universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Meteorologie

Trabert, Wilhelm

Berlin [u.a.], 1918

Die Strahlung von Sonne und Himmel

urn:nbn:at:at-ubi:2-5058

rungen aufgezeichnet werden können. Die Ballon- und Drachenaufstiege haben, auch wenn sie täglich erfolgen, doch nur den Charakter von Einzelbeobachtungen, die uns für einen gegebenen Augenblick über den Zustand der Atmosphäre in verschiedenen Höhen orientieren.

Natürlich trachtet man danach, auch Drachen und Fesselballons womöglich täglich hochzulassen, so daß die Gründung eigener aerologischer Institute, wie z. B. jenes von Lindenberg bei Berlin, sich als immer dringendere Ergänzung der meteorologischen Anstalten herausstellt.

Die Strahlung von Sonne und Himmel.

§ 7. Begriff der Strahlung.

Wo immer ein wärmerer und ein kälterer Körper einander gegenüberstehen, beobachten wir, daß von dem ersteren auf den letzteren Wärme übergeht. In betreff der Art, wie dieser Übergang erfolgt, müssen wir zwei Vorgänge unterscheiden. Wir beobachten einmal, beispielsweise bei einer in einem Gefäß auf eine heiße Herdplatte gestellten Flüssigkeit, daß die von dem heißen Herde zur kälteren Flüssigkeit übergehende Wärme zuerst die dazwischenliegende Gefäßwand erwärmen muß, derart, daß eine stetige Abnahme der Temperatur von der Platte bis zur Flüssigkeit eintritt und die Wärme allmählich von Schichte zu Schichte „geleitet" wird.

Ein anderes Mal, wenn wir uns z. B. einem heißen Ofen nähern, beobachten wir einen Wärmeübergang auf unseren Körper, ohne daß deshalb die dazwischenliegende Luft eine besonders hohe Temperatur zu besitzen brauchte; ja wir können sogar ein plattenförmig gestaltetes Stück Eis zwischen uns und den Ofen einschalten: die Wärme geht ungehindert

hindurch, obwohl die Temperatur des Eiſes 0° nicht überſteigt. Wir können dagegen dadurch, daß wir einen Metallſchirm, der vielleicht viel wärmer iſt als das Eisſtück und etwa die Zimmertemperatur beſitzt, dazwiſchen ſtellen, ſofort den Übergang der Wärme abſchneiden. Hier haben wir es offenbar mit einem von dem Wärmeübergang durch „Leitung“ verſchiedenen Vorgang zu tun und ſagen, die Wärme gehe durch „Strahlung“ von dem einen Körper zum anderen über.

Beſonders deutlich beobachten wir den durch Strahlung erfolgenden Wärmeübergang, wenn wir uns einem glühenden Körper nähern. Wir machen hierbei die weitere wichtige Beobachtung, daß die durch Strahlung ausgeſandte Wärme in enger Beziehung ſteht zu dem Lichte, welches der glühende Körper ausſendet; daß gleich dieſem auch die ausgeſtrahlte Wärme ſich geradlinig ausbreitet, und daß die Intenſität der auf die Flächeneinheit entfallenden Strahlung ſo wie beim Licht $^1/_4$, $^1/_9$, $^1/_{16}$ ... wird, wenn die Entfernung um das Zwei-, Drei-, Vierfache wächſt.

Wie das Licht, läßt ſich auch die Wärmeſtrahlung durch Metallſpiegel zurückwerfen; wie dieſes, wird ſie von einem berußten Körper vollſtändig aufgeſogen, wie man ſich ausdrückt, „abſorbiert“. Kurz, ſie iſt vom Lichte nicht zu trennen und hat mit dieſem alle Eigenſchaften gemein. Nicht anders verhält es ſich mit der von einem nur erhitzten, noch nicht glühenden Körper ausgeſtrahlten Wärme: alle Eigentümlichkeiten der Strahlen finden wir hier wieder, nur die Wirkung auf unſer Auge, die Lichtwirkung, fehlt.

Die Beobachtung der Eigentümlichkeit der Lichtſtrahlen, ſich durch ein Glasprisma brechen und in ein farbiges, ſogenanntes Spektrum verwandeln zu laſſen, hat dahin geführt, unendlich viele Strahlenarten zu unterſcheiden. Da nun nach den Lehren der Phyſik jeder Strahl in einer wellenförmigen Bewegung eines außerordentlich feinen, überall

verbreiteten mutmaßlichen Stoffes, des „Äthers", beſteht, ſo kann dieſer Unterſchied der Strahlen und ihrer Qualität nur durch die Länge der Wellen, welche den Strahl ausmachen, bedingt ſein.

Wir haben es ſomit bei einem Strahle mit einer beſonderen Art der Energie zu tun: mit Energie in ſchwingender Form. Die Menge von Energie, welche ein Strahl enthält, beſtimmt ſeine Intenſität, die Wellenlänge ſeine Qualität.

In ihrem Weſen ſind alle Strahlen gleich, und es beſteht zwiſchen Wärme-, Licht- und chemiſchen Strahlen kein weſentlicher Unterſchied. Jeder Strahl wird von einem berußten Körper, auf den er fällt, aufgeſogen; ſeine Energie verwandelt ſich in Wärme. Inſofern ſind alle Strahlen Wärmeſtrahlen. Jedoch ſind nur gewiſſe Strahlen — jene, deren Wellenlängen zwiſchen 0,00036 mm (violett) und 0,00081 mm (rot) liegen — befähigt, die Netzhaut unſeres Auges zu erregen, hier als Licht zu wirken und den Eindruck dieſer oder jener Farbe hervorzurufen. Wiederum haben auch nur gewiſſe Strahlen die Eigenſchaft, bei einer beſtimmten Subſtanz chemiſche Veränderungen hervorzurufen.

Abgeſehen von dieſen durch die Wellenlänge beſtimmten Unterſchieden, verhalten ſich alle Strahlen gleich. Hinſichtlich der Fortpflanzung, Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz der Strahlen uſw. gelten dieſelben Geſetze, welche bezüglich der Lichtſtrahlen, die wir ſo leicht und bequem mit unſerem Auge verfolgen, allgemein bekannt ſind.

Auch den leeren Raum, inſoweit wir einen ſolchen herſtellen können und inſoweit ein ſolcher im freien Weltraume vorhanden iſt, vermag die Strahlung zu durchſetzen. Für den Energieaustauſch zwiſchen Himmelskörpern iſt dieſe Eigenſchaft ſomit von höchſter Bedeutung; ja es ſcheint, daß die Strahlung überhaupt der einzige Weg iſt, auf welchem ein ſolcher Austauſch tatſächlich vor ſich geht.

§ 8. Problem der Sonnenſtrahlung.

Es wurde ſchon hervorgehoben, daß die Strahlung der Sonne die letzte Urſache aller Veränderungen in der Atmoſphäre ſei. Es iſt aber auch nicht mehr daran zu zweifeln, daß dieſer Energieaustauſch in einem bedeutenden Temperaturgegenſatz zwiſchen Sonne und Erde ſeine Erklärung findet, daß mit anderen Worten die Sonne ein glühender Körper ſei. Es läßt ſich ſogar mit einiger Sicherheit die Temperatur ihrer Oberfläche angeben, wofern es nur gelingt, die Wärme zu ermitteln, welche an der Grenze der Atmoſphäre im Laufe einer Minute einem Quadratzentimeter zugeführt wird.

Die Beſtimmung dieſer letzteren Größe, der „Solarkonſtante", iſt nun aber durchaus keine leichte Aufgabe. Wir beobachten ja die uns von der Sonne zukommende Strahlung erſt, nachdem dieſelbe eine beträchtliche Strecke in der Atmoſphäre zurückgelegt hat; daß ſie auf dieſem Weg nicht ungeändert bleibt, dafür liefern die Beobachtungen auf hohen Bergen den beſten Beweis. Dort, wo die Sonnenſtrahlen erſt einen weit kürzeren Weg in der Atmoſphäre zurückgelegt haben, iſt die Intenſität der Strahlung unvergleichlich größer; mitten in Eis und Schnee empfindet man den Sonnenſchein als eine oft geradezu unangenehme Wärme. Sollte es nun nicht möglich ſein, aus dieſer mit der Höhe wachſenden Intenſität der Strahlung auf die Intenſität an der Grenze der Atmoſphäre zu ſchließen?

Das Problem iſt alſo das, den Energieſtrom, welcher ſich von der Sonne auf unſere Erde ergießt, ſeinen ganzen Weg entlang zu verfolgen. Was kommt an der Grenze der Atmoſphäre an? was an der Erdoberfläche? Was wird aus der Differenz längs des Weges durch die Atmoſphäre? Auf jede dieſer Fragen werden wir eine Antwort geben müſſen; ſowohl in betreff der quantitativen Beſtimmung der in dieſer

Strahlung der Erde zugeführten Wärmemenge, als auch der Qualität der Strahlen. Sollten sich vielleicht an der Grenze der Atmosphäre andere Wellenlängen vorfinden als unten an der Erdoberfläche? All diese Fragen müssen wir beantworten, denn erst, wenn wir die Geschichte jedes einzelnen Sonnenstrahls auf seinem Durchgange durch die Atmosphäre kennen, ist auch die Wirkung bestimmt, die er längs seines Weges auszuüben vermag.

§ 9. Messung der Sonnenstrahlung.

Vor allem bedarf man zu diesem Zweck eines Instrumentes, mit Hilfe dessen wir die gesamte Sonnenstrahlung auffangen und messen können. Wir haben im Ruß einen Körper kennen gelernt, welcher alle Strahlen fast vollständig auffaugt. Wenn wir also ein Thermometer mit einer Rußschichte überziehen, die Sonnenstrahlen darauffallen lassen, so wird, da sich die Energie der absorbierten Strahlen in Wärme verwandelt, eine Temperaturerhöhung eintreten, und wir werden aus der Temperatursteigerung auf die Wärme schließen können, die dem Thermometer zugeführt wurde. Die Bestimmung der Strahlungsintensität würde in der Tat gar keine Schwierigkeiten bieten, wenn nicht das geschwärzte Thermometer, sobald seine Temperatur die der Umgebung übersteigt, durch Strahlung, Leitung usw. Wärme an die Umgebung verlieren würde.

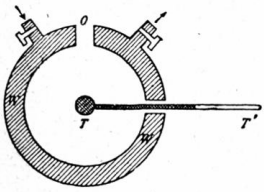


Fig. 2. Violles Aktinometer.

Man hat diese Schwierigkeit beispielsweise bei Violles Aktinometer (Strahlenmesser) dadurch behoben, daß man die geschwärzte Kugel des Thermometers T T′ (Fig. 2) im Mittelpunkt einer Hohlkugel anbrachte, die durch hindurchströ-

mendes Waſſer w w auf konſtanter Temperatur erhalten wird. Der Sonnenſtrahlung kann in einem gegebenen Momente der Zutritt durch eine Öffnung o geſtattet werden, und man beobachtet nun die Erwärmung unter dem Einfluſſe erſtlich der zugeführten Sonnenſtrahlung und zweitens des Wärmeverluſtes an die Umgebung von konſtanter, aber bekannter Temperatur. Das Thermometer wird ſich ſo lange erwärmen, bis ſich die Zufuhr und der Verluſt von Wärme das Gleichgewicht halten.

Es iſt nun aber durchaus nicht ſchwer, durch eine zweite Beobachtung den Verluſt an Wärme zu beſtimmen. Wir brauchen nur den Zutritt der Sonnenſtrahlung, wenn ſich das Thermometer erwärmt hat, wieder abzuſperren. Was werden wir dann beobachten? Die Temperatur des Thermometers wird langſam zu ſinken beginnen, wir beobachten ja jetzt allein den Wärmeverluſt an die kältere Umgebung. Kennen wir aber den letzteren, ſo können wir aus der Anfangsbeobachtung, bei welcher wir Einſtrahlung und Verluſt gemeſſen haben, den letzteren ausſcheiden und finden ſo den Betrag der Strahlung auf eine beſtimmte, durch den Durchmeſſer der Thermometerkugel gegebene Fläche.

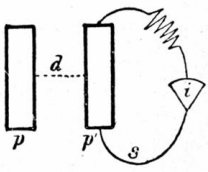


Fig. 3. Prinzip des Aktinometers von Ångſtröm.

In neuerer Zeit hat Ångſtröm eine weſentlich beſſere Methode bei der Konſtruktion ſeines Aktinometers angewandt. Der Hauptſache nach beſteht dasſelbe aus zwei, möglichſt gleichen, einſeitig geſchwärzten, ſehr dünnen Metallplättchen p p′, an deren Rückſeite in der Mitte ein Thermoelement angebracht iſt. In der Fig. 3 ſieht man bloß den Verbindungsdraht d.

Es kann nun abwechſelnd je ein Plättchen p von den Sonnenſtrahlen getroffen werden, das andere, p′, wird durch einen vorgeſetzten Schirm beſchattet.

Das beſonnte erhält nun durch Strahlung Wärme zugeführt und ſeine Temperatur ſteigt. Durch das beſchattete kann ein regulierbarer elektriſcher Strom s geſchickt werden, deſſen Intenſität i gemeſſen werden kann. Auch dieſes erwärmt ſich infolge des durchfließenden Stromes.

Man kann nun die Stromſtärke ſo ändern, daß das letztere Plättchen durch den Heizſtrom ebenſoviel Wärme bekommt, als das andere Plättchen durch die Sonnenſtrahlung.

Wenn dies der Fall iſt, ſind beide Plättchen gleichwarm, dann gibt das Thermoelement auf der Rückſeite der Plättchen keinen Thermoſtrom, was man wieder an einem Galvanometer erſehen kann. Man iſt ſo in der Lage, die Sonnenſtrahlung, die gleich der Wärme des Heizſtromes iſt, durch die Intenſität dieſes Stromes zu meſſen.

Andere z. T. nur für relative Meſſungen verwendbare Apparate ſind in neueſter Zeit von Michelſon und Abbot konſtruiert worden. Wir können hier nicht näher darauf eingehen.

Eine längere Beobachtungsreihe mit einem der älteren Apparate liegt von Montpellier vor. Dort hat man täglich, wofern es die Witterung geſtattete, die Intenſität der Sonnenſtrahlung gemeſſen.

Wir haben aber ſchon geſehen, daß die Intenſität der Strahlung weſentlich davon abhängt[1]), wie dick die Atmoſphärenſchicht iſt, welche die Strahlen zu durchſetzen haben. Es iſt deshalb ſelbſtverſtändlich, daß bei niedrigerem Sonnenſtand, wenn der Strahlenweg A′B (Fig. 4) größer iſt als AB bei hohem Sonnenſtande, die Intenſität in B, dem Beobachtungsort an der Erdoberfläche E E′, eine andere ſein wird; will man daher vergleichbare Meſſungen erhalten, ſo ſind dieſelben alle auf dieſelbe Sonnenhöhe zu beziehen.

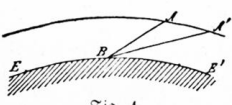


Fig. 4.

[1]) Bouguer hat für dieſe Abhängigkeit ſogar ein Geſetz gefunden.

Montpellier, geographiſche Breite 43° 36′.

Monat	Tageslänge Stunden	Sonnenſchein[1] Prozente	Intenſität d. St.[2] Kalorien	Wärme pro Tag Kalorien	Durchläſſigkeit[3] Prozente
Jan.	9,5	41	1,05	82	70
Febr.	10,5	47	1,09	127	64
März	12,0	48	1,12	184	57
April	13,2	46	**1,16**	229	57
Mai	14,7	53	1,14	296	51
Juni	**15,4**	56	1,14	311	48
Juli	15,0	62	1,13	**325**	47
Aug.	14,0	**67**	1,12	295	48
Sept.	12,6	54	1,12	225	56
Okt.	11,0	48	1,08	135	59
Nov.	9,8	38	1,05	90	67
Dez.	9,0	36	1,01*	61	**71**

Die in vorſtehender Tabelle (Kol. 3) angegebenen Intenſitäten der Sonnenſtrahlung ſind in Montpellier ſtets gegen Mittag beobachtet worden. Dieſe Zahlen geben an, wieviel Wärme einem Quadratzentimeter bei ſenkrechtem Einfallen der Strahlen in der Minute zugeführt wird. Dieſe Wärmemenge beträgt etwa 1 Kalorie, d. h. ſie iſt ſo groß, daß ſie 1 g Waſſer von 0° auf 1° C zu erwärmen vermag. Sie iſt im Winter kleiner, im Sommer größer.

Da man nun aber die Tageslänge in Stunden kennt, da man auch weiß, wie lange im Durchſchnitt die Sonne während des Tages wirklich ſcheint und nicht durch Wolken abgehalten wird, ſo kann man leicht ermitteln, wieviel Wärme im Lauf eines Tages auf 1 qcm des Erdbodens fällt. Dieſe Daten enthält die vierte Kolumne; dabei fällt uns ſofort der große Gegenſatz zwiſchen Sommer und Winter auf. Während des ganzen Sommers werden 1 qcm der Erdoberfläche in

[1] Verhältnis der wirklichen Sonnenſcheindauer zur möglichen: d. h. von je 100 Minuten, während welcher die Sonne tatſächlich am Himmel ſteht, ſcheint ſie 41, 47... Minuten.
[2] Mittel der Jahre 1883—1900.
[3] Wenn die Sonne tatſächlich im Zenit ſtünde.

Montpellier faſt 29 000, im Winter nur wenig über 8000, im Frühjahr etwa 22 000, im Herbſt faſt 14 000 Kalorien zugeführt; man kann ſomit die geſamte gegen 1 qcm geſandte Sonnenſtrahlung auf rund 72 000 Kalorien ſchätzen, d. h. ſie wäre imſtande, eine Eisſchichte von etwa 10 m Dicke zu ſchmelzen.

Wir ſtellen hier der Jahresſumme von Montpellier jene einiger anderer Orte in Tauſenden Kalorien gegenüber:

Wien	Davos	Kiew	Warſchau	Potsdam	Stockholm	Teurenberg (Spitzbergen)
52	78	61	47	54	55	17

Wie die letztere Kolumne der Tabelle für Montpellier zeigt, iſt auch die Durchläſſigkeit der Atmoſphäre, welche man durch Beobachtung der Strahlung bei niedrigem und hohem Sonnenſtand leicht ermitteln kann, im Lauf des Jahres verſchieden; im Sommer iſt ſie gering, im Winter größer, und im Mittel würden bei Zenitſtellung der Sonne nur etwa 58% der Sonnenſtrahlen an der Erdoberfläche anlangen.

Deutlich geht dieſer Einfluß der Atmoſphäre aus nachſtehender Überſicht hervor, welche Violle berechnet hat. Es gelangen nämlich, und zwar wieder, wenn die Sonne im Zenit ſtünde, von 100% an der Grenze auffallenden Strahlen bis

Montblanc (4810 m)	Grands Mulets (3040 m)	Boſſongletſcher (1220 m)	Grenoble (215 m)	Paris (60 m)
94%	89%	79%	71%	68%.

§ 10. Verteilung der Intenſität auf die einzelnen Wellenlängen.

Weit ſchwieriger, als die Beſtimmung der Geſamtintenſität der Sonnenſtrahlung, iſt die Ermittlung ihrer Qualität. Zu dieſem Behuf iſt feſtzuſtellen, wie ſich die Intenſität auf die einzelnen Strahlenarten, welche uns die Sonne zu-

ſendet, verteilt. Durch langjährige Meſſungen mit einem äußerſt feinen und empfindlichen Inſtrument, dem „Bolometer", iſt es dem Amerikaner Langley gelungen, in dieſe Frage Klarheit zu bringen. Man kann nämlich die Sonnenſtrahlung nicht bloß durch ein Prisma, ſondern auch durch ein auf einem Spiegel eingeritztes, äußerſt feines Gitter in ein Spektrum ausziehen. Langley verwendete dazu ein Gitter, das 68 000 Linien längs eines Zentimeters enthielt. Das Bolometer beſteht nun im weſentlichen aus einem ſehr dünnen, geſchwärzten Platindraht, der durch dieſes Spektrum hindurchbewegt wird und dabei die Wellenlängen abſorbiert, welche auf dem $^1/_2$ mm breiten, vom Draht ausgefüllten Raum ſich befinden. Durch die größere oder geringere Erwärmung des Drahtes wird nun ſeine Leitungsfähigkeit verändert, und da den Draht der Strom eines konſtanten galvaniſchen Elementes durchfließt, ſo wird man aus der Änderung der Stromſtärke auf die Energie der betreffenden Strahlenarten ſchließen können.

Schon bei ſeinen erſten Meſſungen konnte Langley nachweiſen, daß ſich in den Sonnenſtrahlen Wellenlängen von etwa 0,30 bis 3 Mikron (1 Mikron = 1 Tauſendſtel Millimeter) vorfinden. Später gelang es ihm, Wellen bis zu 18 Mikron nachzuweiſen; wahrſcheinlich enthält aber das Sonnenſpektrum Wellenlängen bis zu 30 Mikron. Die leuchtenden Strahlen machen ſomit nur etwa $^1/_{60}$ der ganzen Ausdehnung des Spektrums aus; da aber nach Fig. 5, welche die Energieverteilung im Sonnenſpektrum nach den Meſſungen Langleys darſtellt, gerade die Intenſität der leuchtenden Strahlen ſehr groß iſt, ſo macht die Energie derſelben etwa ein Drittel der Geſamtſtrahlung aus.

Wie aber im leuchtenden Teile an manchen Stellen dunkle Linien (die bekannten Fraunhoferſchen Linien) auftreten, ſo zeigt uns die Figur auch im dunklen Teile an manchen

Stellen Unterbrechungen, d. h. Wellenlängen, die, wenigſtens an der Erdoberfläche, im Sonnenſpektrum fehlen. Sollten dieſelben etwa von der Erdatmoſphäre abſorbiert worden ſein? Langley hat die auffallendſten dieſer „kalten Bänder" mit den griechiſchen Buchſtaben Φ, Ψ, Ω bezeichnet, ja ſpäter noch ein Band X bei 2,64, ein Band Y bei 4,25 und endlich ein breites Band zwiſchen 5 und 11 Mikron nachgewieſen.

Auch die Entſcheidung der Frage, ob dieſe Energieverteilung an der Grenze der Atmoſphäre dieſelbe ſei, hat Lang-

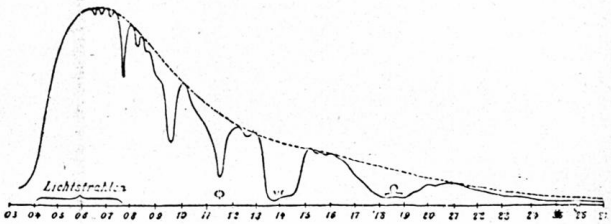
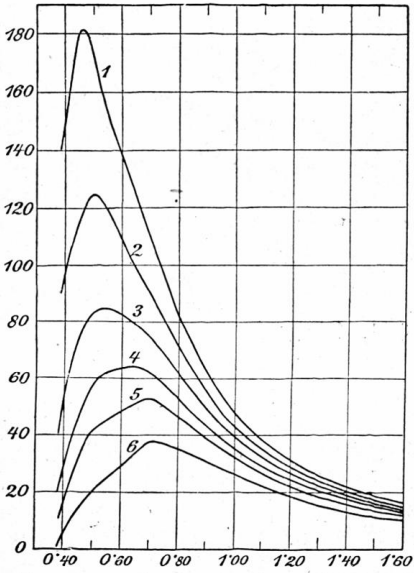


Fig. 5. Energieverteilung im Sonnenſpektrum. —— Beobachtete Intenſität .... Ideale Verteilung.

ley durch Bolometermeſſungen angebahnt und ſein Nachfolger Abbot erfolgreich fortgeſetzt. Man iſt dabei zu dem überraſchenden Ergebniſſe gelangt, daß die verſchiedenen Wellenlängen in ganz verſchiedenem Maße von der Atmoſphäre durchgelaſſen werden: im allgemeinen die längeren Wellenlängen viel leichter, die kürzeren weniger leicht. So würden, wenn die Sonne im Zenit ſtünde, z. B. von der Wellenlänge 0,39 Mikron 45%, von 0,50 Mikron 71%, von 0,80 Mikron 86% und endlich von 1 Mikron ſogar 90% von der Atmoſphäre durchgelaſſen. Neben dieſer, alle Wellenlängen umfaſſenden regelmäßigen Abſchwächung finden wir an manchen Stellen (das ſind eben die kalten Bänder) eine

unregelmäßige Abſchwächung, ja volle Auslöſchung gewiſſer Wellenlängen. Von dieſer hochbedeutſamen Erſcheinung werden wir ſpäter noch zu ſprechen haben.



1. Energieverteilung an der Grenze der Atmosphäre
2. E. verteilung an d. Erdoberfläche bei Zenitstand der Sonne
3. 4. 5. 6. „ „ „ „ „ „ „ bei Sonnenhöhe von 30°, 20°, 15° u. 10°

Fig. 6. Energieverteilung bei verſchiedenem Sonnenſtand.

Was iſt aber die Folge der regelmäßig mit der Verkürzung der Wellenlängen zunehmenden Schwächung der Strahlen? Offenbar die, daß, je länger der Weg iſt, den die Strahlen in der Atmoſphäre zurücklegen, um ſo mehr die kürzeren Wellenlängen geſchwächt werden, alſo das In-

tenſitätsmaximum, wie es Fig. 6 zeigt, immer weiter gegen das rote Ende gerückt wird. Bei einer Sonnenhöhe von bloß 10° liegt das Maximum bei 0,72 Mikron im Rot. Da die Strahlen kürzerer Wellenlänge raſch an Intenſität abnehmen, erſcheint uns, wenn die Sonne nahe dem Horizont ſteht, ihr Licht faſt rot. Mit zunehmender Höhe rückt das Maximum raſch vor; ſo finden wir es z. B. bei 30° Sonnenhöhe ſchon bei 0,56 Mikron im Gelb. An der Grenze der Atmoſphäre liegt das Maximum nach Abbots neueren Beſtimmungen bei 0,46 Mikron im Blau. Darauf bezieht ſich auch Langleys Ausſpruch, an der Grenze der Atmoſphäre würde die Sonne uns blau erſcheinen, weil eben die blauen und grünen Strahlen dort unverhältnismäßig ſtärker vertreten ſind als an der Erdoberfläche.

§ 11. Die Solarkonſtante.

Durch Langleys ſchöne Arbeiten, die in den Unterſuchungen ſeines Nachfolgers Abbot eine erfolgreiche Fortſetzung fanden, ſind jene Fragen, die das Problem der Sonnenſtrahlung enthielt, teilweiſe bereits beantwortet. Wir kennen die Geſamtenergie der Sonnenſtrahlung an der Erdoberfläche wie ihre Verteilung auf die einzelnen Strahlenarten; da wir aber geſehen haben, wie jede einzelne Wellenlänge beim Durchgang durch die Atmoſphäre geſchwächt wird, ſo haben wir auch auf die Energieverteilung an der Grenze der Atmoſphäre ſchließen können. Damit iſt aber, und zwar durch Summation der Energien der einzelnen Strahlenarten, die Geſamtſtrahlung, welche an der Grenze der Atmoſphäre bei ſenkrechtem Auffallen der Strahlen auf 1 qcm in der Minute entfällt, alſo die „Solarkonſtante“, gegeben. Nach Abbots zahlreichen Meſſungen in verſchiedenen Höhen der Atmoſphäre wurde ihr mittlerer Wert zu 1,93 Kalorien gefunden. Wir wollen ſie zu rund 2 Kalorien annehmen.

Dieſe Größe wird je nach der Entfernung der Erde von der Sonne größer oder kleiner ſein; erſt in der neueſten Zeit ſind die Meſſungen genau genug geworden, um ſo geringe Unterſchiede feſtſtellen zu können. Durch die eingehenden Unterſuchungen Abbots iſt es nun auch gelungen, einen Unterſchied in der Strahlung je nach dem Stande der Sonnenflecken nachzuweiſen. Einer Zunahme der Sonnenfleckenrelativzahl um 100 entſpricht nach Abbots Ergebniſſen eine Zunahme der Intenſität der Strahlung um 0,07 Kalorien. Es konnte auch unzweideutig feſtgeſtellt werden, daß die „Solarkonſtante“ keine konſtante Größe iſt, ſondern kleinen, unregelmäßigen Schwankungen unterliegt, die ungefähr eine Periode von 10 Tagen beſitzen.

Es bereitet nunmehr keine Schwierigkeiten anzugeben, wieviel Energie 1 qcm der Sonnenoberfläche pro Minute ausſendet. Man kann dieſelbe auf etwa 150000 Kalorien ſchätzen, d. h. ſie iſt ſo groß wie die Strahlung eines glühenden Kohlenkörpers von etwa 6000° C. Da das Emiſſionsvermögen der Sonne kaum viel geringer ſein dürfte als dasjenige des Rußes oder der Kohle, ſo wird man etwa 6000° C als Temperatur der Sonnenoberfläche annehmen dürfen.

§ 12. Der Energieverluſt in der Atmoſphäre.

Wir ſtehen nun vor der Frage, was denn aus der Energie der Strahlen wird, welche bei deren Durchgang durch die Atmoſphäre ſcheinbar verloren geht. Die nächſtliegende Annahme wäre wohl die, daß dieſelben von der Luft abſorbiert und zur Erwärmung der letzteren verwendet werden. Wenn wir aber an die Erſcheinung denken, daß ein in ein dunkles Zimmer fallender Lichtſtrahl uns an den Staubteilchen der Luft dadurch ſichtbar wird, daß an jedem einzelnen dieſer Teilchen das Licht nach allen Seiten hin „diffus“ reflektiert wird, ſo muß man auch die Möglichkeit zugeben, daß die

Schwächung der Strahlen in der „diffusen Reflexion" an den Luft- oder den Staubteilchen der Atmosphäre ihren Grund haben könnte.

In der Tat haben Theorie und Versuch gelehrt, daß die eine Art, die regelmäßig mit abnehmender Wellenlänge wachsende Schwächung, allein auf Rechnung der diffusen Reflexion der Strahlen zu setzen ist, und daß hierin die Ursache liegt, warum, wenn die Sonne über dem Horizont steht, auch der Himmel uns hell erscheint und uns einen beträchtlichen Anteil an Licht und Wärme zusendet. Es steht heute fest, daß es die Luftmoleküle sind, welche die zurückbehaltene Strahlung nach allen Seiten zerstreuen.

Wie aber steht es mit der ganz unregelmäßig gerade an bestimmten Stellen des Spektrums auftretenden Auslöschung der Strahlen, die wir als die „kalten Bänder" Langleys kennengelernt haben? Sollte dieser Erscheinung nicht eine andere Ursache, etwa wirkliche Absorption, zugrunde liegen? Die Untersuchungen Ångströms, Paschens und in neuerer Zeit Fowles, haben auch diese Frage bejaht; ja es gelang, im Wasserdampf und in der Kohlensäure direkt die Bestandteile der Atmosphäre festzustellen, welche diese Strahlenarten auffangen und so zur Entstehung der einzelnen Bänder Veranlassung geben. Es zeigt nämlich der Wasserdampf bei jenen Strahlenarten Absorptionsmaxima, wo Langley die Bänder Ψ, Ω, X und das Band zwischen 5 und 11 Mikron nachwies. Das Band X kommt übrigens zum Teil auch auf Rechnung der Kohlensäure, welche gleichfalls hier und bei Band Y ein Absorptionsmaximum aufweist. Damit ist die hohe Wichtigkeit dieser beiden Gase für die Atmosphäre klargelegt, und wir verstehen jetzt auch, warum im Winter bei trockener Luft die Durchlässigkeit der Atmosphäre eine viel größere ist als im Sommer.

§ 13. Strahlung des Himmels und der Atmoſphäre.

Außer der eben beſprochenen diffuſen Strahlung des Himmels, die ja im Grunde nur eine nach allen Seiten zerſtreute Sonnenſtrahlung iſt, hat man früher auch an eine wirkliche Strahlung des Himmels gedacht, da man vielfach dem Weltraum eine beſtimmte Temperatur, gewöhnlich etwa —150° C, zuſchrieb. Heute wiſſen wir, daß wir dem Weltraum, wenn wir überhaupt von einer „Temperatur" desſelben ſprechen wollen, nur die des abſoluten Nullpunktes zuſchreiben können; als dieſe pflegen wir —273° C anzunehmen. Es kann alſo nicht von einer Strahlung des Weltraumes, ſondern nur von einer Ausſtrahlung der Erde in den Weltraum die Rede ſein. Die Sterne kommen als Wärmeſpender für die Erde nicht in Betracht; nur an der beleuchteten Mondoberfläche hat man das Vorhandenſein einer allerdings minimalen und praktiſch nicht in Betracht kommenden Strahlung nachzuweiſen vermocht.

Wenn trotzdem auch in den Nachtſtunden, in denen bloß die Ausſtrahlung in den kalten Weltraum erfolgt, die Temperatur an der Erdoberfläche nur ſehr langſam ſinkt, ſo hat dies ſeinen Grund darin, daß die Atmoſphäre ſelbſt eine bedeutende Strahlung gegen jeden Punkt der Erdoberfläche ausſendet. Maurer und andere haben direkte Meſſungen dieſer Strahlung der Atmoſphäre vorgenommen und gefunden, daß dieſelbe im Durchſchnitte 0,38 Kalorien pro Minute und qcm beträgt. Die Wärmemenge, die 1 qcm des Erdbodens von der Atmoſphäre im Lauf eines Tages zugeht, kann alſo zu rund 550 Kalorien veranſchlagt werden. Eine Unterſuchung der in dieſer Strahlung vorkommenden Wellenlängen wurde bisher noch nicht ausgeführt. Doch iſt wohl nicht daran zu zweifeln, daß dieſe Strahlung von dem Waſſerdampf und der Kohlenſäure in der Atmoſphäre herrührt, und daß darin gerade jene Strahlenarten vorkommen,

die uns in der Sonnenſtrahlung (in den kalten Bändern) fehlen. Es iſt ja ein phyſikaliſches Geſetz, daß ein Körper, wenn er ſelbſt ſtrahlt, gerade jene Wellenlängen ausſendet, die er ſonſt abſorbiert.

Die Temperatur.

§ 14. Die Temperatur und ihre Meſſung.

Unter allen Veränderungen in der Atmoſphäre machen ſich die der Temperatur, d. h. des Zuſtandes, der ſich für uns in der Empfindung von Wärme und Kälte äußert, am allermeiſten fühlbar. Wir bedienen uns zu ihrer Meſſung des Thermometers, deſſen Weſen auf der Eigenſchaft der Flüſſigkeiten und anderer Körper beruht, ſich bei ſteigender Temperatur auszudehnen und umgekehrt ſich zuſammenzuziehen, wenn die Temperatur fällt.

Es iſt an ſich gleichgültig, welche Flüſſigkeit dabei als thermometriſche Subſtanz zur Verwendung kommt; doch beſitzt Queckſilber wegen ſeiner regelmäßigen Ausdehnung und als guter Wärmeleiter mannigfache Vorzüge. Da es aber bei —38,5° C feſt wird, ſo wendet man zur Meſſung tieferer Temperaturen vielfach das Alkoholthermometer an, das freilich die große Schattenſeite hat, daß der Alkohol bei hoher Temperatur verdunſtet und ſich bei folgender Abkühlung an dem oberen Ende des Thermometerrohres wieder kondenſiert.

Zur Beſtimmung eines Ausgangspunktes und zur Wahl einer Einheit hat man ſich für zwei Fixpunkte entſchieden: die Temperatur des ſchmelzenden Eiſes und die des ſiedenden Waſſers. Man hat ſich geeinigt, bei den zu wiſſenſchaftlichen Zwecken verwendeten Thermometern dieſen Abſtand,