

## Das Gleichgewicht der Wärme auf der Erdoberfläche.

Vortrag, gehalten im Naturwissenschaftlichen Verein durch Paul Koch.

---

Immer von Neuem, durch eisige Winter, die den Armen die Lebensführung erschweren, durch heisse trockene Sommer, die grossen Landstrichen Hungersnoth bringen, und wieder andere mit stetig folgenden Niederschlägen, mehrfach wiederholtem Austreten unserer Flüsse, die auf Meilen die Wintersaat zerstören, Aecker versanden, Wiesenflächen in Sumpf verwandeln, drängt sich dem Laien nicht nur, sondern auch dem Manne der Wissenschaft die Frage auf, betreffend die Stetigkeit unserer allgemeinen irdischen Witterungs- und Wärmeverhältnisse.

Wir haben aber auch ein doppeltes Recht zu dieser Frage, denn Alles, was wir zur Lebenserhaltung benöthigen: Die Pflanzenwelt, die durch Licht und Wärme aus dem Winterschlaf erweckt, uns Speise, Trank, Kleidung und ein warmes Heerdefeuer liefert, das zur Beleuchtung dienende Erdöl, sowie alle uns zur Verfügung stehenden Kräfte: Die Gewalt des Windes, der Strom und der Fall des Wassers, und die in unserm Dampfjahrhundert so nöthigen verschiedenen Arten der fossilen Steinkohlen, sie alle sind eine Potenz der Sonnenstrahlen.

Denn ohne Sonnenlicht und Sonnenwärme kein Wind und kein Kreislauf des Wassers, das schliesslich von den Bergen fallend Mühlräder und Turbinen treibt, und ohne die Strahlen der Sonne, die aus der Kohlensäure der Luft den Kohlenstoff in den Blättern ablagern, kein Blattgrün und kein Baumwuchs. So auch ist es seit Aeonen aufgespeicherte Wirkung der Sonnenstrahlen, die wir heut in allen Arten von Steinkohlen aus der Erde heben, — ein redendes Zeichen von der Erhaltung der Kraft.

Daher verlohnt es sich wohl einen Blick auf die Wärmeverhältnisse, Wärmebedarf und -Ausgleich der Erdoberfläche und des uns und sie umgebenden Luftmeeres zu werfen, an der Hand von Forschern wie v. Bezold-Berlin, Angström, Assmann, Hann in Wien, Langley, Savéfiel in Kijew, Violle, Zenker und andere.

Ein Vergleich liegt nahe mit dem Menschen selbst und dessen Wärmebedürfniss: Der Mensch erhält die zur Erhaltung nöthige Wärme von innen durch die chemischen Prozesse der Verdauung, Athmung, sowie der Muskelthätigkeit. — Wohl bedarf er gegen die kühlere Umgebung noch einer wärmenden oder vielmehr schützenden selbst bereiteten Hülle, und besonders wohl thut ihm auch der Strahl der wärmenden Frühjahrssonne, aber er kann zeitweise leben auch ohne sie, wie uns der Grönlandsfahrer Nansen gezeigt; während umgekehrt das wärmste Zimmer dem alternden Mann nicht mehr Ersatz bietet für das Fehlen der inneren Lebenswärme, wenn Verdauung und Athmung zu versagen beginnen.

Umgekehrt gerade sind die Verhältnisse der Erde: Schutz gegen die übermässige Abkühlung durch Ausstrahlung in den Weltenraum bieten derselben nur die Wolken, die Kinder zugleich der Sonne und des kalten Weltenraumes. Wohin wir auf der Erdoberfläche schauen, sehen wir die Wirkungen des Kampfes zwischen Wärmewirkung der Sonne und Ausstrahlung in den kalten Weltenraum: Wind und im Kreislauf des Wassers: Regen und Wasserfälle, Blattgrün, Baumwuchs und thierisches Leben, und tief im Innern die Steinkohlenschätze, die manch' deutliches Zeugniß von dem Pflanzenwachsthum der Vorzeit aufbewahren.

Die Gluth des Erdinnern hat seiner Zeit zwar mitgeholfen zur Ablagerung und zur guten Erhaltung der Steinkohlen, und heut noch schafft und treibt sie Petroleum und nutzbare Gase an die Erdoberfläche, alles dies jedoch, nach dem heutigen Standpunkt der Wissenschaft, nur als Gehilfe der fleissigen Sonnenstrahlen, und in keinem Vergleich zu den durch diese bewegten Kräften. — Auch hat sie bis jetzt nicht direct durch den Menschen nutzbar gemacht werden können.

Die Wärme des Erdinnern, berechnet nach den neuesten Messungen in den Tiefbohrlöchern von Sudenburg bei Magdeburg: 568 m, Sperenberg bei Berlin: 1068 m, Sennowitz bei Halle: 1084 m, Lich bei Altona: 1259 m, Schladebach bei Merseburg: 1616 m tief, ergab 1° R Zunahme auf 46 m, resp.

1° C. mehr auf 37 m Tiefe, also für das Schladebacher Bohrloch:  $47 + 9 = 56^{\circ}$  C. Wärme in der Tiefe. Hieraus weiter geschlossen, müssten in flüssigem Zustande sich befinden: Schwefel in 3600 m Tiefe, Wismuth bei 9 Km, Silber in 36, Gold in 45, Eisen in 46, Platin in 93 km Tiefe, es sei denn, dass durch den starken Druck der Schmelzpunkt sich erhöhe. Hochofentemperatur von  $2800^{\circ}$  R. fänden wir in der Tiefe von 104 km oder 14 Meilen. — Obigem entsprechend schätzt der Geophysiker Fischer die feste Erdrinde unter Meer auf 32, unter Flachland auf 40 km Stärke.

Versteht schon der Mensch mit nur wenig mehr als Meter starken Wänden die Hohofenhitze gut zusammen zu halten, so ist auch die Erdrinde aus soviel schlechten Wärmeleitern und schützenden Zwischenschichten zusammengesetzt, dass die constante Wärme des Erdbodens in 2 Meter Tiefe in unseren Breiten nur  $8-9^{\circ}$  C. beträgt, und so wenig Wärme aus dem Erdinnern direct übertragen wird, dass diese nicht im Stande ist, nach einem ersten winterlichen Schneefall noch eine zweite oder dritte Schneedecke ohne Hilfe der Sonnenstrahlen wegzuschmelzen, trotzdem nach der Dr. Schwahn die Gluth des Erdinnern auf ca.  $22,000^{\circ}$  C. geschätzt wird.

Wir sind demnach für das Wärmebedürfniss von Thier- und Pflanzen und aller nutzbaren Kräfte vorzugsweise und fast einzig auf die Sonne angewiesen, deren Strahlung der Ausstrahlung in den kalten Weltenraum das Gleichgewicht hält.

Hierbei sprechen nun eine Reihe von Faktoren mit, sehr verschieden, fördernd und hindernd, um so mehr, da der Boden unter unseren Füßen und die Luft, die uns umgiebt, so sehr verschieden sich verhalten und Wärmeunterschiede gestatten von  $80^{\circ}$  an demselben Orte und von ca.  $140^{\circ}$  C. auf der Erde überhaupt.

Dann, gilt auch Mossaua als Ort der höchsten und regelmässigsten Jahrestemperatur mit Min.:  $19^{\circ}$ , Max.:  $41^{\circ}$  C., Durchschnitt:  $30^{\circ}$ , davon im Jan., Febr.:  $25^{\circ}$ ; im Juli, August:  $35^{\circ}$ , so berichtet doch Duvejrier, dass im Lande der Tuaregs die Mittagshitze auf  $67,7^{\circ}$  C. steige, während andererseits in Werchojansk in Sibirien an der Mündung der Jana in der noch nicht hohen Breite von  $67\frac{1}{2}^{\circ}$  die Kälte im Januar 1871 auf  $63^{\circ}$ , 1885 und 1886 sogar auf  $67^{\circ}$  und  $68^{\circ}$  C. fiel, und selbst die Durchschnittstemperatur des Januar in den 4 Jahren 1884—87  $53^{\circ}$  C. betrug, bei einer Wärme von  $12-13^{\circ}$  C. im Juli.

Hauptgründe dieser Verschiedenheiten sind:

1. Die Kugelgestalt der Erde, nebst der Rotation derselben um die Polaraxe, demzufolge den Tropenländern und deren Bewohnern die Strahlen der Sonne nicht nur täglich fast gleich lange, sondern auch auf dem kürzesten Wege senkrecht auf den Scheitel fallen, eine Gluthitze entwickelnd, von der auch wir Bewohner des 50. Grades an heissen Sommer-Mittagen mitreden können, während die Länder näher den Polen nur schräg von den Sonnenstrahlen getroffen, nur wenig von denselben festhalten können.

Nach Prof. Zenker (1889) fallen an directen Sonnenstrahlen auf die Oberfläche der Erde:

beim Stand der Sonne im Zenith 100, werden absorbiert 77 = 77%  
bei Zenithabständen v. 20° fallen auf 94% werd. absorb. 72 = 77%

„	40°	„	76%	„	55 = 72%
„	50°	„	64%	„	44 = 69%
„	60°	„	50%	„	31 = 62%
„	80°	„	17%	„	5 = 30%

berechnet auf Grund der Langley'schen Untersuchungen. In unseren Breiten sendet also die Sonne überhaupt nur 64% Strahlen auf dieselbe Fläche, von denen 42 auf die Erdoberfläche selbst gelangen, und in den arktischen Regionen fallen 17% auf die gleiche Fläche, von denen nur 5 die Erde selbst erreichen.

Bei Sonnenaufgang und Untergang müssen die Sonnenstrahlen eine Luftschicht von sechsfacher Stärke durchlaufen, die so viel Wärme von der schon geringen Strahlung absorbiert, dass die zu uns gelangenden Strahlen, selbst auf zu denselben senkrechten Flächen, Wärmewirkung so viel wie Null ausüben,

2. Die Drehung der Erde entzieht der Erdoberfläche und allen Bewohnern derselben für die Hälfte der Zeit die directe Sonnenstrahlung: am Tage Besonnung mit Erwärmung bringend während der Nacht den Ausgleich durch Ausstrahlung begünstigend deren Stärke, fast interessanter als diejenige der Wärme-Einstrahlung, der sogenannten Insolation, wiederholt durch Boussin-joult in den Anden, Langley in der Sierra Nevada, Martens auf dem Montblanc zu messen versucht wurde. Es dient dazu eine flache beruste Cylinderplatte von Kupfer, die, eingeschlossen in einen doppelwandigen Cylinder, der durch einen Wasserstrom auf genau gleicher Temperatur erhalten wird und der nächtlichen Ausstrahlung in sternklarer Nacht ausgesetzt, die dabei erlittene Abkühlung auf einen feinen Indicator überträgt. Mit

diesem Apparat bestimmte Maurer in Zürich die Wärmeausstrahlung auf dem Montblanc auf 0,13 Cal. auf 1 qdcm in 1 Min. =  $\frac{1}{10}$  der Insolation bei hohem Sonnenstande.

3. Die Neigung der Erdaxe zur Bahn um die Sonne bringt es mit sich, dass während des Jahresumlaufes ein Halbjahr hindurch mehr die südliche, das andere Halbjahr mehr die nördliche Halbkugel durch die Sonne beschienen und derselben zugleich näher und mehr zugewandt ist, so, dass auch die beiden gemässigten Zonen abwechselnd zu gleicher Zeit länger und mehr senkrecht besonnt werden, also auf Halbjahre kürzerer und schwächerer Besonnung solche mit längerer und stärkerer Besonnung folgen.

4. Dazu kommt endlich die elliptische Gestalt der Erdbahn mit dem Stande der Sonne in einem Brennpunkt, die unsere Erde im Jahreswechsel der Sonne bald auf  $19\frac{2}{3}$  Million Meilen nahe, bald auf  $20\frac{1}{3}$  Million Meilen abführt, Besonnungsunterschiede von dem nicht unerheblichen Unterschiede von 100:93 hervorrufend.

Kurz berühren wir nur noch die Unterschiede in der Besonnung, hervorgerufen durch die Periodicität der Sonnenflecken.

An alle diese dem ganzen Erdball resp. seinen Zonen gemeinsamen stetig wechselnden und doch regelmässig wiederkehrenden Besonnungsverhältnisse schliessen sich nun die Behinderung der Ein- und Ausstrahlung durch theilweise oder allgemeine Wolkenbedeckung und ferner die örtlichen Verschiedenheiten der Bodengestaltung.

Das Wasser, die mannigfachen Erden und Gesteine, verschieden in Material und Oberfläche, endlich Eis und Schnee, die jene einen Theil des Jahres verhüllen, absorbiren und reflectiren die Sonnenstrahlen in sehr verschiedenem Grade, die selbst schon auf mancherlei Weise bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre, das Luftmeer selbst absorbirt, zerlegt, abgelenkt, zerstreut die Erdoberfläche treffen.

Glücklicher Weise besteht die Erdoberfläche weder aus Steinsalz, das fast sämmtliche Wärmestrahlen hindurchlässt oder seitlich bricht, noch aus gehämmerten, gehärteten, geglätteten Metallplatten, von denen z. B. spiegelblanke Zinnfolie so wenig Wärme aufnimmt, so viel zurückstrahlt, dass sie nach den neuesten durch Prof. Vogel und Dr. Scheiner im Potsdamer physikalischen Observatorium gemachten Untersuchungen sogar als Schutzmittel gegen die Wärme dienen könnte.

Im Gegentheil: je weniger dicht die Structur der Körper, je rauher ihre Oberfläche, je mehr Fläche sie also den Sonnenstrahlen darbieten, desto grösser ihre Aufnahmefähigkeit für dieselben. — Dieses grössere Aufnahmevermögen schliesst jedoch ein ungemessenes Aufspeichern der Wärme aus, denn während ein Theil der Wärme in das Innere des Körpers fortgepflanzt wird, wird, wachsend mit der Temperatur, auch ein angemessener Theil wieder ausgestrahlt und kommt zum Theil den umgebenden Luftschichten zu gute, diese erwärmend, resp. wird in den Weltenraum ausgestrahlt. Immerhin kann sich, nach Assmann die Erdoberfläche unter Umständen bis auf 70—80° C. erwärmen

Für Erde und Wasser ist nun nach Prof. Zenker's durch die Pariser Akademie der Wissenschaften 1888 gekrönten Preisschrift die von der Luftschicht hindurchgelassene Wärme zu 92° bestimmt, dagegen die durch die Erde absorbirte senkrecht auffallende Strahlenmenge = 89, also nur um 4% niedriger, während Schnee von obigen 92 nur 77 annimmt. Dies ändert sich jedoch sehr mit dem Einfallswinkel der Strahlen, so dass beim Stande der Sonne 10° über dem Horizont, das Land noch 10½%, das immerhin glänzende Wasser nur noch 8½%, Schnee 9% aufnimmt, die Kraft des ursprünglichen Sonnenstrahls = 100 gesetzt. — Aus dieser Sonnenconstante, ferner der der Breite entsprechenden durchgelassenen Strahlenmenge und dem Verhältniss der drei Bestandtheile berechnet Prof. Zenker, allerdings unter Zuhilfenahme von ein paar Constanten, annähernd die Mitteltemperatur für jede Gegend der Erde.

Hat von den oben erwähnten drei Hauptbodenbestandtheilen: Wasser, Eis und Erde — das Wasser auch nur  $\frac{1}{700}$ , Salzwasser auch nur  $\frac{1}{400}$  des Wärmeleitungsvermögens des Kupfers, so findet die Wärmeübertragung in die tieferen Schichten desselben doch genügend schnell durch Strömungen und Mischen statt, es wird die Wärmemenge gleichmässiger und tiefer im Meereswasser vertheilt als in der Erde und bildet das Meer daher einen ausgiebigen Wärmespeicher.

Die für den Haushalt der Natur wichtigsten Eigenschaften des Schnees hat der Russe Woeikoff 1871 bis 1889 studirt und zusammengefasst: Der Schnee als schlechter Wärmeleiter schützt die Erde vor Abkühlung bei Lufttemperatur unter 0°, und zwar desto besser, je tiefer und lockerer die Schneedecke; desto weniger, je körniger und Firn-ähnlicher derselbe ist. Bei Temperaturen über 0° wirkt der Schnee kühlend durch sein

Abschmelzen und die Erfüllung des Erdbodens mit Schmelzwasser. Doch wirkt Schnee im Ganzen erwärmend, so, dass bei 6 Monat Schneedecke von 50 cm die Bodentemperatur in 1 Meter Tiefe nicht tiefer sinkt, als bis zum Jahresdurchschnitt der Oberfläche. Ohne Schnee würde im hohen Norden der Boden bis auf 100 Meter Tiefe ausfrieren. Beständig gefrorenen Boden giebt es daher nur dort, wo die Jahrestemperatur unter  $0^{\circ}$  liegt.

Schnee reflectirt nur den sechsten Theil, nackter Erdboden nur  $\frac{1}{30}$  der Sonnenstrahlen. Wärmend wirken nur die wirklich wieder ausgestrahlten Wärmestrahlen auf die Luft; es ist deshalb die Luft über dem Erdboden wärmer als über dem Schnee, und da die Luft über Schnee auch arm an Staub und Wasserdunst ist, so fehlen dem Schnee auch diese Vermittler zu einer wirksameren Wärmeübertragung an die Luft. Es sind also längere ausgedehnte Schneebedeckungen meist mit grösserer Kälte des betreffenden Landstrichs verbunden, um so mehr, wenn klare Tage die Ausstrahlung in den Weltenraum begünstigen.

Da der Schnee unfähig ist, sich über  $0^{\circ}$  zu erwärmen, dem folgend, auch nicht die darüber lagernde Luftschicht, so hat auf ausgedehnten, Schneefeldern höhere Sonnenwärme doch nur ein kurzes Thauwetter zur Folge. Dagegen kann Bedeckung des Schnees mit Staub, besonders mit Kohlenstaub, selbst bei mehreren Graden unter Null Schmelzen desselben herbeiführen; oder, haben wiederholt einfallende laue Winde die Struktur des Schnees der des Eises genähert, so wird dies körnige Eis der Wirkung der Sonnenstrahlen zugänglicher.

Die letzte Verschiedenheit der Erdoberfläche ist die der Erhebung: haben diese Erhebungen den Charakter ausgedehnter Plateaus, so sind dieselben zwar vom kalten Weltenraum nur durch eine zugleich schwächere und dünnere Luftschicht getrennt, kälter, und zwar um  $0,45^{\circ}$  C. auf jede 100 Meter Erhebung, doch regeln sich die Wärmeverhältnisse ähnlich wie auf der ebenen Erdoberfläche, so, dass noch Stellen in 4600 Meter Höhe wie das Kloster Hanlé in Thibet und das Dorf San Vinciente in Peru bei nur ca. 433 bis 436 mm Luftdruck und um  $20^{\circ}$  niederer Jahrestemperatur dauernd bewohnt sind — Oder aber: Es erheben sich Höhenzüge, Bergketten, einzelne Gipfel weit hinaus in das Luftmeer.

Hiermit kommen wir nun zu dem zweiten Hauptfactor der Wärme-Erhaltung der bewohnten Erde: dem Luftmeer, von

dessen Eigenschaften und Verhältnissen die Temperaturen der in dasselbe hineinragenden Hochgipfel mehr und mehr abhängig sind, je vereinzelter diese stehen und je mehr ihre Masse und Oberfläche gegen das umgebende Luftmeer zurücktreten.

Für die Erklärung der Wärmeverhältnisse des Luftmeeres ist folgendes vorzuschicken:

Jeder einzelne Strahl der Sonne besteht, wie bekannt, aus vielen einzelnen Strahlen von verschiedener Schwingungsdauer, Wellenlänge, Brechbarkeit, Durchdringungsvermögen (Diathermanie) resp. Absorptionsvermögen für die Stoffe, und verschiedener Einwirkungsart auf verschiedenartige Körper: durch stark brechende Prismen zerlegt erscheinen die Strahlen mittlerer Wellenlänge von  $\frac{7}{10000}$  bis  $\frac{4}{10000}$  mm und den Brechungsexponenten von 1,62 bis 1,67 wahrnehmbar für das menschliche Auge als Lichtstrahlen von roth bis violett. An Violett reihen sich, stärker abgebrochen, die sogenannten ultra-violetten Strahlen die von kürzerer Wellenlänge, den menschlichen Augen nicht mehr sichtbar, doch noch durch ihre chemischen Wirkungen erkennbar sind, während an das Roth sich die infraroth Strahlen anschliessen, die weniger gebrochen und von grösserer Wellenlänge, für das menschliche Auge nicht erkennbar, doch Wärmewirkung ausstrahlen und durch feinfühlig Thermo-Indicatoren wie den Langley'schen Thermo-Multiplicator und die Vogel-Scheinersche Thermo-Säule erkannt, bestimmt, gemessen werden.

Solche Wärmestrahlen treten nicht nur auf in direktem, sondern auch im gebrochenen, zerstreuten, reflectirten Sonnenlicht, also auch im Mondlicht. In letzterem hat man mit den oben genannten ungemein feinfühlig Apparaten auch Wärmestrahlen nachgewiesen, wenn auch mit sogenannten Kältebanden, aus denen sich dann für den Mond auch nach zweiwöchentlicher unausgesetzter Besonnung doch nur eine Temperatur von  $-20^{\circ}$  berechnen liess, erklärlich durch die Reflection der auffallenden Sonnenstrahlen unmittelbar in den auf 140 bis  $273^{\circ}$  geschätzten kalten Weltenraum.

Der eigentliche directe, wirkliche Sonnenstrahl, wie derselbe die äusserste Grenze unserer Atmosphäre trifft, die sogenannte Sonnenconstante, ist nun für unsere Sinne etwas völlig Unbekanntes, denn nur gebrochen und zum Theil durch die Atmosphäre absorbirt, trifft derselbe unsere Gefühls- und Sehnerven, sowie die Oberfläche der Erde; — und nur auf Grund vielfacher sorgfältiger Versuche und Rechnungen sind wir im



Stunde, uns diesen reinen, vollen Sonnenstrahl rechnerisch zu reconstruiren. Dieses absolute Wärmevermögen der Sonne, die Sonnenconstante, hat man in Calorien auszudrücken versucht d. h. in Wärmeeinheiten, die gedacht an der Aussengrenze der Atmosphäre im Stunde sind, auf 1 qcm Fläche 1 Ccm Wasser in 1 Minute um  $1^{\circ}$  C. zu erwärmen. Pouillet berechnete dieselbe auf 1,8, Zenker auf 2,1, Violle auf 2,5, Langley laut Versuchen mit seinen feinfühligem Instrumenten auf 3,0, Angström gar auf 4,0 und Savéfief, bestimmt mit seinem Aktinographen auf 3,5, was einer Wärmewirkung entsprechen würde, genügend, um in einem Jahre eine Eiskruste von 54 m Stärke von der Erdkugel abzuschmelzen.

Von dieser Wärmemenge wird nun ein Theil durch das Luftmeer aufgesaugt; denn Violle fand 1875 auf dem Montblanc-Gipfel in 4810 Meter Höhe die Stärke der Sonnenstrahlung noch zu 2,4, während sie zur selben Zeit am Bosson-Gletscher in 1200 Meter Höhe nur noch 2,0 betrug, entsprechend einer Absorption von  $0,4 = 16\%$  auf 3600 Meter Höhen-Unterschied.

Diese auf jenen Höhen grössere Kraft der Sonnenstrahlen erwärmte nach Assmann auf dem Säntis in 2500 Meter Höhe bei  $5-6^{\circ}$  Luftwärme das Schwarzkugelthermometer auf  $53^{\circ}$  C. und auf dem Pic du midi in 2900 Meter Höhe bei  $13^{\circ}$  Luftwärme schwarze Humuserde auf  $52^{\circ}$ , also um  $39^{\circ}$ , dagegen zu gleicher Zeit in 550 Meter Meereshöhe bei  $27^{\circ}$  Luftwärme Humuserde auf  $50^{\circ}$ , also nur um  $23^{\circ}$ .

Diese Versuche beweisen, wie bedeutend wärmer die Sonnenstrahlen in jenen Höhen sind, und wieviel von ihrer Intensität auf dem Wege durch die Luft verschluckt werden muss. Entsprechend den bekannten Fraunhofer'schen Absorptionslinien im sichtbaren Spectrum lassen sich auch im infrarothern Spectrum der Wärmestrahlen Absorptionslinien und gar auch breite Banden nachweisen, zumal, wenn bei tiefem Stande der Sonne deren Strahlen durch entsprechend starke Luftschichten, das Sechsfache der senkrechten Luftschicht, hindurchgingen.

So absorbirt die Luft nach Zenkers Berechnungen auf Grund von Langley'schen Beobachtungen und Messungen:  
 Beim Zenithstand der Sonne von 100:23; lässt durch  $77 = 77\%$   
 bei  $50^{\circ}$  Zenithabstand von 64:20; lässt durch  $44 = 69\%$   
 „  $80^{\circ}$  „ „ 17:12; „  $5 = 30\%$   
 Nach Savéfief absorbirt die Luft in unseren Breiten  $63\%$ , so dass nur  $37\%$  den Boden erreichen sollen.

Die einfache Formel, die man auf Grund der Schichtenstärke für die Durchlässigkeit der Luft aufstellte, stimmt nicht immer, da die Luft nicht immer rein ist: Wasserbläschen, Nebel, Staub, die dieselbe mehr oder weniger durchsichtig machen, ferner Kohlensäure enthält, welche Stoffe und Körper eine grössere Absorptionskraft für die Wärmestrahlen, als die Luft selbst, haben, laut den Angström'schen Untersuchungen. Ein gewisser Dunst- und Staubgehalt ist günstig für die Erwärmung der Luft: der Staub absorbiert resp. saugt an sich schon lange vor dem Thaupunkt den Wassergehalt der Luft und wird dadurch empfänglicher für Wärme als trockener Staub.

200 Staubtheilchen im Kbc. sind die geringste Zahl, die man in trockener Luft auf hohen Berggipfeln beobachtete, sonst wohl 330, 470, 500. In einer Wolke auf Rigikulm beobachtete man nur 120 Staubtheilchen, in klarer Luft bald darauf dagegen 2000; auf einem Berg bei Cannes bei Wind von den Bergen 1550, bei Wind von der nahen Stadt 150,000, auf einem Berg bei Hyères bei Wind vom Meere 3500, bei Wind vom 14 Klm. entfernten Toulon 2500. In Paris auf dem Eifelthurm 104,000, im Garten der meteorologischen Station 160,000 bis 210,000; in London im Batterseapark 48,000 bis 116,000 Staubtheilchen im Kbcm. Bei 5000 Staubtheilchen kann die Luft, wenn trocken, noch sehr durchsichtig sein.

Andererseits zieht der Rauch, der Morgens fast zu gleicher Zeit aus 100,000 Londoner Essen steigt, den Dunst der dort so feuchten Luft an sich, verdichtet sich zu Nebelmassen, die die ganze Sonnenwärme reflectiren und absorbiren, unter sich die Stadt London kalt lassend, so dass auch die untere weisse Nebelschicht sich weder durch Wärme von oben noch von unten auflösen kann, und nun liegen bleibt: der charakteristische Londoner Nebel.

So wie solch Nebel und Staub die Sonnenstrahlen nicht hindurch lässt, so schwächt er auch die Ausstrahlung der Erde an kalten Wintertagen, und ist dadurch die schützende Wirkung von Rauch für Gärten an kalten, klaren Wintertagen bestimmt.

Der bedeutenden Zunahme von Staub in der Atmosphäre durch die grossen Mengen von Rauch aus Fabriken, Wohnstätten, Eisenbahnen, Dampfern wird durch Andries die erhebliche Zunahme der Gewitter und der Blitzgefahr in manchen Gegenden zugeschrieben.

Aber auch die Luft an sich hat eine Eigenschaft, Kraft, deren sie gleichsam als Schutzhülle für die Erde wirkt, wie das Glasdach eines Treibhauses, das zwar die wärmenden Sonnenstrahlen hineinfängt, jedoch nicht wieder hinaus. So absorbiert die Luft von den Sonnenstrahlen vorzugsweise die kurzwelligeren nahe den blauen Strahlen (je reiner und dünner die Schicht desto weniger), lässt dagegen die langwelligeren leuchtenden durch und hält wieder die von der Erde reflectirten, und dunkeln Wärmestrahlen fest. Sie begünstigt also die Einstrahlung, und wirkt als Schutzhülle gegen die Ausstrahlung in den kalten Weltenraum.

Früher war man der Meinung, dass der Ausgleich der Temperaturen zwischen der erwärmten Oberfläche und den höchsten Schichten des Luftmeeres, die Ausstrahlung nach aussen unterstützend, auf dem einfachsten Wege durch Mischung d. h. durch den vom Erdboden erwärmten aufsteigenden warmen Luftstrom erfolge. Diesem directen Ausgleich auf mechanischem Wege steht entgegen das Gesetz der mechanischen Wärmetheorie, indem die Druckverminderung eine Expansion, und diese eine Abkühlung der steigenden Luftschicht zur Folge hat, wie man bei den am Südabhang der Alpen aufsteigenden Südwinden zu beobachten Gelegenheit hat.

Constatiren wir die Temperatur-Verhältnisse zugleich der oberen Luftschichten und der Berge und Gipfel, die in dieselben hineinragen, auf Grund der Untersuchungen, die in neuerer Zeit auf den meteorologischen Stationen auf Säntis, Hochobyr, Sonnblick, Pic du midi und anderen mit Sorgfalt ausgeführt sind.

Während Deutschland in 50° Breite 20° Juliwärme, Hammerfest in 71° Breite 3—10° und die Südküste Spitzbergens in 78° Breite 5° Juliwärme hat, man also zu ebener Erde 200 Klw. fahren muss, um 1° Abkühlung zu finden, hat man zu Häupten dieselben niederen Temperaturen in grösster Nähe. — Denn die Juliwärme von Hammerfest haben St. Moritz, Sils-Marja, Pontresina, Vent in 1800 Meter Höhe, und die von Spitzbergen hat der Säntis bei 2500 Meter Höhe. — Während in den untersten 1000 Metern von der Erdoberfläche die Luft sich für jede 100 Meter um 1,2° abkühlt, beträgt die Abkühlung beim Vergleich mit den höheren 2500—3000 Meter hohen Berggipfeln durchschnittlich auf jede 100 Meter 0,65° C. (entgegen von 0,45° beim Vergleich der Temperatur der grossen Hochebenen mit dem Meeresniveau.)

Man bedarf 150 Meter Steigung zu 1° Abkühlung, oder, da man in 1 Stunde 300 Meter steigt, also nur 1 Stunde zu 2° Abkühlung. In 2500 Meter Höhe haben wir schon die polare Temperatur von Spitzbergen, und in 3300 Meter Höhe auch im Sommer 0°. Oft werden wir an die unheimliche Nähe dieser Kälte erinnert durch Hagelschauer, die aus jenen Höhen auch im heissesten Sommer herabfallen mit 6—10 Kältegraden, sowie durch die Feder- und Schleier-Wolken, die auf Grund optischer Untersuchungen aus Eiskristallen bestehen. — Und selbst unter der Tropen senkrecht strahlender Sonne fällt die Temperatur auf dem Kilimandscharo in 4000 m Höhe Nachts weit unter 0°, und fand Whymper bei 25—26° Jahreswärme am Meeresgestade selbst, auf dem Chymborazo bei 6250 Meter 6° und 8° Kälte, auf dem Cotopaxi bei 5960 Meter 8° und 2° Kälte, woraus sich auch für jene heissen Gegenden für 5500 Meter Höhe ein Jahresmittel von 0° ergibt.

Wie erklärt sich nun für unsere Breiten bei 20° Jahreswärme 0° in 3300 Meter Höhe, und für die Tropen bei 26° Jahreswärme ewiges Eis in Höhen von 5500 bis 6000 Meter, da doch hoch auf den Bergen, der grösseren Sonnennähe und geringeren atmosphärischen Absorption entsprechend die Wärmewirkung auf feste Körper auf Grund der früher erwähnten Versuche so viel kräftiger sich zeigte, auch die tägliche Wirkung der Sonne eine viel länger andauernde ist.

Die Sache erklärt sich sehr einfach: Die angenehme Wärme, die uns bis zu 50—60 Meter über der Erdoberfläche umgiebt, verdankt jeder Quadratmeter der Luft hauptsächlich der Ausstrahlung und Rückstrahlung gleicher Flächen der unter Umständen bis auf 70—80° erwärmten Erdoberfläche. Wie bedeutend diese Rückstrahlung, erkennt man am besten bei genauen Lufttemperatur-Messungen 1 m vom Boden bei starker Besonnung. Diese Rückstrahlung des Bodens selbst auf das Schwingthermometer ist kaum zu eliminiren, trotzdem dieses doch mit einem Ueberschuss von Luft in unmittelbare Berührung kommt. Dagegen hat die frei schwebende Luft an sich, zu der die Flächen und Massen hochstrebender Berggipfel nur Bruchtheile von Prozenten ausmachen, nach Zenkers Untersuchungen nur geringes Absorptionsvermögen. Die durch so verschiedenes Verhalten bedingten Temperaturverschiedenheiten beweisen Zahlen am besten:

Die Sonnenconstante beträgt nach Zenker 2,1 p. qcm d. i.

also p. qm 21,000 Cal., wovon dem Boden oder dem Wasser 92% zugehen und 89% absorbiert werden d. i. 18700 Cal. gleich 18,7 Kg.-Grade in 1 Minute = 1122 Kg.-Grade in 1 Stunde bei Sonnenhöhe. Der qm Wasser 1 Meter tief wiegt 1000 Kg., 1 Kbm. Erde 2000 Kg. Es kann also 1 Kbm. Wasser in 1 Mittagsstunde um 1,12°, 1 Kbm. Erde um 0,56° erwärmt werden.

Rechnet man als direct getroffen die oberste Schicht von 20 cm, so wird diese erwärmt in 1 Mittagsstunde: Wasser um 5,6°, Erde um 2,8° unter den Tropen, oder in unseren Breiten-graden um 60% d. i. Wasser um 3,8°, Erde um 1,9°. Dieselbe Rechnung, auf die Luft angewandt, ergibt: Dem Gewicht der Atmosphäre hält das Gleichgewicht 32' = 8,66 Meter Wassersäule, die Luftsäule von 1 qm Querschnitt wiegt also so viel wie 8,66 qbm Wasser, also 8660 Kg. Diese absorbieren von der Sonnenconstante von 2,1 = 21,000 Cal. p. qm unter den Tropen beim Zenithstand der Sonne: 8% = 1680 Cal. = 1,68 Kg.-Grade p. Minute = 100,8 Kg.-Grade in 1 Stunde; vertheilt auf die ganze Menge von 8660 Kg. Luft, macht dies also eine durchschnittliche Erwärmung von  $\frac{1}{9}^{\circ}$  C. = 0,118° C. Zieht man in Betracht, dass die staubreichere Luft der unteren Schichten vielleicht mehr als 0,12° C. absorbiert (ausser der Erwärmung durch die Ausstrahlung der Erde) so bleibt für die oberen Luftschichten nur eine Erwärmung von ca. 0,1° C. p. Stunde. Und wiegt 1 Kbm nahe der Erdoberfläche 1,3 Kg, so nimmt derselbe in 1 Stunde 150 Cal. auf, dagegen 1 Kbm in 3 - 4000 m Höhe, der nur 0,8--0,9 Kg wiegt, in 1 Stunde nur 80 Calorien entsprechend 0,1° C. p. Stunde, während die Stärke der Ausstrahlung in den Weltenraum in denselben Höhen auf ca. 0,13 Cal. per qem und Minute = 1300 p. qm = 1,3 Kg.-Grade p. Minute = 78 p. Stunde bestimmt wurde. Diese Ausstrahlung nun wirkt fortwährend Tag und Nacht, während die Einstrahlung nur während des Standes der Sonne über dem Horizont thätig ist.

Die Verhältnisse liegen demnach klar, die niedere Temperatur erklärend für die oberen Luftschichten an sich, sowie die Berggipfel, deren Masse zurücktritt gegen das umgebende Luftmeer.

Immerhin wird das Gleichgewicht der Wärme von Erdoberfläche und Luftmeer erhalten durch die Thatsache, dass jeder Körper, je mehr Wärme er empfängt, auch mehr ausstrahlt, ebenso kältere Körper auch weniger ausstrahlen.

Als ein Wunder gleichsam erscheint es, dass oft im Winter zur Zeit der langen Nächte, bei Windstille, klarem Wetter und hohem Luftdruck die Temperatur auf hohen Bergen höher ist als im Thale. Dies erklärt sich wie folgt: die Besonnung des Erdbodens unten im Thal ist kurz, die Ausstrahlung des Bodens und der unteren Luftschichten während der langen Nächte ist eine starke; die erkaltete untere schwere Luftschicht, durch keinen Wind bewegt, und unter grossem Luftdruck, bleibt unten festgebannt, und die wärmere bleibt ruhig darüber gelagert.

Ebenso bleibt, dem Wunder ähnlich, die Thatsache zu erwähnen, dass aus jenen eisigen Höhen Winde herabfahren können von plötzlich entwickelter nie geahnter Gluth. Dies Beispiel bietet der durch v. Bezold-Berlin auf Grund der Beobachtungen von Sonnblick und Kolm-Saijurn studirte Föhn: Südwind 21° warm und mit 80% Feuchtigkeit beladen strömt der Alpenkette zu und schiebt sich an dieser aus 100 m bis zu 2500 m Kammhöhe hinauf. Beim Aufsteigen dehnt er sich aus und kühlt sich, da er die Arbeit des Aufsteigens hatte, nach dem mechanischen Wärmegesetz auf ca. 6° ab. Der bei dieser Temperatur überschüssig gewordene Wasserdunst fällt als Regen aus, — und der Wind überschreitet den Kamm nun trockner, also auch schwerer, und hat daher, nördlich fortschreitend, zugleich die Tendenz zu fallen. Bei dem schnellen Fall verdichtet sich die Luft wieder, und, arm an Wasserdampf, nur 27% Feuchtigkeit haltend, erwärmt sie sich durch die Compression mehr als auf ihre frühere Temperatur, sogar bis zu 32°. Der Wind fällt von oben mit Gewalt in den durch die Compression frei werdenden Raum, und der so berüchtigte, wüthende, heisse, äusserst trockene Föhn ist in vollem Gange.

---

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Helios - Abhandlungen und Mitteilungen aus dem Gesamtgebiete der Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: [10](#)

Autor(en)/Author(s): Koch Paul

Artikel/Article: [Das Gleichgewicht der Wärme auf der Erdoberfläche. 82-95](#)

