und stets zum Gebrauche bereit war. Wir richteten dieses als Standinstrument ein. Die zweite Form construirten wir für die Photometrie der eigentlichen Sonnenstrahlen unter möglichstem Ausschluss des Himmelslichtes; da dieser Apparat zu Beobachtungen an verschiedenen Orten bestimmt war, musste er transportabel sein.

Wir beschränken uns hier auf die Beschreibung des letzteren.

Das transportabele, für die Messung der eigentlichen Sonnenstrahlung construirte Photometer stimmt in seinen wesentlichen Theilen mit dem Standactinometer überein. Der lichtempfindliche Körper ist bei beiden eine Kugel aus amalgamirtem Zink von 13 mm Durchmesser, die von einem eingeschraubten Stahlstifte getragen wird. An einer auf drei Füßen ruhenden Eisenstange sind drei Klammern, K_1 K_2 K_3 , verstellbar. (Fig. 6) Die obere trägt das nach Exners Angaben construirte Electroskop. An der zweiten K_2 (mit Universalgelenk) ist das 20 cm lange und 3 cm weite innen geschwärzte Messingrohr R befestigt. Ueber die untere Oeffnung lässt sich mit Reibung eine Metallkappe N schieben, diese trägt in ihrer centralen Durchbohrung das gefirnisste Ebonitstück E , durch welches der Stift S der lichtempfindlichen Kugel K geführt ist. Die andere Oeffnung ist durch den Pappverschluss M gegen das Licht verschliessbar. Von dem Rohre R aus führt ein Leitungsdraht D nach dem Gehäuse des Electroskops. In die unterste Klammer K_3 ist ein Plattencondensator C von 133 cm² Oberfläche eingeklemmt, dessen Dielectrium aus einer Ebonitplatte, dessen Belegung aus Stanniol gebildet wird. Die eine Belegung steht mit dem Knopfe, die andere mit dem Gehäuse des Electroskops in leitender Verbindung. Die Belegungen sind zum

Schutze gegen Quecksilber und gegen Licht mit einer Lage schwarzen Firnisses überzogen. Der Zweck dieses Condensators ist, die Entladung der Photometerkugel durch das Licht so zu verlangsamen, dass man auch bei den stärksten Lichtintensitäten noch Expositionsdauern von 15" verwenden kann.

Um mit dem Apparate zu beobachten, entfernt man zunächst von dem Rohre *R* die beiden Verschlüsse, richtet dann dasselbe gegen die Sonne, indem man es so einstellt, dass sein Schatten auf einem dahinter gehaltenen Papiere als Kreisring von gleichförmiger Dicke erscheint. Die Kugel *K* wird frisch amalgamirt und, mit Seidenpapier blank gerieben, mittels der Fassung *N* in die Röhre *R* eingeführt, *S* mit dem Electroskope verbunden, und der Verschluss *M* aufgesetzt. Nun wird durch Vermittelung eines Leinenfadens in der oben angegebenen Art das Electroskop zu der Anfangsdivergenz s_0 negativ geladen, durch Abheben des Verschlusses *M* die Kugel eine gemessene Zeit (t) exponirt, und der Restbetrag s der Divergenz abgelesen. Die Sonnenhöhe wird mittels eines mit Schattenstift und Bleilot versehenen Theilkreises bestimmt.

Die Vorbereitungen zur Messung dürfen keine zu lange Zeit beanspruchen, weil sonst das Sonnenlicht am Schlusse nicht mehr nahezu axial in die Röhre *R* einfallen würde; durch Uebung ist bald eine gewisse Fertigkeit in den Handgriffen zu erreichen.

Nicht ohne Bedenken hatten wir uns zu dem Gebrauche des Ebonitcondensators entschlossen, wir fürchteten Schwierigkeiten in mangelhafter Isolation, sowie durch Rückstandbildung zu finden. Die erste Befürchtung ist, solange der Condensator nicht erwärmt ist, zutreffend, da aber der Apparat nur im Sonnenschein gebraucht wird, so sind wir ernstlichen Hindernissen nicht begegnet. Erfreulicherweise ist bei den Potentialdifferenzen, wie wir sie im Maximo anwandten, auch von Rückstandbildungen nichts wahrzunehmen, wie ja überhaupt diese im Ebonit relativ klein sind.

Wir stellten das transportable Actinometer in zwei Exemplaren her, die abgesehen von der verschiedenen Empfindlichkeit der Electroskope in allen Stücken möglichst übereinstimmten. Die beiden Instrumente wurden der Controlle wegen öfters gleichzeitig benutzt; ihre Angaben lagen sehr nahe bei einander.

Indem wir uns nun zu den Resultaten der photometrischen Beobachtungen wenden, schicken wir die mit dem Stand-actinometer erhaltenen voran.

Wir haben in dem Zeitintervalle von October 1889 bis 1891 die Lichtmessungen in stündlichen Terminen zu jeder Tageszeit vorgenommen, sobald es der Zustand der Atmosphäre zweckmässig erscheinen liess, d. h. vorzugsweise bei wolkenlosem Himmel, und nur dann, wenn die Sonne von Wolken frei war.

Wir theilen die Ergebnisse in graphischer Darstellung mit. Fig. 7, Taf. II stellt die Jahrescurve der Mittagsintensitäten, Fig. 8a und 8b die Tagescurven für die einzelnen Monate dar. Man erkennt, dass die Veränderlichkeit der ultravioletten Strahlung von Sonne und Himmel unter Mittag im Laufe eines Jahres im ganzen regelmässig ist mit dem Maximum in der zweiten Hälfte des Juni, dem Minimum in der entsprechenden des December, und zwar beträgt ersteres das 70—80fache des letzteren. Im übrigen ist der Verlauf in Bezug auf diese beiden Extreme nicht völlig symmetrisch, gleichen Sonnenhöhen entsprechen in dem Intervalle December—Juni im ganzen kleinere Werthe der Strahlung, als von Juni bis December (vgl. z. B. die Aequinoctien). Es verräth sich somit eine Art von Nachwirkung in Bezug auf die Transparenz der Luft in ähnlicher Weise, wie sie auch in der Abhängigkeit der Lufttemperatur von der Declination der Sonne zu Tage tritt. Bemerkenswerth sind zwei secundäre Minima, das eine im März, das andere im September.

In Fig. 8a und b tritt zunächst der sehr grosse Unterschied der Lichtmengen hervor, welche die Actinometerkugel in den Winter- und Sommermonaten empfängt, und wie bei dem jährlichen Verlaufe die *vor* dem höchsten Stande der Sonne beobachteten Werthe durchschnittlich niedriger, als die im gleichen Zeitabschnitte nachher gemessenen sind, so zeigen sich auch in der täglichen Variation die Nachmittagsintensitäten vielfach denen der entsprechenden Morgenstunden überlegen. Für die chemischen Strahlen ist diese Erscheinung schon von Hrn. Marchand zu Fécamp bemerkt worden.¹⁾

1) M. R. Radau, *Les Radiations chimiques du soleil*, Paris, Gauthier-Villars 1877. p. 71.

Auffallend ist das Vorrücken des Maximums in den Monaten März, April, September, October, in den beiden ersten findet sich sogar eine deutlich ausgeprägte Mittagsdepression vor. Verminderungen der Sonnenstrahlung zur Zeit der Culmination sind übrigens auch bei den calorimetrischen und bolometrischen Bestimmungen zu Tage getreten¹⁾.

Messungen mit dem transportablen Actinometer wurden nur dann unternommen, wenn der Zustand des Himmels eine über einige Stunden andauernde Klarheit versprach. Da diese Beobachtungen als Grundlage für die Bestimmung der Absorption des Ultraviolett in der Atmosphäre dienen sollten, mussten wir danach streben, an ein und demselben Tage bei möglichst verschiedenen Sonnenhöhen zu messen. Wir beschränkten uns daher auf die Monate Juni, Juli, August. Von den 106 Einzelbeobachtungen entfallen 64 auf Wolfenbüttel (Meereshöhe 80 m), 19 auf Kolm Saigurn (Meereshöhe 1600 m) und 23 auf den Sonnblickgipfel (Meereshöhe 3100 m). An den letzten Stationen maassen wir mit zwei Apparaten, die, wie oben schon bemerkt wurde, möglichst übereinstimmend gebaut waren und nur in der Empfindlichkeit und dem Ladungsbereiche der Electroscopie stark differirten. Da hierdurch zwar die Potentiale der Anfangs- und Schlussladung V_0 und V , nicht aber deren Verhältniss beeinflusst wird, so mussten die Instrumente nahe gleiche Zahlen für J ergeben.

Wir geben zwei Tabellen, von denen die eine den mittleren Verlauf der ultravioletten Strahlung der Sonne in runden Zahlen in den einzelnen Tagesstunden der Monate Juni und August in Wolfenbüttel enthält, während die andere denselben für den Monat Juli in Kolm-Saigurn und auf dem Sonnblick erkennen lässt; zum Vergleich ist in diese die Variation für den Juni in Wolfenbüttel nochmals aufgenommen. (Hierzu die graphische Darstellung, Fig. 9).

1) A. Crova et Houdaille, Annales de chim. et de phys. T. 21. p. 188. 1890.

Verlauf der Sonnenstrahlung im Juni und August in Wolfenbüttel.

Monat	7 a.	8	9	10	11	12 m.	1	2	3	4	5	6 p.
Juni	8	13	23	25	35	35	33	29	22	14	5	3
August	6	8	22	28	27	36	26	24	18	8	6	2

Intensität der ultravioletten Sonnenstrahlung.

	6 a.	7 a.	8 a.	9 a.	10 a.	11 a.	12 m.	1 p.	2 p.	3 p.	4 p.	5 p.	6 p.	Bemerkungen
Wolfenbüttel, 80 m	4	8	13	23	25	35	35	33	29	22	14	5	3	9., 10., 25., 28., 30. Juni 1890; sämtlich nicht völlig wolkenfrei. ¹⁾
Kolm-Saigurn, 1600 m	—	16	30	46	52	59	58	54	48	41	28	18	—	Sonne in grossen Wolkenlücken frei; 14. u. 15. Juli fast wolkenlose Tage.
Sonnblick, 3100 m	6	22	42	52	70	80	80	79	—	—	—	—	—	16., 17., 18. bis 12 m. fast wolkenlos; von 2 p. ab stark bewölkt.

1) In der Originalabhandlung steht durch ein Versehen: „sämtlich bewölkt“ statt „nicht völlig wolkenfrei“.

Die Verwerthung dieser Resultate zur Bestimmung der Transparenz der Atmosphäre für ultravioletes Licht bleibt dem vierten Abschnitt vorbehalten.

§ 3. Die Abhängigkeit des Potentialgefälles von der ultravioletten Sonnenstrahlung.

Die Tagesmittel der lufoelectrischen Beobachtungen, sowie die um Mittag gemessenen Intensitäten der ultravioletten Sonnenstrahlung bilden die Grundlage für die Prüfung der anfangs genannten Auffassung, nach welcher die Veränderlichkeit des Potentialgefälles an der Erdoberfläche eine Folge der lichtelectrischen Einwirkung der Sonne sein würde. Es war daher zunächst der Versuch zu machen, in dem gleichzeitigen Gange dieser Veränderlichen eine Gesetzmässigkeit zu erkennen. Zunächst zeigt sich, dass im allgemeinen mit zunehmender Stärke der Sonnenstrahlung das Potentialgefälle sinkt. Diese Abhängigkeit ist schon von anderen Beobachtern und an verschiedenen Orten der Erde festgestellt und findet ihren Ausdruck in der jährlichen Periode der atmosphärischen Electricität, sie braucht aber nicht nothwendig auf einen *unmittelbaren* Zusammenhang mit der Sonnenstrahlung gedeutet werden. Eine genauere Erkenntniss dieser Correspondenz ergibt sich, wenn man das vorliegende electrometrische und photometrische Material zu Mittelwerthen zusammenfasst, die bei nahe gleicher Mittagshöhe der Sonne gewonnen wurden und sich über Zeiträume von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Monat erstrecken. Dabei haben wir die am Standactinometer gewonnenen Zahlen so reducirt, dass sie — in erster Annäherung — den auf die Flächeneinheit der Erdoberfläche entfallenden Lichtmengen proportional werden. (Bezüglich dieser Umrechnung muss auf die Originalarbeit verwiesen werden). Man erhielt so die graphische Darstellung Fig. 10.

Während der Gang des Photometers im ganzen regelmässig ist, mit dem Maximum Ende Juni, dem Minimum Ende December, verläuft das Potentialgefälle schwankend in der zweiten Hälfte des Februar, im Anfange des März, des Octobers und der Mitte des Novembers. Ob diese Unregelmässigkeiten zufälliger oder constanter Art sind, würde erst durch länger ausgedehnte Beobachtungsreihen zu entscheiden sein. (In den

Monatsmitteln. vgl. Fig. 1, gleichen sich diese Schwankungen fast aus.)

Stellt man die zusammengehörigen Werthe der Sonnenstrahlung J und des Potentialgefälles zusammen, so erhält man folgende Uebersicht:

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
J	2,9	5,8	9,1	21,4	58,8	77,1	113,7	121,9	181,3	194,5	268,4
$\frac{dr}{dn}$	445	430	368	325	198	181	138	126	120	106	102

Die Art der Abhängigkeit zwischen dv/dn und J legt den Gedanken nahe, ein Gesetz, durch welches die beiden Veränderlichen verknüpft sind, nach Analogie der Exner'schen Gleichung zu muthmaassen. Schliesst man die obengenannten Stellen unregelmässigen Charakters aus, so lassen sich die Beobachtungen durch die Gleichung:

$$\frac{dv}{dn} = \frac{470}{1 + 0.02 J}$$

angenähert darstellen.

J	$\frac{dv}{dn}$ berechnet	$\frac{dr}{dn}$ beobachtet	J
2,9	444	445	+ 1
5,8	421	430	+ 9
9,1	398	368	- 30
21,4	329	325	- 4
58,8	216	198	- 18
77,1	185	181	- 4
113,7	144	138	- 6
121,9	137	126	- 11
181,3	102	120	+ 18
194,5	96	106	+ 10
268,4	74	102	+ 28

Vorstehende Tabelle (graphisch dargestellt in Fig. 11) enthält die nach dieser Gleichung construirte Curve, sowie die den Beobachtungen selbst entsprechende; die durch Kreuze markirten Stellen der Figur bezeichnen die bei Berechnung der Curve ausgeschlossenen Punkte.

Die Darstellung der Beobachtungen durch die bezeichnete Formel kann in Anbetracht der Empfindlichkeit luftelectricischer Messungen gegen störende Einflüsse als einigermassen befriedigend gelten.

Bei der oben durchgeführten Rechnung war die ungleiche Dauer der Insolation des Erdbodens in den verschiedenen Abschnitten des Jahres nicht berücksichtigt. Man kann diese dadurch in Betracht ziehen, dass man jede der Zahlen J mit einem Factor multiplicirt, der der Länge des Beobachtungstages proportional ist. Auch durch dies Produkt (J') lässt sich mittels einer ähnlichen Formel die Veränderlichkeit von dv/dn , wenn auch weniger gut, wiedergeben.

Wir glauben somit aussprechen zu dürfen, dass eine durch empirische Formeln ausdrückbare Beziehung zwischen den Tagesmitteln des atmosphärischen Potentialgefälles und der Mittagsintensität der ultravioletten Sonnenstrahlung besteht, durch welche für gegebene Werthe des letzteren das erstere mit einem ziemlich befriedigenden Grade der Annäherung dargestellt werden kann. Ob beide Grössen durch eine dritte noch unbekannte unabhängige Variable bestimmt sind, oder ob sie unmittelbar im Verhältnisse von Wirkung und Ursache stehen, ist aus den Beobachtungen allein nicht zu entscheiden. Hierzu sind bestimmte, womöglich experimentell festgestellte Thatsachen erforderlich. Wir glauben eine solche in der Eigenschaft des Lichtes zu erkennen, den Uebergang negativer Electricität von belichteten Oberflächen auf die sie umhüllenden Gase zu bewirken. Soll diese Wirkung des Lichtes auf die Erdoberfläche als Ursache des Zusammenhanges zwischen Sonnenstrahlung und Luftpotelectricität betrachtet werden dürfen, so ist zuerst zu zeigen, dass die Erdoberfläche mit negativer Electricität geladen ist, und dann, dass das Sonnenlicht im Stande ist, solchen Substanzen, aus denen die Erdrinde sich zusammensetzt, eine negative Ladung zu entziehen.

Es darf gegenwärtig wohl kaum ein Zweifel an der ersten Behauptung laut werden; soweit electriche Beobachtungen vorliegen, ist das Potentialgefälle bei heiterem Himmel — und um dieses handelt es sich ja nur bei vergleichenden Beobachtungen mit der Intensität des Sonnenlichtes — an den verschiedensten Orten fast ausnahmslos positiv gefunden, d. h. die Erdoberfläche ist mit einer Schichte negativer Electricität bedeckt. Bekanntlich ist dies schon von Erman und Peltier ausgesprochen worden und neuerdings durch Hrn. Exner wohl endgültig festgestellt.

Was den zweiten Punkt anbelangt, die Möglichkeit des Transportes dieser negativen Electricität von der Erdoberfläche in die Luft unter dem Einfluss des Sonnenlichtes, oder die Frage nach der photoelectrischen Empfindlichkeit des Erdbodens selbst, so glauben wir eine solche für mehrere Mineralien, welche einen Theil derselben bilden, nachgewiesen zu haben.¹⁾ Wenn auch die mit Wasser und Vegetation bedeckten Gebiete der Erde hinsichtlich ihres lichtelectrischen Verhaltens noch als zweifelhaft anzusehen sind, so dürfte es doch nicht irrationell sein, die Hypothese zu wagen, dass die Erdoberfläche, im ganzen betrachtet, während der Insolation negative Electricität an die Atmosphäre abgibt. Im Sinne dieser Hypothese möchten wir die Grundlage der von Hrn. Arrhenius aufgestellten Theorie der atmosphärischen Electricität modificirt wissen, die in der von ihrem Urheber gegebenen Form mit den neuen photoelectrischen Untersuchungen nicht verträglich ist. Nicht die Luft selbst wird, wie Hr. Arrhenius meinte, durch Bestrahlung mit Sonnenlicht electrolytisch leitend, sondern eine in Luft eingeführte electrisirte Oberfläche kann, wenn sie von geeigneter (empfindlicher) Art ist und ihre Ladung das negative Zeichen hat, sobald sie selbst vom Sonnenlichte getroffen wird, diese Electricität an die Luft abgeben.

Wesentlich ist für diese Auffassung, das betonen wir nochmals, das *negative* Zeichen der Erdladung, da die photoelectrische Zerstreuung, wie es scheint, zu den streng unipolaren Erscheinungen gehört und nur von einer belichteten *Kathode* aus erfolgt.

Der erste Schluss, den wir aus unserer Voraussetzung ziehen, ist der, dass nach genügend langer Insolation jede Ladung der Erdoberfläche auf einen Betrag von beliebig kleiner Grösse herabsinken müsste, wenn nicht andere Ursachen da sind, durch welche für die in die Luft entwichene Electricität dem Erdkörper wieder Ersatz zugeführt wird. Die Electricität würde eben solange unausgesetzt von der Erdoberfläche in die Luft entweichen und in dieser der Richtung der electrischen Kraftlinien folgen, bis ihre Flächendichtigkeit am Erdboden auf Null herabgesunken ist. Thatsächlich beobachtet man nun

1) J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 44. p. 722. 1891.

aber, das in gleichen Tages- und Jahreszeiten das Potentialgefälle an demselben Erdorte nahe die gleiche Intensität zeigt, d. h. es muss eine Ursache existiren, welche etwa das gleiche Quantum negativer Electricität, das unter dem Einflusse des Sonnenlichtes in einer bestimmten Zeit in die Luft entweicht, der Erde wieder zurückerstattet. Nimmt man an, dass die einmal in die Luft eingedrungene Electricität sich allmählich in den Weltraum zerstreut, so müsste eine unbekannte kosmische Ursache herangezogen werden, welche das Potentialniveau der Erdoberfläche nahezu constant erhält. Ohne diese Möglichkeit, die an sich nicht unwahrscheinlich ist, ausschliessen zu wollen, möchten wir sie für die folgende Betrachtung nicht zulassen, sondern hierbei die einfachere von Hrn. Arrhenius angenommene und im ganzen plausible Vorstellung zu Grunde legen, dass die atmosphärischen Niederschläge die in der Luft enthaltene negative Electricität (für die ganze Erde betrachtet in nahezu stationärer Weise) der Erdoberfläche wieder zuführen.¹⁾ Hiernach dringt also die Bodenelectricität nur bis in solche atmosphärischen Schichten vor, in denen noch eine Condensation des Wasserdampfes möglich ist, und die Gesamtladung der Erde muss eine constante sein.

Wäre die Erdatmosphäre nicht vorhanden, so würde die Dichtigkeit der Electricität auf der Erdoberfläche (von Unebenheiten sehen wir ab) überall dieselbe sein, wir wollen sie mit ρ bezeichnen. Da die Höhe der atmosphärischen Schichten, bis zu denen die Bodenelectricität vordringt, jedenfalls sehr klein gegen den Erdradius ist, so wird man als angenäherte Gleichgewichtsbedingung die aufstellen können, dass die Summe der Electricitätsmengen, welche die Flächeneinheit der Erdoberfläche und die über ihr lagernde Luft enthält, constant und derjenigen gleich ist, welche die Flächeneinheit der ohne Atmosphäre gedachten Erde bedecken würde. Bezeichnen wir die electricische Dichtigkeit auf dem Erdboden mit ρ_e , die in

1) Zur Erklärung der electricischen Erscheinungen während des Falles von Niederschlägen (insbesondere der Gewitterelectricität) reicht diese Annahme *nicht* aus. Vgl. J. Elster u. H. Geitel, Beobachtungen, betreffend die electricische Natur der atmosphärischen Niederschläge. Wien. Ber. 99. IIa. p. 421. 1890.

der darüber lagernden Säule der Atmosphäre enthaltene Electricitätsmenge mit q_A , so muss $q_e + q_A = q$ sein.

Bezeichnet man den Werth von q_e bei Sonnenaufgang mit $q_{1\varepsilon}$, den bei Sonnenuntergang mit $q_{2\varepsilon}$, so wird unter der Annahme, dass während des Tages nur eine *Verticalbewegung* der Electricität stattfindet, die im Laufe des Tages in die Luft übergetretene Electricitätsmenge $q_{1\varepsilon} - q_{2\varepsilon}$ sein. Wir setzen diese proportional dem Mittelwerthe $q_{\mu\varepsilon}$ für den betreffenden Tag, der mittäglichen Strahlungsintensität J und der Zeit T zwischen Sonnenauf- und Untergang, d. h. wir nehmen an, dass:

$$q_{1\varepsilon} - q_{2\varepsilon} = \kappa J q_{\mu\varepsilon} T.$$

Da nun angenähert:

$$q_{1\varepsilon} + q_{2\varepsilon} = 2 q_{\mu\varepsilon}$$

ist, so folgt:

$$2 q_{1\varepsilon} = q_{\mu\varepsilon} (2 + \kappa J T)$$

und daher:

$$q_{\mu\varepsilon} = \frac{2 q_{1\varepsilon}}{2 + \kappa J T} = \frac{q_{1\varepsilon}}{1 + \frac{\kappa}{2} J T}.$$

$J T$, das Product aus Tageslänge und Mittagsintensität ist schon oben eingeführt, bezeichnen wir es mit J' und $\kappa/2$ mit κ' , so wird:

$$q_{\mu\varepsilon} = \frac{q_{1\varepsilon}}{1 + \kappa' J'},$$

und da

$$\frac{dv}{dn} = -4\pi\varrho,$$

so wird:

$$\left(\frac{dv}{dn}\right)_{\text{Mittel}} = \frac{\left(\frac{dv}{dn}\right)_1}{1 + \kappa' J'},$$

wo $(dv/dn)_1$ den zu Sonnenaufgang beobachteten Werth des Potentialgefälles bedeutet.

Nimmt man an, dass selbst zur Zeit des Sommersolstitiums die Länge der Nacht in unseren Breiten ausreicht, um die am vorigen Tage in die Luft eingedrungene negative Electricität durch Convection nach Niederschlagsgebieten völlig zu entfernen, so wäre $q_{1\varepsilon} = q$ und (dv/dn) bedeutete dann das Maximum A des erreichbaren Potentialgefälles. Dann wäre die Formel:

$$\frac{dv}{dn} = \frac{A}{1 + \kappa' J'}$$

ohne weiteres für beliebige Jahreszeiten anwendbar.

Die Möglichkeit, die Beobachtungen durch eine Formel dieser Art in gewisser Annäherung wiederzugeben, ist demnach vielleicht nicht zufällig; doch möchten wir dieser Uebereinstimmung in Anbetracht der Unvollkommenheit der Messungen kein grosses Gewicht beilegen. Unsere Absicht war nur zu zeigen, dass gewisse einfache Voraussetzungen über die Art der photoelectrischen Einwirkung der Sonne auf die Erde eine Veränderlichkeit des atmosphärischen Potentialgefälles ergeben, die der beobachteten wenigstens nicht widerspricht.

In erster Linie betrachten wir unsere Formeln als empirische und bemerken, dass wir auch der Gleichung des Hrn. Exner von demselben Standpunkte aus Werth beilegen. Ist doch mit ihrer Aufstellung der erste erfolgreiche Versuch gemacht, eine Gesetzmässigkeit in dem Gange der Luftpotelectricität zu erkennen. Allerdings scheint uns der experimentelle Beweis für die Richtigkeit der Grundhypothese des Hrn. Exner, dass die negative Bodenelectricität durch den *Wasserdampf* von der Erdoberfläche in die Luft getragen werde, nicht erbracht zu sein. In dieser Beziehung verdient unserer Meinung nach die photoelectrische Theorie entschieden den Vorzug, wenn auch eingeräumt werden muss, dass bei dieser ein grosser Theil der Einfachheit wegfällt, welche die des Hrn. Exner auszeichnet.

Diese Zurückhaltung, die wir uns gegenüber der theoretischen Verwerthung unserer Resultate auferlegen, ist zum Theil noch durch folgende Erwägung veranlasst.

Die Intensität der ultravioletten Sonnenstrahlung wurde an Kugeln von amalgamirtem Zink gemessen; die so gefundenen Zahlen gingen alsdann in eine Formel für das Potentialgefälle in der freien Atmosphäre ein, d. h. sie wurden angewendet auf einen photoelectrischen Vorgang, in welchem die Erde die Rolle des lichtempfindlichen Körpers spielt. Es ist von vornherein nicht abzusehen, ja vielleicht nicht einmal wahrscheinlich, dass die am Zinkphotometer gefundenen Zahlen gleichzeitig den Gradmesser für die electriche Einwirkung der Sonne auf die Erdoberfläche liefern. Soweit die recht schwierigen photoelectrischen Untersuchungen an Mineralien erkennen

liessen, wirken auf diese Körper schon Strahlen von so grosser Wellenlänge merklich ein, die am Zink im Vergleich mit den kurzwelligen sehr zurücktreten.

Es ist daher vielleicht möglich, dass unsere für die ultraviolette Strahlung der Sonne gefundenen Zahlen, wenn man nach ihnen die Stärke der lichtelectrischen Wirkung auf den Erdkörper abschätzen will, keinen richtigen Maassstab bieten, und zwar in der Weise, dass die sommerlichen Intensitäten im ganzen zu hoch, die des Winters zu niedrig gefunden sein würden.

Wenn thatsächlich unter dem Einflusse des Sonnenlichtes negative Electricität von der Erde aus in die Atmosphäre eindringt, so muss die Menge derselben von zwei Factoren, der augenblicklichen Flächendichte an dem in Betracht gezogenen Punkte und der auf denselben entfallenden Lichtintensität abhängig, und zwar dem Producte beider Grössen proportional sein. Diese Producte lassen sich nun aber aus der täglichen und jährlichen Variation der ultravioletten Strahlung und des Potentialgefälles (da letzteres der Flächendichte proportional ist) leicht bilden. Führt man diese Rechnung nach der Formel $(dv/dn)J/100$ aus, so erhält man in den so gefundenen Zahlen ein Maass für die Intensität eines positiven electrischen Stromes, der am Beobachtungsorte in der Atmosphäre absteigt. Fig. 12 und 13 stellen den jährlichen und täglichen Verlauf (den letzteren für die Monate Juni und December) dar.

Es ist einleuchtend, dass ein solcher Strom electromagnetische Wirkungen ausüben muss, d. h. man erkennt die Möglichkeit, aus seinen Schwankungen Aufschluss über die Variation der magnetischen Elemente zu erhalten.

Wir fügen hinzu, dass nach einer Untersuchung des Hrn. A. Schuster¹⁾ die tägliche Variation der magnetischen Elemente thatsächlich gedeutet werden kann unter der Annahme electrischer Ströme in der Atmosphäre, die von dem Sonnenstande abhängig sind.

Eine eigenthümliche Beziehung zwischen der ultravioletten Sonnenstrahlung und dem Wasserdampfgehalte der Luft möge

1) A. Schuster, Phil. Trans. of the Roy. Soc. of London. **80.** A. p. 467—518. 1889.

noch kurz Erwähnung finden. Im allgemeinen wird nämlich die ultraviolette Strahlung der Sonne um so höher gefunden, je reicher die Luft an Wasserdampf ist; es kommen Steigerungen bis auf den doppelten Betrag bei gleicher Sonnenhöhe vor. Diese Wirkung der atmosphärischen Feuchtigkeit erscheint so paradox, dass wir zunächst einen Fehler in der Messungsmethode vermutheten. In der That, mag man dem Wasserdampfe auch eine vollständige Transparenz für das ultraviolette Licht beilegen, so kann man doch bei dem relativ geringen Procentsatz, den derselbe auch im extremen Falle vom Gesamtvolumen der Luft ausmacht, seiner Anwesenheit allein eine so beträchtliche Steigerung der Durchlässigkeit der Luft nicht zuschreiben. Der naheliegende Einwand, dass die licht-electrische Entladung an sich eine Beschleunigung erführe, falls die Zinkkugel des Actinometers von *feuchter* Luft umspült wird, kann nicht erhoben werden, da bei Verwendung von Funkenlicht sich eine Zunahme der Entladungsgeschwindigkeit bei Vertauschung von trockener mit feuchter Luft nicht nachweisen liess.

Ebensowenig lässt sich die beobachtete grössere Intensität der ultravioletten Strahlung bei höherem Dampfgehalt auf einen Einfluss der Temperatur auf die Empfindlichkeit der Zinkkugel zurückführen. Die Aenderungen derselben sind nach Versuchen an künstlich erwärmten Zinkflächen innerhalb des in der Natur vorkommenden Temperaturintervalls viel zu gering, als dass daraus ein derartiges Anwachsen der Lichtintensität als ein scheinbares erklärt werden könnte.

Schliesslich liegt es noch nahe, zu vermuthen, dass an feuchten Tagen die in dem Actinometer vorhandenen isolirenden Stützen eine grössere Electricitätsmenge entführten, als an Tagen geringen Dampfgehaltes. Gegenüber diesem Einwande ist zu bemerken, dass selbst an den feuchtesten Tagen dieser Betrag im Zeitraum *einer* Minute höchstens zwei Scalentheile betrug, während die Intensitätsbestimmung meist nur 5—10 Secunden in Anspruch nahm. Dass obiger Verlust nicht unberücksicht gelassen wurde, ist schon früher dargethan.

Hierzu kommt noch, dass Hr. Roscoe¹⁾ für die *chemisch*

1) Radau, l. c. p. 57.

wirksamen Strahlen der Sonne ein ähnliches Verhalten schon vor einer Reihe von Jahren nachgewiesen hat. Er fand unter sonst gleichen Verhältnissen die Intensität dieser Strahlen grösser bei hoher als bei niedriger Lufttemperatur und schrieb diese Anomalie der Verminderung der Opalescenz der Atmosphäre mit steigender Temperatur zu. Nun ist aber die Atmosphäre in unserem Klima durchschnittlich um so wasserdampfreicher, je höher ihre Temperatur. Wir halten es deshalb für sehr wahrscheinlich, dass Hr. Roscoe derselben Erscheinung gegenüberstand und nur in der Angabe der Ursache von uns abweicht. Wir glauben daher die grössere Transparenz der Atmosphäre bei hohem Feuchtigkeitsgehalte als Thatsache betrachten zu dürfen; auch scheint uns ihre Erklärung keineswegs grossen Schwierigkeiten zu begegnen.

Aus den Untersuchungen von Kiessling, Aitken u. a. ist bekannt, dass die Condensation des Wasserdampfes in der freien Luft an das Vorhandensein feinsten in der Luft schwebender Staubpartikelchen gebunden ist. Die Atmosphäre wird daher um so mehr zur Nebelbildung neigen, je mehr Wasserdampf und feinen Staub sie enthält. Herrscht nun bei hoher Luftfeuchtigkeit klarer Himmel — und das ist die Vorbedingung aller actinometrischen Messungen — so ist dies im allgemeinen als ein Anzeichen geringen Staubgehaltes anzusehen. Mit anderen Worten: Bei hohem Feuchtigkeitsgehalt der Luft hat man entweder bedeckten Himmel, dann enthält die Atmosphäre viel Staubkerne, oder wolkenlosen, dann ist sie relativ staubfrei. Tage mit bedecktem Himmel kommen aber für uns nicht in Betracht. Das Fehlen des Staubes an Tagen letzterer Art bedingt dann die gesteigerte Transparenz der Atmosphäre für ultraviolettes Licht.

§ 4. Ueber die Absorption des ultravioletten Sonnenlichtes in der Erdatmosphäre.

Die sehr beträchtlichen Unterschiede in der Intensität des ultravioletten Sonnenlichtes, die wir mittelst des electricen Actinometers für verschiedene Sonnenhöhen fanden, eröffneten die Möglichkeit, auf dem Wege directer Beobachtung die Absorption dieser Strahlen in der Atmosphäre zu bestimmen.

Wir haben zu diesem Zwecke in Wolfenbüttel in den

Monaten Juni und August, in Kolm-Saigurn und auf der Sonnblickstation im Juli 1890 die ultraviolette Sonnenstrahlung mittelst des transportablen Actinometers in stündlichen Intervallen gemessen.

Bezeichnet man mit J_0 die Intensität eines monochromatischen Lichtstrahles, der ein absorbirendes homogenes Medium trifft, mit z die Wegstrecke, die er darin zurückgelegt hat, mit J die Intensität am Ende dieser Wegstrecke, so ist bekanntlich:

$$J = J_0 a^z.$$

a ist kleiner als Eins und bedeutet denjenigen Bruchtheil, der am Ende des Weges 1 von der ursprünglichen Intensität noch übrig geblieben ist.

Der Betrag von a ist im Allgemeinen für verschiedene absorbirende Mittel und Strahlengattungen verschieden, wir wollen im Folgenden die — für die Rechnung ausserordentlich vereinfachende — Voraussetzung machen, dass in der Atmosphäre für jede Strahlengattung *des* ultravioletten Lichtes, das auf die Zinkkugel des Photometers wirkt, diese Zahl von derselben Grösse sei. Ob die Beobachtungen sich dieser Annahme fügen, muss die Rechnung ergeben.

Aus mindestens zwei unabhängigen Beobachtungen liessen sich nun, die Kenntniss von z für jede Sonnenhöhe vorausgesetzt, mittelst der Gleichungen:

$$J_1 = J_0 a^{z_1}$$

$$J_2 = J_0 a^{z_2}$$

sowohl a wie J_0 , d. h. der Transparenzcoefficient der Luft und die and der oberen Grenze der Atmosphäre herrschende Intensität bestimmen. Den Betrag von z ermittelten wir für jede Sonnenhöhe nach einem in der Originalarbeit näher erörterten Verfahren.

Um zu erkennen, wie weit die Beobachtungen durch die genannte Formel darstellbar sind, wurden die Coefficienten der hieraus resultirenden Gleichung:

$$\log J = \log J_0 + z \log a$$

nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Die so gefundenen Werthe von $\log J_0$ und $\log a$ dienten alsdann zur

Berechnung von J für dieselben Sonnenhöhen, für welche Beobachtungen vorlagen; die Differenzen zwischen Beobachtung Rechnung sind an jeder Stelle hinzugefügt.

Wir geben zunächst die Verwerthung der Wolfenbüttler Beobachtungen.

I.

Wolfenbüttel (Seehöhe 80 m). 25. Juni 1890.

Sonnenhöhe (θ)	Reducirte Weglänge (α)	J (beobachtet)	J (berechnet)	Differenz
12°	4,64	1,3	1,1	+ 0,2
18 $\frac{1}{2}$ °	3,01	4,2	5,2	- 1,0
24°	2,43	7,7	9,2	- 1,5
39°	1,57	22,2	21,3	+ 0,9
52 $\frac{1}{2}$ °	1,25	29,4	29,3	+ 0,1
58 $\frac{1}{2}$ °	1,16	34,2	31,9	+ 2,3
61°	1,13	39,9	32,8	+ 7,1

Formel: $\log J = 1,9976 - 0,42561 z$.

Hieraus berechnet: $J_0 = 99,45$, $a = 0,375$.

II.

18. August 1890.

Sonnenhöhe (θ)	Reducirte Weglänge (α)	J (beobachtet)	J (berechnet)	Differenz
20°	2,87	6,3	5,2	+ 1,1
27°	2,18	7,7	10,5	- 2,8
38°	1,61	17,6	18,8	- 1,2
45°	1,40	19,4	23,2	- 3,8
48°	1,33	29,2	24,9	+ 4,3
50 $\frac{1}{2}$ °	1,28	31,6	26,1	+ 5,5

Formel: $\log J = 1,9848 - 0,44246 z$

Hieraus berechnet: $J_0 = 96,6$, $a = 0,361$.

Zu den Messungen in Kolm-Saigurn und auf dem Sonnblick ist folgendes zu bemerken. Am 15. Juli war die Luft von auffälliger Durchsichtigkeit während der ganzen Dauer der Beobachtungsreihe. Auch am 17. Juli Morgens war auf dem Sonnblick der Himmel völlig rein und die Fernsicht ungehindert, erst gegen 11 $\frac{1}{2}$ Uhr trat eine leichte Trübung ein. Am 18. blieb bis 9 Uhr morgens der Himmel nahe wolkenlos, von da an nahm die Bewölkung zu; abends und nachts hatten wir starkes Gewitter. Wir bezeichnen hiernach als die besten Reihen die vom 15. und 17. Juli.

Die Beobachtungen in den Alpen geschahen, wie in Wolfenbüttel, auf einem im Freien stehenden Tische. Für gute Erdleitung war durch einen Draht gesorgt, der bei den Messungen in Kolm in eine fest auf den feuchten Erdboden gepresste Metallplatte endigte, auf dem Sonnblick zu dem Blitzableiter des Stationsgebäudes führte. Wie schon bemerkt wurde, beobachteten wir mit zwei Instrumenten gleichzeitig; der Rechnung legten wir die Mittel der Ablesungen zu Grunde.

Man erhält so die Tabellen:

III.

Kolm-Saigurn (Seehöhe 1600 m) 15. Juli 1890.

Sonnenhöhe (Θ)	Red. Weglänge (z)	J (beob.)	J (ber.)	Differenz
26	1,87	15,7	15,5	+ 0,2
36	1,39	30,5	31,0	- 0,5
$45\frac{1}{2}$	1,15	44,7	44,4	+ 0,3
$56\frac{1}{2}$	0,98	55,3	56,6	- 1,3
$62\frac{1}{2}$	0,92	61,5	61,7	- 0,2
64	0,91	65,0	62,8	+ 2,2

Formel: $\log J = 2,3767 - 0,63533 z$.

Hieraus berechnet: $J_0 = 238,1$, $a = 0,231$.

IV.

Sonnblick (Meereshöhe 3100 m) 17. Juli 1890.

Sonnenhöhe (Θ)	Red. Weglänge (z)	J (beob.)	J (ber.)	Differenz
18	2,16	13,3	12,7	- 0,4
24	1,65	23,5	25,1	- 1,6
34	1,21	45,4	45,5	- 0,1
45	0,96	59,8	64,1	- 4,3
54	0,84	77,0	75,5	+ 1,5
62	0,77	88,1	83,0	+ 5,1

Formel: $\log J = 2,3693 - 0,58662 z$.

Hieraus berechnet: $J_0 = 234,0$, $a = 0,259$.

V.

Sonnblick (Meereshöhe 3100 m) 18. Juli 1890.

Sonnenhöhe (Θ)	Red. Weglänge (z)	J (beob.)	J (ber.)	Differenz
13	2,92	6,6	5,7	+ 0,9
24	1,65	20,6	26,4	- 5,8
34	1,21	37,8	44,7	- 6,9
45	0,96	55,6	60,5	- 4,9
55	0,83	83,6	70,8	+ 12,8
62	0,77	92,4	76,1	+ 16,3

Formel: $\log J = 2,2811 - 0,5206 z$.

Hieraus berechnet: $J_0 = 191,0$, $a = 0,302$.

Sieht man von dem 18. Juli ab, an dem sich die stärksten Abweichungen von Beobachtung und Rechnung zeigen, und der, da schon früh Wolkenbildung und Abends Gewitter eintrat, wahrscheinlich schon am Morgen keine normale Schichtung der Luft aufwies, so erkennt man, dass die Darstellbarkeit der beobachteten Lichtintensitäten durch die Formel befriedigend genannt werden darf. Bemerkenswerth ist, dass die Mittagswerthe durchweg etwas höher sind, als die Formel verlangt. Dagegen ist überraschend die grosse Verschiedenheit der für J_0 und a aus den Beobachtungen im Tieflande und im Gebirge abgeleiteten Zahlen. Während der Transparenzcoefficient a in Wolfenbüttel etwa 0,37 beträgt, sinkt er in Kolm-Saigurn und auf dem Sonnblick auf 0,24, zugleich steigt J_0 (die im willkürlichen Masse gemessene „Solarconstante“ der ultravioletten Strahlung) von 98 auf 236. Wäre das Absorptionsgesetz $J = J_0 a^z$ von unbedingter Giltigkeit, so könnte der Transparenzcoefficient nicht von der Meereshöhe des Beobachtungsortes abhängen, und es müsste aus Messungen an beliebig gewählten Stellen der Atmosphäre der Grenzwert J_0 als eine und dieselbe Zahl resultiren.

Der grosse Unterschied in den Werthen von J_0 und a beweist also, dass jene Voraussetzung unzutreffend ist. In der That liegt kein zwingender Grund zu der Annahme vor, dass das auf die Zinkkugel wirkende Licht etwa monochromatisch sei, ist es ein Gemisch von Strahlen verschiedener Wellenlänge und verschiedener Absorptionsfähigkeit, so kann seine Schwächung nicht durch eine Formel von der Gestalt $J = J_0 a^z$ dargestellt werden. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, es bestände aus zwei monochromatischen Componenten, deren eine viel stärker als die andere absorbiert wird, so müsste die Formel:

$$J = J_{01} a_1^z + J_{02} a_2^z,$$

zur Wiedergabe der Beobachtungen genügen. Hierin möge, entsprechend unserer Annahme, a_2 beträchtlich kleiner als a_1 , J_{01} und J_{02} aber von gleicher Grössenordnung sein. Dann wird für grosse z , das letzte Glied der Formel gegen das erste vernachlässigt werden können, für kleine dagegen erheblich ins Gewicht fallen. Es lagern sich also in diesem Beispiele zwei Exponentialcurven übereinander, deren eine mit wachsendem

z viel steiler abfällt, als die andere. Infolgedessen wird für kleine Werthe von z die Ordinate (J) der resultirenden Curve grösser, als es dem reinen Exponentialgesetze $J = J_0 a^z$ entsprechen würde, während für mittlere und grosse z der Anschluss befriedigend sein kann. Auf die Beobachtungen angewandt, würden diese Schlüsse zu folgendem Ergebnisse führen: Misst man die Lichtintensitäten an demselben Orte zu verschiedenen Tageszeiten, so müssen die Mittagswerthe (entsprechend dem Minimum von z) grösser ausfallen, als die berechnete Formel ergibt, vergleicht man ferner Beobachtungen von zwei in verschiedener Höhe gelegenen Stationen, so müssen die der höheren stärkere Intensitäten anzeigen, als man gemäss dem einfachen Absorptionsgesetz nach denen der unteren erwarten sollte. Im Zusammenhange hiermit steht die Abnahme der Transparenzcoefficienten a mit zunehmender Meereshöhe. Diese Zahlen geben denjenigen Bruchtheil der Lichtintensität an, der nach dem Durchgang durch die aus Luft normaler Dichtigkeit gebildete Schichtdicke 1 noch übrig ist. Je mehr stark absorbirbare Strahlen das Licht noch enthält, umso kleiner wird daher a ausfallen. Licht, das bis zu 80 m Meereshöhe vorgedrungen ist, wird gewisse Wellenlängen überhaupt nicht mehr enthalten, die auf dem Sonnblickgipfel noch energisch wirksam sind, die *weitere* Schwächung in den tieferen Schichten wird daher geringer sein, als in den oberen.

Unsere Beobachtungen zeigen dies zur Evidenz. Die Mittagsstrahlung übertrifft durchgehends den aus den Gesamtmessungen berechneten Werth, und die im Gebirge gefundenen Intensitäten sind im Vergleich zu den im Tieflande gemessenen unverhältnissmässig gross. Zugleich ist die Luft — scheinbar — in 80 m Seehöhe transparenter, als in 1600 und 3100 m.

Die Resultate werden anschaulicher, wenn man für die drei Meereshöhen: 80 m (Wolfenbüttel), 1600 m (Kolm-Saigurn), 3100 m (Sonnblickgipfel) und die Grenze der Atmosphäre die bei senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlen ($\theta = 90^\circ$) in die aufeinanderfolgenden Schichten eindringenden und in ihnen absorbirten Lichtmengen zusammenstellt. Man erhält so die Tabelle:

	J_{90}	Differenz	Meeres- höhe	Differenz	Durch- strahlte Schicht- dicke	Differenz	Absorp- tion in jeder Schicht
Grenze der Atmosphäre	236 ¹⁾		—		0		
Sonnblick	94	142	3100	—	0,6779	0,6779	0,60
Kolm-Saigurn	72	22	1600	1500	0,8182	0,1403	0,23
Wolfenbüttel	38	34	80	1520	0,9900	0,1718	0,47

Während demnach von den aus dem Weltraum senkrecht auffallenden ultravioletten Strahlen 0,60 auf dem Wege bis zum Niveau 3100 m verloren gehen, erlöschen von den bis hierhin vorgedrungenen noch 0,23 bis zum Niveau von 1600 m. Von diesen werden wiederum 0,47 in der Schicht von 1600 bis 80 m zurückgehalten. Die auf gleiche Dichtigkeit reducirten Wegelängen des Strahles in den letzten beiden verhalten sich dabei etwa wie 14:17. Hier springt deutlich die starke Absorption in der dem Erdboden nahen Luftschicht ins Auge. Man geht wohl kaum fehl, wenn man den Staubgehalt der Tiefenluft als eine der Ursachen dieser Unregelmässigkeit in der Transparenz auffasst.

Schliesslich bemerken wir noch, dass die Luft auch gegenüber der Gesamtenergie der Sonnenstrahlen ein ähnliches Verhalten wie gegen das ultraviolette Licht erkennen lässt. Nach den Beobachtungen von Herrn Langley auf dem Mount Whitney und von den Herren Crova und Houdaille²⁾ auf dem Mont Ventoux erscheint der Grenzwert dieser Energie beim Eintritt in die Erdatmosphäre (die Solarconstante) von der Meereshöhe des Beobachtungsortes abhängig und wächst mit dieser, während zugleich die Transparenz der Luft gegen die von aussen eingedrungenen Strahlen in grösseren Höhen kleiner ist, als im Meeresniveau.

Wolfenbüttel, November 1892.

1) Berechnet aus den Sonnblickbeobachtungen und denen von Kolm-Saigurn.

2) Crova und Houdaille, l. c.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 6.

Fig. 8a.