

Licht- und Wärmestrahlung als ökologische Standortsfaktoren.

Von Oscar Drude.

(Mit 2 Abbildungen im Text.)

Zum Wachstum und Gedeihen jeder autotrophen Pflanze ist die spezifische Gestaltung ihrer Wasser und Chlorophyll führenden Organe für das ihre Assimilation verbürgende Licht unter gleichzeitigem Obwalten günstiger Temperaturen innerhalb spezifischer Grenzwerte in erster Linie maßgebend. Diese Notwendigkeiten beherrschen ihre gesamten Gestaltungsverhältnisse und bringen in dem so unendlich mannigfaltig abgestimmten Bilde der nach dem Sonnenlichte verlangenden Pflanzenwelt die einzelne Pflanzengestalt mit ihrem besonderen Standorte in spezifische Abhängigkeit. Auch die Wasserversorgung, die allgemein als erstes Bedürfnis zur unabweisbaren Erfüllung hingestellt wird, ist nicht Selbstzweck, sondern ist der Erreichung der Assimilation am Lichte in entsprechenden Temperaturen dienstbar. Die Licht empfangenden und Sonnenenergie verarbeitenden dünnen Schichten grünen Assimilationsgewebes auf möglichst große Flächen auszuspannen ist eine physiologische Leistung, welche unter den begleitenden Umständen von Lufttrocknis und in der Sonne erhöhter strahlender Wärme nur mit Deckung des Transpirationsverlustes und eigenen Wasserverbrauchs erkaufte werden kann.

So beschäftigen sich denn die diesem Hauptgedankengange folgenden Arbeitsrichtungen zunächst mit den Beziehungen zwischen der Stellung, Form und anatomischen Struktur der assimilatorischen Organe einerseits und Lichtperzeption andererseits, sowie mit den gleichzeitig entweder als notwendiges Bedürfnis auftretenden oder aber bei Übertreibung Gegenanpassung erfordernden, erhöhten Temperaturen, sowie endlich mit dem bei allen diesen Lebensbedingungen und — Gefahren zutage tretenden Wasserverbrauch und dem vom Boden als permanenter Quelle dafür gelieferten Wasservorrat.

Nach der ersteren Richtung hin ist die von E. Stahl im Jahre 1883 veröffentlichte Abhandlung: „Über den Einfluß des sonnigen oder schattigen Standortes auf die Ausbildung der Laubblätter“ [38] grundlegend geworden. Sie faßte, nachdem besonders Tschirch im Jahre 1881 in seiner oftgenannten Abhandlung über einige Beziehungen des anatomischen Baues der Assimilationsorgane zu Klima und Standort auf die Bedeutung der Lage, Zahl und Schutzeinrichtung der Spaltöffnungen hingewiesen hatte, eigene frühere Arbeiten mit den von anderer Seite schon gegebenen Darstellungen zusammen (Arbeiten von Areschoug, Pick, Haberlandt, Pfitzer u. a.) und stellte für das Chlorenchym des Blattes die folgenden Grundsätze auf:

Die Palisadenzellen, in welchen sowohl bei schwacher als bei starker Beleuchtung die Profilstellung der Chlorophyllkörner herrscht, sind die für starke Lichtintensitäten angemessenere Zellform, die flachen Schwammzellen, welche bei schwächerer Beleuchtung der Lichtquelle gegenüber Flächenstellung und bei intensivem Licht Profilstellung zeigen, sind die für geringe Intensitäten angemessenere Zellform. Dies überträgt sich auf physiologische Standortgruppen: an sonnigen Standorten stärkere Entwicklung des Palisadengewebes, an schattigen stärkere Ausbildung des Schwammparenchyms. Die Interzellularräume vergrößern sich mit der Anpassung an geringere Lichtintensitäten, dagegen verstärkt sich die Dicke der Zellwand der anatomischen Elemente bei vollem Lichtgenuß, nimmt die Ausbildung sklerotischer Hypodermfasern an Umfang und Schichtenzahl zu, und nach Maßgabe der Reduktion an Blattfläche nimmt umgekehrt die Gesamtdicke des Blattes zu: Blattgröße und Blattdicke sind bis zu einem gewissen Grade umgekehrt proportional. Ähnliches läßt sich auch an Sonnen- und Schattenformen des Flechtenthallus beobachten. Zahlreiche Einzelbeobachtungen ergänzen diese anatomischen Befunde in bezug auf die Orientierung der Blätter.

Ausführliche Darstellung haben dann der Einfluß äußerer Faktoren und die Bautypen des Assimilationssystems mit Abhängigkeit der Anordnung und Ausbildung vom Lichte bei Haberlandt [14, 15, 16] in den Jahren 1896–1908 gefunden. Den Zweck von Form und Orientierung der Palisadenzellen will dieser Forscher aber auf die beiden Bauprinzipien der Oberflächenvergrößerung und der Stoffableitung auf möglichst kurzem Wege zurückgeführt sehen und erinnert, was die Einfallsrichtung des Lichtes anbetrifft, mit Recht daran, daß bei dem wechselnden Stande der Sonne die in fixer Lichtlage befindlichen Blätter von den Sonnenstrahlen unter den verschiedensten Winkeln getroffen werden, in der mittleren Breite unseres Klimas (50° N.) aber auch im Juni unter

Mittag nur wenig steiler als mit 60° Winkelwert. Selbstverständlich kommt es aber grade auf diese höchsten Sonnenstände von Mai bis Juli an, also auf Einfallswinkel von 50° bis $63\frac{1}{2}^\circ$, deren gefährliche Intensität durch Strukturanpassung gemildert werden müßte, und da liegt es nahe daran zu denken, daß die zunächst (unter der reflektierenden oder wenigstens geschützten Epidermis) getroffenen Palisadenzellen mit Profilstellung des Chlorophylls das Licht gerade in dieser Stellung außerordentlich stark abfangen müssen und als Lichtfilter für die tieferen Schichten des Blattes dienen können. Während an Tagen mit diffuser Beleuchtung vielleicht die Palisaden allein die Hauptarbeit der Assimilation leisten, könnte dies in Perioden sonnenklaren Wetters vielleicht auf das doch auch mit Chlorophyll, und zwar in Flächenstellung ausgerüstete Schwammparenchym übertragen werden, die Anpassung also ähnlich vielseitig und mehrere Zwecke in sich vereinigend sein, wie die Lichtabsorption im Chlorophyll je nach dem Stande der Sonne hoch oder tief am Himmel als Anpassung an das Himmelslicht von Stahl[40] 1909 selbst erklärt wird.

Ich muß gestehen, daß ich bei häufiger Anwendung der Sachs'schen Jodprobe zu Vorlesungs- und eigenen Orientierungszwecken mich oft getäuscht gefühlt habe durch Mißerfolge an stark besonnten Blättern, in deren Palisadenzellen ich gerade eine sehr bedeutende Stärkeanhäufung erwartete. So z. B. bei *Tropaeolum*-pflanzen, welche vergleichend in sechsfacher Abstufung vom hellsten Sonnenschein bis zum tiefen Schatten herangezogen und auf den Stärkegehalt des Blattes geprüft wurden; nie waren die am hellsten gestellten, klein gebliebenen Blätter in lichtstarken Sommersonnenperioden die stärkereichsten. Auch hierauf ist Haberlandt ([14], pag. 251) eingegangen und hat die ungemein rasche Ableitung der Stärke, Entleerung der Assimilationszellen daraus gefolgert. Ich möchte glauben, daß diese Erklärung nicht in allen Fällen zutrifft, oder wenigstens, daß sie den Sachverhalt nicht erschöpft; es wäre sicher wert, durch besondere Versuchsreihen festgestellt zu werden.

Bezüglich der Anordnung und Richtung der Blätter in fixer oder wechselnder Lage, welche immer im Zusammenhang mit der inneren Struktur zu erörtern sind, bedarf es hier nur des Hinweises auf die kurze Zusammenfassung mit Literaturangaben, welche ich selbst in der „Ökologie der Pflanzen“ ([9] 1913, pag. 127, 283—284) und kurz darauf Eugen Warming in der neuesten Bearbeitung seines „Lehrbuchs“ ([44] 1914, pag. 21—32) gegeben haben. Hinsichtlich des anatomischen Blattbaues legt auch Warming die noch nicht befriedigend gelösten

Probleme in folgenden Worten dar: „Fragt man nach dem eingehenden physiologischen Verständnis der Wirkungen des Lichtes, so sind wir über das Wie und Weshalb noch vollständig im Unklaren. Einige meinen, daß es das Licht selbst sei, welches nach seiner Stärke die erwähnten Unterschiede im Bau des Chlorophyllgewebes hervorrufe, können aber nicht sagen, wie das Licht wirke (Stahl, Pick, Mer, Dufour u. a.); andere schließen sich dem Gedanken an, daß die durch vermehrtes Licht vermehrte Transpiration der Grund sei (Areschoug, Vesque und Viet, Kohl, Lesage); wieder andere sind geneigt, auf die durch stärkeres Licht hervorgerufene stärkere Assimilation ein Hauptgewicht zu legen (Wagner, Mer, vgl. auch Eberdt). Daß wir in diesen Unterschieden des Baues von Sonnen- und Schattenpflanzen ein Beispiel für die Selbstregulierung (direkte Anpassung) der Pflanzen sehen müssen, ist kaum zweifelhaft; wir sehen sie bei den plastischen Pflanzen, die ihren Bau nach dem Lichte einrichten, vor unseren Augen von sich gehen, während der Bau in anderen Fällen im Laufe der phylogenetischen Entwicklung geändert und durch Vererbung in zahlreichen Generationen befestigt worden ist.“ Dabei hat dann auch als Grundsatz zu gelten, daß konvergente Anpassungen nur zu homologer Bauverwandschaft führen.

Ausgezeichnete Beispiele für die Blattanpassungen an höchste Insolation und zugleich an die mit ihr verbundene, durch das äußere Klima verstärkte Trockenheit, die ursprünglich in der mitteleuropäischen Flora gesucht und besonders in hochalpinen Regionen nachgeforscht wurden, liefern die subtropisch-alpinen Floren von Chile und den Hochanden, wie sie in den Darstellungen von Karl Reiche ([32] 1907) und A. Weberbauer ([45] 1911) enthalten sind. Während ersterer zugleich blattanatomische Darstellungen (pag. 137, Fig. 7 und pag. 144, Fig. 9) für den Transpirationsschutz beibringt, geben des letzteren Darstellungen der Vegetationsform selbst in den Polster- und Rosettenstauden mit der Kleinheit der Blätter, mit der Aufwärtsrollung ihrer Ränder oder der zusammengeklappten Oberflächenverkleinerung, ihren zum Wasserauffangen geeigneten Vertiefungen und einer außerordentlich wechselnden Behaarung von völliger Kahlheit bis zum dichten Filz eine wahre Musterkarte solcher Blätter, welche nach den drei Seiten ihrer Leistungen gegenüber Strahlung, Wärmebedürfnis und Wasserbedürfnis gleichzeitig zu durchforschen sind. Die zugehörigen anatomisch-biologischen Studien hat Weberbauer in den Botanischen Jahrbüchern für Systematik und Pflanzengeographie, Bd. XXXVII (1905), pag. 60—94 und Bd. XXXIX (1907), pag. 449—461 veröffentlicht.

Jedenfalls ist das Eine bereits erreicht worden: das Licht ist als einer der über Standort und die mit ihm zusammenhängende Struktur der Pflanzen entscheidenden Faktoren vielseitig auch in Messungen herangezogen und hat in der für die Pflanzengeographie maßgebenden, physiologische Lebensbedingungen abschätzenden Klimatologie von bo-

tanischer Seite eine immer mehr zunehmende Beachtung gefunden. Die Maßmethoden verdanken wir Julius Wiesner's [49—53] in jahrelanger, experimentell in freier Natur von den Tropen Asiens durch Wüstenklimate und Mitteleuropa bis zur Arktis betätigter Arbeit gewonnenen Vorschriften und Ergebnissen nach der ursprünglich von Roscoe und Bunsen im Jahre 1862 veröffentlichten Methode, die allerdings, wie jüngst noch von F. Neger ([29] 1913, pag. 89) wiederum einschränkend bemerkt wurde, bei aller Bedeutung doch nur den Anfang einer der Vervollkommnung harrenden Forschungsrichtung anzeigt und vielfach nur annähernde Schlüsse auf die wirklich vorhanden gewesene Intensität der Lichtstrahlen zu ziehen gestattet. Es mag aber auch noch auf das andere Ergebnis aus Wiesner's Versuchen hingewiesen werden, nämlich auf die hohe Bedeutung des Zenitlichtes auch in mittleren Breiten wie in Wien, weil dadurch der oben berührte Einwand von Haberlandt gegenüber Stahl nicht wenig abgeschwächt wird: Sowohl bei direktem als auch bei diffusem Lichte steigt die Intensität mit zunehmender Sonnenhöhe. Während aber an klaren Tagen bis zu etwa 19° Sonnenhöhe das direkte Licht gegenüber dem diffusen gar nicht zur Geltung kommt, nimmt dieser Betrag mit steigendem Sonnenstande zu, erreicht den Wert des diffusen Lichtes und wächst im Maximum ungefähr auf das Doppelte des letzteren an. Bei völlig bedeckter Sonne besteht das Gesamtlicht überhaupt nur aus diffusem Lichte. Aus den Untersuchungen im arktischen Gebiete und aus denen über Heliotropismus im diffusen Tageslichte hat sich dann ergeben, daß dort das Zenitlicht unter normalen Verhältnissen stets viel stärker als das aus irgendeiner anderen Himmelsrichtung kommende Licht ist ([53], Festschrift von Linsbauer und von Portheim, pag. 74). Die Stärke des Oberlichtes im Vergleich zum Vorderlichte wächst daher mit Zunahme der geographischen Breite, wenn man gleiche Flächenstücke des Himmels dabei in Betracht zieht.

Von dieser für die Arktis mit ihren langen Tagen geltenden Regel machen allerdings die alpinen Gebiete mittlerer Breiten eine erhebliche Ausnahme: beides sind Lichtklimate, aber im alpinen Gebiet ist während der Vegetationsperiode die direkte Sonnenstrahlung viel größer als im arktischen Gebiete; in der Arktis erstreckt sich die Wirkung des direkten Sonnenlichtes nur zwischen etwa 15° und 30° Sonnenhöhe, erreicht dabei höchstens die Intensität des diffusen Lichtes — in der alpinen Region wirkt die direkte Sonnenstrahlung bis über 60° und kann dreimal so groß werden als das diffuse Licht.

Somit kommt für die verschiedenen Klimate neben der Verschiedenheit der Standorte eine Ungleichheit der Beleuchtung hinsichtlich der Richtung der Lichtstrahlen im Effekt zustande, die im Zusammenhang mit der Veränderung des Sonnenstandes von Stunde zu Stunde das allgemeine Urteil erlaubt, daß die Stellung und Schutzeinrichtung der Blätter hauptsächlich wohl die mittleren Durchschnittsbestrahlungen jedes Standortes treffen werden, sofern die Blätter nicht autonome Bewegungen zu vollführen imstande sind. Dies mittlere Maß würde es dann auch sein, welches die Blätter mit ihren „Lichtsinnorganen“ treffen wollen. Und hierfür stellt G. Haberlandt ([16], 1908, pag. 621) als das Wesentliche seiner Auffassung der oberseitigen Laubblattepidermis als Epithel für den Lichtsinn die Annahme auf, „das durch geeignete Einrichtungen auf den Innenwänden der Epidermiszellen, die von den lichtempfindlichen Plasmahäuten bedeckt sind, bei senkrechter Beleuchtung eine zentrische, bei schräger eine exzentrische Intensitätsverteilung des Lichtes erzielt wird, wodurch das Blatt ein Mittel zur Verfügung hat, sich über die Richtung des einfallenden Lichtes genau zu orientieren.“ Nach einer Äußerung von Jost ([22] 1917, pag. 291): es unterliege wohl keinem Zweifel, daß die Perzeption des Lichtes in der Pflanze mit photochemischen Prozessen eng verknüpft sei, daß wir aber nicht wissen, wie die Pflanze die Lichtrichtung wahrnehmen könne — scheint diese Auffassung noch nicht allgemein durchgedrungen zu sein. —

Für die Feststellung der ökologischen Standortsverhältnisse zum Lichtbedürfnis der Pflanzen werden die Untersuchungen dadurch sehr erschwert, daß wir, von den im starken Schatten ihren Wohnort besitzenden Arten abgesehen, im allgemeinen den Intensitätsbedarf an Licht während der Vegetationsperiode nicht kennen. Soll die Orientierung der Blätter dazu dienen, um ein mittleres Maximum Licht zu gewinnen, oder um ein schädliches Zuviel zu vermeiden? Vielleicht ist ein Zuviel, sofern es sich um die die Assimilation vermittelnde Strahlung handelt, selten vorhanden, wenn nur dem Standort Wasser genug zur Verfügung steht, um die Verdunstung zu decken. Denn nicht nur die limnischen Uferformationen, sondern auch die Bestände feuchtgründiger Wiesen stehen mit üppiger Vegetation und ohne die vielen Schutzeinrichtungen xerophytischer Standorte im hellsten Sonnenlichte zwischen Äquator und Polarkreis, und es wird später gezeigt werden, daß nicht nur innerhalb der Tropen diese Strahlung maximale Größen erreicht. Ist aber die chemische Lichtenergie für die Assimilation keine Gefahr, keine bedeutsame Schwächung, dann würden sich die

Strukturverhältnisse des Blattes in den genannten Darlegungen von Stahl und von Haberlandt auf den Gewinn nützlicher Strahlung beziehen, die Lichtgenußmessungen nach der Wiesner'schen Methode würden dann für die in ihrer Amplitude durchforschten Arten mit dem Maximum eine erstrebenswerte Höhe, mit dem Minimum aber die schon sehr weit nach hinten liegende Grenze am Ende des assimilatorischen Genügens bezeichnen.

Und die Schutzeinrichtungen des Blattes durch Stellungsrichtung gegen die Mittagsstrahlung der Sonne, durch Verteilung der Arbeit auf verschiedene Zeiten mit wechselndem Sonnenstande, durch Cuticularausbildung mit Lack und Wollhaaren und Filz, Einsenkung der Stomata, Verringerung ihrer Zahl, Kleinheit der Blätter und Abkürzung der Vegetationsperiode, um dem Höhepunkt der am Standort eintretenden Sonnenstrahlung zu entgehen: dies alles würde dann nicht gegen Lichtwirkung und Lichtgenuß, sondern gegen thermische Strahlung und die mit dieser zusammenhängende gesteigerte Transpiration bei meistens erschwerter Wasserzufuhr gerichtet sein.

Es ist merkwürdig: Die Bedeutung wechselnder Lichtintensitäten für die pflanzengeographisch grundlegende Verschiedenheit der Klimate und für die ökologisch begründete Standortverteilung in diesen fand endlich Anerkennung darin, daß man wenigstens nach J. Wiesner's verdienstvollem Vorgange eine bruchteilweise Messung einführte, mit dem Bedauern, es einstweilen noch nicht besser machen zu können; und für die Temperatur und die nach ihr zu beurteilende Transpirationsintensität, welche pflanzengeographisch oft unter Vernachlässigung der Lichtperiode allein als Grundlage der Vegetationszonen angesetzt und rechnerisch verwertet wurden, wählt man noch heute unausgesetzt allein die nach den Angaben im Schatten gewonnenen Mittelwerte! Und selbst die ökologischen Standortsforschungen, welche von den Angaben der meteorologischen Stationen unabhängig sind, vernachlässigen die Insolationstemperaturen oft gänzlich. Nur gelegentliche Einzelbeobachtungen, besonders im Verfolg arktischer Expeditionen und Hochgebirgsreisen, bringen dieselben als Fragmente zur Kenntnis und überraschen mit ihren oft unerwartet hohen Temperaturgraden. Wenige geordnete Monographien liegen vor, welche einen durchgreifenden Wandel dieser mit der thermischen Sonnenstrahlung verübten Vernachlässigung ankündigen.

So besonders E. Rübel's auf mehr als einen Jahreslauf ausgedehnte, erschöpfende Darstellung des Klimas am Berninapafß ([35] 1912), und desselben Verfassers mehr im Sinne der Licht- als der Temperaturmessungen angestellte Untersuchungen über das photochemische Klima I des Berninahospizes ([34] 1908), II der Kanaren und des Ozeans (1909), III von Algerien (1910). — Das Klima der Berninagruppe im weiteren Umkreis hat dann auch Josias Braun ([3] 1913) selbständig bearbeitet und einleitend vielerlei Beobachtungen aus Polargegenden damit in Vergleich gestellt, wie sich solche auch in den zusammenfassenden Handbüchern der Pflanzengeographie und Ökologie von Schimper ([37] 1898), Neger ([29] 1913) und Warming ([44] 1914) unter den zugehörigen Kapiteln finden.

Regelmäßige Beobachtungen über die Radiation neben den Temperaturwerten zum Zwecke phänologischer Korrelationsuntersuchungen hat für die Jahre 1896 bis 1909 E. Vanderlinden ([42] 1910) veröffentlicht, leider nach einer ganz anderen, mit den Werten der Strahlungstemperatur zunächst gar nicht vergleichbaren Methode ausgeführt, welche mittels des Radiometers Bellani die täglich destillierten Alkoholmengen feststellt und demnach Ziffern von Kubikzentimetern angibt, schwankend im Januar etwa von nahe Null bis etwa 10 als Maximum, im Juni—Juli schwankend zwischen sehr niederen Zahlen und einem Höchstwert über 36.

In den Vereinigten Staaten von Nordamerika ist im allgemeinen das Streben vorherrschend neben der Bildung von Temperatursummen aus den Tagesmitteln in gewöhnlicher Darstellung die Evaporation als den bedeutendsten ökologischen Faktor im Zusammenhang mit Niederschlag und Bodenfeuchtigkeit darzustellen. B. E. Livingston hat sich aber in mehreren Abhandlungen besonders auch wegen der verdunstenden Kraft des Sonnenscheins mit dessen Intensität beschäftigt und ein „Radioatmometer“ zu schnellem Gebrauch konstruiert ([26—28] 1911—1913).

Übrigens hat Wiesner selbst die betonte Lücke empfunden, wie aus der Umrechnung seiner Lichtgenußmessung in Kalorien für einen Einzelfall hervorgeht ([51] 1907, pag. 31):

Es ergab sich für das ausgewählte Beispiel von *Poa annua*:

Anfangs März, Kairo, Minimum des Lichtgenusses	=	53,2 Kal.
„ „ Wien, „ „ „	=	108,6 „
Mitte April, „ „ „	=	92,2 „

Also lehrte diese Berechnung, daß in Wien zu der Zeit, in welcher der mittägliche Sonnenstand dem von Kairo gleicht, wegen der gleichzeitig in Wien herrschenden relativ niedrigeren Temperatur daselbst eine größere Lichtintensität zum Gedeihen der *Poa annua* erforderlich sei als in Kairo.

Dieser letztere Rückschluß aber ist nicht zwingend und bleibt wiederum bei dem chemischen Teil des Lichtgenusses stehen. Die Sonne aber strahlt in dem jedem Orte zukommenden Anteil vom Ultraviolett bis zum Infrarot: liegt es nicht näher, den Ausgleich für Wien mit seiner „relativ niedrigeren Temperatur“ in der gleichzeitig einstrahlenden, aber nicht mit gemessenen thermischen Strahlungswirkung zu suchen?

Es mag nützlich sein, an einigen aus R. Börnsteins „Wetterkunde“ ([2] 1913) entlehnten Zahlenbeispielen zu zeigen, um welche Werte und um welche Schwankungsgrößen bei in gleichem Hauptklima gelegenen Orten es sich hier handelt¹⁾.

Die von amerikanischen Physikern von 1902—1910 neu gemessene „Solarkonstante“, nämlich die Wärmemenge, welche außerhalb der Atmosphäre auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche von 1 qcm pro Minute gelangen würde, ergab als Mittelwert 1,902 Kal., also eine Wärmemenge, genügend um 1,9 g Wasser von 15° auf 16° C zu erhöhen.

Es machen nun aber die örtlichen Klimate je nach Höhenlage und der Umsetzung von direkter Strahlung in diffuse daraus sehr ungleiche Werte, indem z. B. in Europa von Spitzbergen bis Montpellier das mögliche Maß von jährlich 75 770 bis bzw. 145 000 Kal. auf je 1 qcm horizontaler Fläche durch die Bewölkung auf nur 22 % für Spitzbergen, dagegen auf 50 % für Montpellier und 55 % für Davos herabgesetzt wird.

Für das Höhenklima von Davos (1560 m) ist folgender Vergleich mit Potsdam (81 m) nach Jahreszeitwenden sehr lehrreich. Es entfallen auf 1 qcm horizontaler Fläche:

Tägliche Strahlungswärme	Potsdam (52° 23' N.)			Davos (46° 48' N.)		
	möglich	wirklich	Proz.	möglich	wirklich	Proz.
im Dezember . . .	59	16	27,1 %	113	61	53,5 %
„ März	277	100	36,1 %	347	195	56,2 %
„ Juni	585	334	57,1 %	658	340	51,7 %
„ September . . .	308	165	50,3 %	428	261	60,9 %

In Potsdam erreicht der Juni den höchsten Prozentsatz (57), in Davos dagegen der August (63,6 %).

Wenn wir in diesem mitgeteilten Beispiel den Dezember als in die Vegetationsruhe fallend unberücksichtigt lassen, so bleibt immerhin noch im Vergleich von März: Juni = 10:33 in Potsdam, dagegen in Davos = nahezu 20:34, ein sehr beachtenswerter relativer Unterschied zu Ungunsten des norddeutschen Beginns der Vegetationsperiode, zumal die absoluten Mengen hier so viel geringer sind.

1) Für ausführlichere Darlegungen zu vergleichen: J. Hann [19] 1908. Zweites Buch: Das solare Klima (Bd. I, pag. 93 f.). Darin: Die von der geographischen Breite abhängigen Licht-(und Wärme-)Zonen der Erde, und: Das solare Klima modifiziert durch die Erdatmosphäre (pag. 102), und: Die diffuse Strahlung des Himmels (pag. 109), Chemische Strahlung (pag. 112). Ferner: Insolation und Exposition (pag. 208).

Man könnte hiernach die von Wiesner eingeführte Messung des Lichtgenusses mit so vielfach betonter starker relativer Wertigkeit des diffusen Lichtes anzweifeln. Aber Börnstein fügt seinen Erläuterungen hinzu, daß es unrichtig wäre, als Wirkung der Wolken nur eine Verringerung der Strahlung anzunehmen. „Bei mittlerem Bewölkungsgrad und niedrigem Sonnenstande konnte die Vermehrung der Sonnenhelligkeit durch diffuses Licht in Davos bis zu 40% betragen, und auch, wenn die Sonne durch einen zarten Wolkenschleier bedeckt war, erwies sich die Gesamthelligkeit größer, als die normale Helligkeit durch unbedeckte Sonne allein gewesen wäre. Daß für die Wärmewirkung ähnliches gilt, darf wohl angenommen werden.“

Ohne diese Erklärung würde ja nahezu das Gesamtmaß der Wärme an einem Orte, der z. B. wie die Faroëer-Inseln der direkten Sonnenstrahlung fast ganz entbehrt, ganz allein durch die Luft- und Wasserströmungen aus wärmeren Gegenden zugetragen werden, während wir mit dieser Annahme für die am Einzelorte herrschende Gesamttemperatur eine dreifache Quelle in Betracht zu ziehen haben (unter Vernachlässigung der etwa aus dem Erdinnern stammenden Wärme): 1. die direkte Wärmeeinstrahlung der Sonne; 2. die indirekte Wärmeeinstrahlung durch Diffusion; 3. die Übertragung von Wärme im fördernden oder einschränkenden Sinne durch Winde und Meeresströme. Unter 1. ist die Erhöhung der Bodentemperaturen selbstverständlich mit inbegriffen; es ist sogar das wesentlichste Hilfsmittel, um die direkte Sonnenstrahlung durch Wärmeabgabe an die nächste Umgebung, z. B. des Standortes einer der Messung unterworfenen Pflanze, zum Ausdruck zu bringen.

Wie unsere ganze Klimatologie, welche wir zumal in der Pflanzengeographie nur als auf Messungen beruhende Grundlage empirisch hinnehmen, auf die Sonnenstrahlung zurückzuführen ist, das zeigt die lehrreiche mathematisch-physikalische Abhandlung von W. Zenker: „Der thermische Aufbau der Klimate aus den Wärmewirkungen der Sonnenstrahlung und des Erdinnern“ ([54] 1895). „Auf dem Grunde der terrestrischen Anfangstemperatur (-73°C) baut als Wärmequelle die Sonnenstrahlung mit all' ihrer Variabilität und mit der schließlichen Abgabe ihrer Wärmemengen an den Weltraum die Klimate auf, ein Vorgang, den zu verfolgen diese Arbeit bestimmt ist“ (pag. 7).

Die Arbeit gipfelt zunächst in der Berechnung einer Tabelle (pag. 11—13), welche, unter Umrechnung von Wiener's ([46—47] 1877, 1879) verhältnismäßigen Bestrahlungsstärken an der oberen Grenze der Atmosphäre, diese

nach Maßgabe der geographischen Breite, Deklination und Abstand von der Sonne in Strahlenmengen (r) für jeden zweiten Breitengrad und für jeden Monat wiedergibt.

So lauten diese Verhältniszahlen für 52° NB. im Jahresdurchschnitt der 12 Monate 2017, für 40° NB. 2411 und für den Äquator **3053**, aber in folgender Monatskurve während der borealen Vegetationszeit:

NB.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.
52°:	1867	2635	3256	3527	3379	2847	2139
40°:	2370	2956	3379	3545	3450	3094	2574
O:	3208	3111	2938	2830	2870	3019	3147

Das allgemein Wichtige liegt also darin, daß nicht etwa gewisse Einzelmonate unter dem Äquator ihr Maximum an Strahlungswerten (r) erreichen, sondern mittlere Breiten mit längeren Tagen im Hochsommer. Das höchste Monatsmaximum liegt (wegen der südsommerlichen Sonnen-nähe) auf dem 42° bis 44° SB. mit 3785 (r) im Dezember, also 580 (r) mehr als im März am Äquator!

Wenn nun auch im Hin und Her der Reflexion und Absorption der strahlenden Wärme und der Lichtdispersion von der oberen Atmosphärengrenze bis zum Erdboden längst nicht die Strahlungsenergie in den in der Tabelle mitgeteilten Verhältniszahlen zur genießenden Pflanzenwelt gelangt, so doch relativ bedeutend viel gerade für unsere mittleren Breiten mit langen Sommertagen, und zwar gemischt aus direkter und diffuser Strahlung. Es bleibt doch noch so ungeheuer viel übrig, daß überall auf der Erde der größte Unterschied zwischen den direkter Strahlung ausgesetzten Vegetationsformationen und den nur indirekt belichteten und erwärmten herrscht, wie dies klimatisch in den Gegensätzen von kontinentalen und ozeanischen Landgebieten sich ausdrückt. Und wie es hier im großem Maßstabe ganz weite Strecken von Wüsten und ariden Steppen betrifft, so zeigt sich im kleineren Maßstabe die Standortverteilung in einem Landgebiete von klimatisch gemischtem Charakter: bis weit in nördliche Breiten hinauf erzeugt die direkte Strahlung in geeigneter Geländeform ein kleines Abbild von Steppen und Wüsten, der Schutz vor derselben in Verbindung mit geeigneter Bodendurchfeuchtung erzeugt die mesohygrophytischen und hygrophilen Formationen. Es ist erlaubt, die den xerophilen Formationen im ersteren Falle zukommenden Schutzorganisationen (im besonderen hinsichtlich der Blattstruktur) als Schutzmaßregeln gegen zu hohe Erwärmung und gegen die mit dem direkt bestrahlten Boden zugleich entstehenden hohen Transpirationsverluste anzusehen, während die Assimilationsenergie in den somit geschützten Strukturen der Blätter durch die Sonnenstrahlung

günstig beeinflußt wird und bei diffuser Beleuchtung nicht die notwendige Höhe erreichen würde.

Noch wissen wir gar nicht, welche energetischen Mengen der Gesamtstrahlung die assimilierende Pflanzenwelt in ihrer Vegetationsperiode entnimmt; gemessen sind immer nur die Anteile des durch das Absorptionsspektrum des Chlorophylls ausgezeichneten sichtbaren Mittelteils. Beschaut man aber die Energieverteilung im Gesamtspektrum, wie sie z. B. nach Langley 1881 im „Handwörterbuch“ ([17] 1912, Bd. VII, pag. 839, Fig. 14) dargestellt ist, erwägt man die alsbald noch genauer anzuführende Wärmeverteilung im Spektrum¹⁾ und berücksichtigt man gleichzeitig, daß die Messungen der von Temperaturen abhängigen Lebensprozesse, Atmung, Assimilation, Wachstum usw. durchschnittlich etwa 35° C als Optimum ergeben haben und daß diese Temperaturen z. B. im deutschen Klima fast nur als Sonnentemperaturen in Frage kommen, so wird man sehr stark darauf hingewiesen, bei klimatologisch-pflanzengeographischen Fragen und besonders in der vergleichenden Standortsökologie über die bisher übliche Verwendung der Schattentemperaturen hinaus die Sonnenstrahlung direkt in Messungen und Berechnungen einzuführen. Zumal in der Pflanzenphysiologie selbst, welche stets ihre Prozesse in Abhängigkeit sowohl von der Temperatur als auch von dem Lichte zu bringen gezwungen ist, sind bei der Wirkungsweise des Sonnenlichts mehr als zuvor die „reine Temperaturstrahlung“ und die „Lumineszenzstrahlung“ auseinander zu halten, wobei denn mit den Strahlungsmessungen auch die Strahlungsumformungen in Wärme und in veränderte Strahlung (Fluoreszenz) zur Untersuchung ihrer Gesamtwirkung in den Lebensbedingungen der assimilierenden Pflanzenwelt gelangen werden. Immer wird sich das direkt durchstrahlte Blatt ganz anders verhalten als das diffus beleuchtete, und zwar nicht nur der einfallenden Lumineszenz wegen. Im Gegenteil, nachdem aus Wiesner's Messungen über den Lichtgenuß die hohe Bedeutung des diffusen Lichtes, der starke Anteil desselben an der Gesamtintensität hervorgegangen ist, bleibt nun zu untersuchen, was nach anderen Richtungen hin die für viele Pflanzen unentbehrliche direkte Strahlung zu leisten hat, und es ist höchst wahrscheinlich die Verbindung reiner Temperaturstrahlung mit der Lumineszenz der Sonne.

1) Vgl. Handwörterbuch der Naturw., Bd. IX, pag. 801: Die Gesamtstrahlung umfaßt 1. die dunklen ultravioletten Strahlen von 0,1—0,4 μ (2 Oktaven); 2. die Lichtstrahlen von 0,4—0,76 μ (1 Oktave), und 3. die dunklen ultra(infra)roten Strahlen von 0,76—100 μ , also ungefähr 7 Oktaven.

Wie sich die Klimate der Erde unter reiner Strahlenwirkung der Sonne unter den verschiedenen Breiten ausgestalten würden, auch darüber geben Zenker's Tabellen ([54], pag. 50) Aufschluß. Man sieht in unseren Breiten die schlimmsten Kontinentalwüsten vor sich und Extreme von ungeahnter Heftigkeit, wie aus den hier folgenden Zahlen für die Monatsmittel der solaren Landtemperatur für einige uns interessierende Breiten hervorgehen mag:

Breite	Winter			Frühling			Sommer			Herbst			Jahr
	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	
52° N.	−19,5	−22,5	−19,2	−10,5	2,6	15,5	25,2	28,2	24,6	14,7	1,8	−10,8	2,6
30° N.	11,5	9,0	11,7	18,1	26,0	31,8	35,2	36,0	34,8	31,2	25,3	17,8	24,1
16° N.	25,1	23,4	25,3	29,5	33,9	36,0	36,4	36,2	36,2	35,5	33,3	29,3	31,7
0°	34,7	34,0	34,9	36,4	36,8	35,1	32,7	31,5	32,5	34,6	36,2	36,0	34,6

Also am Äquator eine Amplitude von 5,3° C, unter 16° N von 13,0°, unter 30° N von 27,0° und unter 52° N eine solche schon von 50,7° C, die sich nordwärts noch mehr steigert! Glücklicherweise besitzen wir ein viel mehr ausgeglichenes Klima: aber wenn wir die Temperaturen einer aufeinander folgenden langen Reihe sonniger Sommertage auf ihre Insolationstemperaturen hin vergleichen, so rücken diese den theoretischen Werten sehr nahe und können sie in kurzen Extremperioden übertreffen. So habe ich für die Pentade 20.—24. Juni 1917 die Mittel jedes Tages nach den Schattentemperaturen von Maximum und Minimum im botanischen Garten zu Dresden berechnet zu 24,7° C, 25,5° C, 21,2° C, 17,5° C, 19,5° C, dagegen aus den Angaben der Insolationsthermometer und dem nächtlichen Minimum in freier Strahlung zu 30,5° C, 32,2° C, 26,2° C, 22,4° C, 25,3° C (s. unten!)

Solche Temperaturmittel sonniger Tage bilden die mehr oder weniger regelmäßig während eines großen Teiles der drei Sommermonate anhaltende Klimelage an trockenen und der Sonnenstrahlung frei ausgesetzten Standorten in unserer Flora! Wie der Vergleich mit den oben nach Zenker mitgeteilten Monatsmitteln des solaren Klimas lehrt, werden diese für gewisse kurze Zeiten in heißen Sommern noch übertroffen, wenn auch die Sicherheit der Berechnung von Solartemperaturen aus Thermometerangaben noch zu wünschen übrig läßt.

Wie wichtig diese erhöhten Temperaturen für das Pflanzenleben, sei es zunächst bei kühleren Lufttemperaturen im fördernden, sei es

dann bei über dem Optimum (35°C) liegenden Graden im Gefahr bringenden Sinne, sein müssen, erhellt aus einer doppelten Betrachtung.

Zunächst aus der seit langem bekannten physikalischen Tatsache, daß die intensive Wärmestrahlung der Sonne grade in demjenigen Spektralteil der sichtbaren Spektralhälfte bereits dem Maximum nahe kommend einsetzt, wo das Chlorophyll mit seinem Hauptabsorptionsstreifen auftritt.

Die Verhältniszahlen nach den Messungen der Physiker Meloni, Müller, Franz und Knoblauch sind kurz folgende:

Wärmewirkung im Grün	0,65
„ „ Gelb und Orange	1,00
„ „ Rot bis zur Grenze	2,00
Im Infrarot, und zwar in der ersten Zone jenseits Rot	2,83
„ „ zweiten „ „ „	1,75
„ „ dritten „ „ „	0,50
„ „ vierten „ „ „	0,00

Es beginnt also die starke Wärmewirkung gerade in denjenigen Spektralzonen, welche von der chemischen Lichtintensitätsmessung nach dem J. Wiesner'schen Verfahren nicht mehr getroffen werden und gipfelt unmittelbar jenseits. Es erscheint an sich sehr wahrscheinlich, daß sich, wenigstens im kühleren Klima, die Lumineszenz mit der strahlenden Wärme in der Chlorophyllabsorption günstig vereinigt¹⁾.

Der zweite Gesichtspunkt liegt in der Transpiration, welche bekanntlich durch Licht stark gefördert wird. Schon im Jahre 1876 hatte J. Wiesner Untersuchungen über den Einfluß von Licht und Wärmestrahlung ([48]. — Siehe auch ([53] 1903, pag. 43) unter Vergleich von etiolierten mit grünen Maispflanzen angestellt und dabei gefunden, daß sich beim Wechsel von hell-diffusem Tageslicht zum Sonnenlicht die Steigerung in den etiolierten Pflanzen wie 1:1,8 verhielt, dagegen in den grünen wie 1:7,6, obgleich die Transpirationswiderstände in den

1) Vgl. dazu Ursprung ([41] 1903, pag. 67): „Nachdem Maquenne die Wärme absorbierende Kraft des Chlorophylls aufs deutlichste nachgewiesen hatte, wurde es durch die Versuche Mayer's wahrscheinlich, daß diese Absorption einen solchen Betrag erreicht, daß sie für das Blatt von Bedeutung sein kann. Die von mir gefundenen Resultate erheben diese Vermutung zur Gewißheit, zeigen aber auch, daß die Werte Mayer's für die Absorption des Chlorophylls zweifelsohne zu hoch sind.“ pag. 111: „Diejenige Substanz des Blattgewebes, welche den Hauptteil an der Wärmeabsorption trägt, ist das Wasser.“ Die der Absorption gegenüberstehende Diathermansie des Blattes hat Ursprung im Mittel zu 70 % der auffallenden Strahlen bestimmt.

ersteren unzweifelhaft geringer sind. Er schloß daraus, daß nicht die Spaltöffnungen die früher ihnen zugeschriebene Hauptrolle dabei spielen, sondern die Chlorophyllfunktion: die absorbierten Strahlen werden in Wärme umgesetzt und vermehren die Spannung der Wasserdämpfe im Innern der Gewebe, so daß direkt bestrahlte Pflanzen sogar in gesättigt-feuchter Atmosphäre transpirieren können. Nun bedarf es aber im Rot und Orange nicht einmal, wie Wiesner dabei voraussetzt, der Umsetzung leuchtender Strahlen in Wärme. Es ist sehr schwierig, hier die Licht- und Wärmewirkung voneinander zu trennen.

Aber wir finden die Schlußfolgerung selbstverständlich, daß die strahlende Wärme durch die sie begleitende Wassererfordernis derjenige Faktor ist, welcher für sich allein schon (und nicht nur durch die die Blätter umgebende trockenwarme Luft) bei Überschreitung gewisser Grenzwerte die xerophytischen Anpassungsstrukturen notwendig macht.

Diese direkt auf die Pflanze einstrahlenden hohen Wärmegrade zu messen und nun endlich auch neben der selbständig weitergehenden Lumineszenzmessung der chemischen Intensität zu Mittelnahmen und Durchschnittsangaben für die im Gelände sich bietenden Sonnenstandorte zu verarbeiten erscheint eine nicht länger abweisbare Aufgabe. Die meteorologischen Stationen gehen an dieselbe nur zögernd heran, und zwar wegen der schwierigeren Vergleichbarkeit der Beobachtungen von Station zu Station; für pflanzengeographisch wie für agrikulturphysikalisch arbeitende Forscher aber darf dies kein Hindernis sein, denn aus ihren an verschiedenartig liegenden Beobachtungsorten gesammelten Messungen wird sich in gegenseitigem Ausgleich allmählich immer deutlicher die richtige Kenntnis des solar-thermischen Klimas herausbilden ¹⁾.

Die Instrumente dazu, wie sie z. B. von Hann-Jelinek ([18] 1884, pag. 89—94) für das österreichische Beobachtungsnetz seit langem beschrieben worden sind, sind das Radiationsthermometer mit geschwärzter Kugel im Vakuum, sowohl als Maximum- wie als Schwankungsthermometer ausgeführt, daneben aber auch eben- solche Thermometer mit geschwärzter Kugel ohne Vakuumhülle, auch zur Beobachtung der nächtlichen Strahlung, endlich zum Registrieren

1) Vgl. Drude [8], Bd. I, pag. 444—451. — Von vielen anderen, gleiche Ziele verfolgenden Floristen sind ähnliche Anregungen ergangen, so besonders von M. Rikli 1911 ([33] pag. 223): „Der Botaniker muß die Klimatologie seinen speziellen Zwecken dienstbar machen, sei es, daß er aus den meteorologischen Tabellen die notwendigen Daten sorgfältig auswählt bzw. verarbeitet, sei es, daß er mit verifiziertem Präzisionsthermometer ausgerüstet selbst im Felde beobachtet.“

der Sonnenscheindauer der Sonnenscheinautograph nach Campbell und Stokes (vgl. Hann ([18], pag. 92 mit Fig. XX).

Diese Instrumente sind noch merkwürdig wenig in Gebrauch; eine neu mit großer Wetterwarte in eigenem Hause eingerichtete deutsche Bergstation besaß in diesem Jahre unter ihren Instrumenten kein Vakuumradiationsthermometer. Auch der Sonnenscheinautograph wird mehr an landwirtschaftlichen Versuchsstationen mit meteorologischem Arbeitsprogramm verwendet als an den offiziellen Wetterwarten; er leidet an dem Fehler, daß die Zeiten des Sonnenscheins nach den in Blaupapier eingebrannten Punkten, Flecken und unzusammenhängenden Linienstreifen der zwischen Bestrahlung und Bewölkung wechselnden Tage nur ungenau abgeschätzt werden können, und daß die verschleierte Sonne sich überhaupt nicht in der großen Glaskugel zur Brennkraft konzentriert. Dann sind also die abgelesenen Stunden solche von stärkerer thermischer Sonnenwirkung, und auf diese kommt es an. Auf diese Beobachtungen sich stützend, hat Helmuth König ([24] 1896) seine Vergleiche für Europa ausgearbeitet.

Wichtiger ist ein Mangel, den Hann ([18], pag. 91) für die Strahlungstemperaturen folgendermaßen ausdrückt: „Das durch die Ablesung am Radiationsthermometer erhaltene Resultat ist unabhängig von der Dauer der Besonnung und der Höhe der Sonne. Diese beiden Verhältnisse müssen berücksichtigt werden, wenn man den Einfluß der Strahlung auf das Klima untersuchen will. Die Höhe der Sonne läßt sich allerdings leicht berechnen, allein eine sichere Methode, die Dauer des Sonnenscheines oder die totale Menge der durch Strahlung aufgenommenen Wärme zu bestimmen, ist ein bis jetzt noch nicht erfülltes wissenschaftliches Bedürfnis.“

Die Meteorologen beurteilen die Erfüllung eines solchen Bedürfnisses nach der Möglichkeit sicherer Vergleiche für ihre Stationen und zur Berechnung von Mittelwerten; die klimatographisch arbeitende Pflanzengeographie ist freier, doch gleichfalls von letzteren abhängig. Es ist nicht einzusehen, an welchen Hindernissen die Anwendung genau registrierender Vakuumradiationsthermometer im Zusammenhang mit den Aufzeichnungen der Sonnenscheinautographen für eine Lösung dieser Aufgabe scheitern sollte. Haben doch diese Instrumente, wenn auch zögernd und mit einschränkenden Bemerkungen über ihren meteorologisch exakten Wert, allmählich Eingang in die nach vergleichbaren Mittelwerten trachtende meteorologische Klimatologie gefunden (vgl. Hann ([19] 1908, pag. 13).

Die mit ihnen allein zu erzielenden Berechnungen leiden nun aber für die rein standortsmäßigen Forschungsziele der Ökologie an der „Unnatürlichkeit“, d. h. an der momentanen Reaktion von Vakuum-Radiationsthermometern gegenüber auch nur ganz kurzzeitiger Insolation.

Meistens sind ja diese Instrumente als Maximumthermometer konstruiert zu einer einmaligen Tagesablesung. Haben sie aber frei beweglichen Quecksilberfaden, so findet bei jeder Trübung, bei jedem vor der Sonne herziehenden Wölkchen ein unaufhörliches Niedergehen statt, dem ebenso schnell ein rapides Aufsteigen folgt, ebenso an heiteren Tagen wie an solchen, wo die Sonne nur kurzzeitig durch Wolken bricht. Und an solchen Tagen kommt der schnell erreichte hohe Stand demjenigen der sonnigen Tage sehr nahe, wenn nur die Sonne ebenso hell strahlt.

Dies hat die Aufmerksamkeit auf die sogenannten „freien Schwarzkugelthermometer“ gelenkt, welche ebenso wie die Vakuumradiationsinstrumente eingerichtet nur der umgebenden luftleeren Hülle entbehren und sich daher auf ein mittleres Maß von Wärmegraden zwischen der Temperatur der sie umgebenden und ihnen Wärme entziehenden Luft einerseits und den Vakuumthermometern andererseits einstellen. Je kühler die Luft, je bewegter dieselbe durch abkühlende Winde, desto ähnlicher ist ihr Stand denen der Schattenthermometer, aber doch bei intensiver Sonne und sogar im Winter an Eistagen denselben bedeutend überlegen. Die Annahme liegt nahe und ist durch die verschiedensten von mir angestellten Proben bestätigt, daß diese „freien Insolationsthermometer mit geschwärzter kleiner Kugel“ den Temperaturen, denen die vom Winde frei umspülte Pflanzenwelt in der Sonne ausgesetzt ist, am meisten entsprechen. Besonders aber ist auch als Ergebnis physiologischer Versuche (s. Stahl 1909, Ursprung 1903) festgestellt, daß die Temperatur besonnener Blätter ziemlich nahe mit derjenigen solcher freier Schwarzkugelthermometer übereinstimmt. Diejenige Messungsmethode aber, die dieses Ziel möglichst erfüllt, hat ökologisch den größten Wert¹⁾.

1) Ich weiß sehr wohl, daß der Standpunkt der heutigen Klimatologie, wie sie z. B. ein führender Fachmann wie Julius Hann ([19] 1908, Bd. I, pag. 14) vertritt, ein anderer ist. Die Angaben der gewöhnlichen Blank- und auch Schwarzkugelthermometer gelten als vage und als nicht verwertbar zu klimatologischen Untersuchungen. Dies absprechende Urteil bezieht sich aber wohl in erster Linie darauf, daß diese Instrumente sich nicht zu „homogenen Temperaturreihen“ eignen. „Ein Erfordernis vergleichbarer Mittel ist, daß sie homogen sein müssen, sich auf dieselbe Lokalität beziehen, bei ungeänderten Einflüssen der Umgebung derselben, auf dieselbe geeignete Aufstellung der Thermometer und ungeänderte etwaige Korrekturen der letzteren“ (Hann, Bd. I, pag. 42). Aber wie hätte nach diesen Grundsätzen A. Schade ([36] 1912) wohl die ökologischen Temperaturbedürfnisse und Gegenwirkungen in den Felsschluchten des Elbsandsteingebirges ermitteln sollen, wo es gerade darauf ankam, die Vielseitigkeit der Standortbedingungen festzustellen und gegeneinander abzuwägen? Was nützt dazu eine meteorologische Hauptstation im Bereich der sächsischen Schweiz?

Ohne Kenntnis dieser Versuche erstrebte H. Hoffmann ([20, 21]) für das ihm vorschwebende Ziel der Errechnung „phänologischer Vegetationskonstanten“ etwas Ähnliches; aber er hat bedauerlicherweise nur blanke, frei bestrahlte, und nicht Schwarzkugelinstrumente zur Ermittlung der Tagesmaxima verwendet. Seinem Beispiel ist Julius Ziegler in seinen phänologischen Studien gefolgt, und so enthält die wertvolle Abhandlung über das Klima von Frankfurt a. M. ([55] 1896, pag. LIII und Tab. 41) wenigstens eine einzige Temperaturkurve aus dem Ende des vorigen Jahrhunderts, die den Vergleich von Schatten- und Insolationstemperaturmaxima gestattet.

Auch Hoffmann hat sich bei seinen Messungen ursprünglich der geschwärzten Thermometerkugeln bedient. Aber Siegmund Günther ([12]) schreibt in seiner, vom geographischen Standpunkte aus vortrefflich verfaßten Phänologie im Jahre 1895 (pag. 26 Anm.): „Fraglich mochte es noch erscheinen, ob nicht ein Wärmemesser mit berußter Kugel (Schwarzkugelthermometer) einem gewöhnlichen Instrumente (Blankkugelthermometer) vorzuziehen sein möchte. Hoffmann, der auch diesen Punkt wohl beachtet hat, versichert jedoch, die Empfindlichkeit eines Thermometers der ersten Gattung gehe so weit über die Grade hinaus, die man auch bei Pflanzen noch als wirksam annehmen kann, daß man besser bei der üblichen Beobachtungsweise verbleibe.“

Dies Urteil kann ich nicht bestätigen und es bezieht sich auch vielleicht nur auf die Vakuumstrahlungsthermometer. Die freie Schwarzkugel entspricht nicht allein den ökologisch zu stellenden Anforderungen am besten, sondern sie wird in den mit ihr erzielten Ablesungen an heißen Sommertagen mit dauernder Insolation noch weit übertroffen von den Angaben solcher Blankkugelthermometer, welche auf xerophytisch beanlagten Standorten in die niederen Blättergewirre von Rasenbildnern (z. B. *Festuca ovina*, Weingärtnera, *Nardus*, *Potentilla argentea* und *verna*) eingesenkt, deren Wärmeertragung anzeigen. Die in freier Luft $1\frac{1}{2}$ —2 m über den Boden aufgestellten Blankkugelthermometer dagegen zeigen je nach ihrer reflektierenden Beschaffenheit und Größe eine schwankende Zahl von Graden unter den Angaben der berußten Kugeln, und diese letzteren stehen selbstverständlich viel tiefer als die Vakuumradiationsthermometer.

Das Spiel der Instrumente ist demnach an einem sonnigen Sommertage ein derartiges, daß die in der Sonne mit dem Schleuderthermometer in bewegter Luft gemessene Temperatur in langsamem Ansteigen von Stunde zu Stunde ihr Maximum etwa um 2^h nachmittags erreicht, um dann noch langsamer wieder zu

sinken. Diese Angaben sind die niedrigsten. Das Vakuumradiationsthermometer steigt vom Sonnenaufgang an schnell zu viel bedeutenderer Höhe, die sich zwischen 9^h und dem nahe 12^h oder 1^h liegenden Maximum nicht mehr stark ändert, um nachmittags (wegen der dann meist zunehmenden Dunstigkeit) rascher zu fallen, als es vormittags anstieg. Die freien Schwarzkugel- und Blankkugelthermometer stellen sich auf zwischen der Luft- und der Vakuumradiationstemperatur liegende Grade ein, erreichen aber ihr Maximum erst um 2^h nachmittags oder noch später. Die auf dem bestrahlten Boden (Sand, Kies, Granit-schotter und dgl.) liegenden und ebenso die in Grasrasen oder niedere Stauden, Halbsträucher, eingesenkten Blankkugelthermometer zeigen nach der Kühle des frühen Morgens meist schon von 9^h vormittags an eine höhere Temperatur als das frei aufgestellte Schwarzkugelinstrument, sind um Mittag noch der Temperatur der Vakuumradiation stark unterlegen, steigen aber weiter und weiter an, während jene fällt, und erreichen oft um 3^h oder auch 4^h ein Temperaturmaximum, welches dem der Vakuumradiation nahekommt oder dasselbe häufig sogar noch erklecklich übertrifft, um dann gegen Abend rasch zu sinken und in der klaren Nacht einen oft bedeutend tieferen Stand als die frei bewegte Luft in 1½—2 m Höhe über dem Boden anzunehmen.

Der frei bestrahlte Boden, und mit ihm die ihn deckende Chamäphytenvegetation und Grasrasen, zeigt also nicht allein die stärkste absolute Wärmeschwankung, sondern geht auch in seinem Maximum häufig noch über die Vakuumradiation hinaus¹⁾.

Das folgende, für die wichtigsten Stunden eines Tages auf Sachsens höchstem Berge des Erzgebirges durchgeführte Beispiel mag das allgemeine Ergebnis zahlreicher Beobachtungen erläutern; es zeichnet einen Spätsommertag mit merkwürdig hohem Temperaturgange aus, hat aber neben der Vakuumradiation nur ein gewöhnliches Blankkugelthermometer in bewegter Luft zum Vergleich. Die letzte Spalte (mit eingeklammerten Zahlen) gibt die Differenz zwischen der in fortgesetzter Einstrahlung höher als im Vakuum ansteigenden Bodentemperatur BR. — bzw. des im Rasen von *Poa annua* dort oben auf dem Kies um das Gasthaus eingeführten blanken Thermometers — und der mit Schleuderthermometer gemessenen Lufttemperatur t^0 an.

1) Vgl. dazu auch die Ableitungen von G. Kraus (1911), pag. 131—132: „Luft und oberflächliche Bodentemperatur sind in der Vegetationszeit morgens 6^h völlig oder nahezu gleich; sehr rasch überholt die Bodentemperatur die der Luft, die Differenz vergrößert sich bis zu einem Maximum in den Nachmittagsstunden, um im Laufe der Nacht beinahe oder völlig sich auszugleichen.“

Gipfel des Fichtelbergs, den 8. September 1917, Freistation in 1214 m Höhe.

Stunde	Luft t°	Vakuumradiation 1,60 m über Rasen	Himmelsansicht	Blanke Kugel in Sonne 1 1/2 m über Rasen	BR: Kiesboden mit Poa annua, Kugel im Rasen eingesenkt	Überschuß über Luft t° in Spalte 2
9 h vorm.	17,0	35,2 (R—t° = 18,2)	klar und ganz wolkenlos	22,5	24,5	(BR—t° = 7,5)
10 h "	17,6	37,4 ("		22,5	28,4	(" 10,8)
11 h "	18,7	38,2 ("		23,0	31,2	(" 12,5)
12 h mittags	20,0	37,6 ("		23,0	32,5	(" 12,5)
1 h nachm.	19,7	37,5 ("	etwas dunstig	23,5	35,0	(" 15,3)
2 h "	20,1	33,0 ("		Maximum: 38,8!		(" 18,8)
3 h "	—	35,5 ("		26,0	Die Sonne schwindet 17° (Schatten) 16° (") im Rasen: 12,5	(" 0,8)
5 h "	18,0	26,5 ("		—		
5 h 45 m	—	22,0 ("		—		
6 h 0 m	15,2	19,0 ("	Sonne sinkt in Nebel unter	—		(" —1,5)
6 h 15 m	—	16,8 ("		—		
6 h 30 m	13,8	14,0 ("		—		
Nacht:		—		Minimum der Nacht:		(" —5,0)
Minimum:	11,0			6,0		

Im botanischen Garten zu Dresden gleichzeitig:

10 h vorm.	—	38,0	heiter und wolkenlos	Schwarze Kugel in Sonne	34,5	Erdboden mit Rasen 36°	(7°)
11 h "	—	39,0			35,0		
12 h mittags	26,0	39,0			34,0		
Maximum	29,0	46,0			37,5		

Also selbst auf Bergen in der subalpinen Region, deren Insulationsstärke in Vakuumradiation ja noch durch diejenige hochalpiner Regionen weit übertroffen wird, wo sie im Gegensatz zu den meist sehr niederen Temperaturen der bewegten Luft bis gegen oder sogar über die dortigen Siedepunkttemperaturen anzusteigen vermag — vgl. J. Hann ([19] 1908, „Das Höhenklima“, Bd. I, 201 bis 211 — haben die obersten besonnten Fichten und Ebereschen an der Baumgrenze bis in den September mit zwischen 25° bis 30° C liegenden Temperaturen zu rechnen, welche ihre Assimilation unzweifelhaft sehr günstig beeinflussen werden. Aber auf Geröll wachsende Gräser und Stauden steigen sogar dann noch auf gegen 40° C betragende Sonnentemperaturen, und die oft überraschend hohen Vegetationsgrenzen von Ruderalpflanzen wie *Poa annua* erklären sich ohne weiteres aus ihrer Ansiedelung auf solchen von der ursprünglichen Bergheide entblößten Standorten.

Erscheinen diese unnatürlich und der Ergänzung bedürftig, so will ich aus fast gleicher Bergeshöhe, nämlich 1160 m an der Keilbergslehne mit unberührtem Nardetum, Myrtilletum und Cetrarietum durchsetzt von Krüppelfichten, von abnorm warmen Tagen am 18.—19. Mai 1917 folgende Messungen angeben:

18. Mai, mittags 1^h—1^h 30^m; klare Sonne bei lebhaftem Ostwind.
 Maximum in Südlage eines 1½ m hohen Hügels bedeckt mit *Calluna*, *Myrtillus* und *Vitis idaea* in noch trockener Decke der vorjährig abgefallenen Blätter 53° C
 do. Gleichzeitig im niederen Polster eines Nardeto-*Callunetums* mit *Vaccinium uliginosum* und *Amblystegium* 44° C
 do. Gleichzeitig im torfigen Boden zwischen den oberflächlichen Wurzeln von *Vaccinium* *Vitis idaea*, schwach beschattet durch deren Blätter 25° C
 do. Lufttemperatur in derselben Zeit schwankend zwischen 17° bis 18° C
19. Mai, mittags 12^h—1^h; klar und windstill, nach voller Insolation während des ganzen Morgens.
 Erdoberfläche im voll bestrahlten, flachen Narduspolster, Maximum: 46° C
 do. Eingesenkt zwischen die Flechtenheide von *Cetraria* und *Cladonia rangiferina*, Südlage eines von früh an voll bestrahlten Heidehügels 57° C
 do. Eingesenkt zwischen die feuchten Rasen von *Amblystegium*, *Hypnum Schreberi* in Nordlage desselben Heidehügels 15°—16° C
 do. Lufttemperatur — Maximum dieses Tages (Schleuderthermometer in Sonne) 20° C
 Ein Wassertümpel im tiefen Torf zeigte gleichzeitig 9,5° C

Diese Zahlen, mit Ausnahme der wie sonst mit Schleuderthermometer gemessenen Lufttemperaturen alle in natürlichen Bodenbedeckungen

gewonnen, sprechen für sich selbst. Sie zeigen unmittelbar nach der Schneeschmelze im Berglande (in der ersten Maiwoche lag dort oben noch alles unter Schnee!) Strahlungstemperaturen, welche das phänologisch noch nicht sichtbar gewordene Pflanzenleben rasch zu erwecken vermögen, zugleich aber an den verschiedenen Expositionen eines und desselben niederen Heidehügels gen S. und N. derartige durch die Strahlung hervorgerufene Kontraste, daß es sofort zu verstehen ist, wenn diese schmalen Flanken von spezifisch verschiedenen Elementarassoziationen besiedelt sind: nordwärts Moose bis zu Sphagnum-polstern zwischen den Heidehügeln, südwärts eine Flechtenheide, deren harte, trockene Thallome schon in dieser sengenden Maisonne spröde unter den Füßen knirschen. Im Lichte solcher Wärmeverteilung betrachtet, finden wir hier wie an allen möglichen anderen Standorten jene Gruppenbildung thermischer Genossenschaften mit verschieden hohem Feuchtigkeitsbedürfnis, wie sie G. Kraus in seinem Versuch einer exakten Behandlung des Standorts auf dem Wellenkalk ([25] 1911, pag. 110—130) vortrefflich dargelegt hat. —

Um auch der Kehrseite gerecht zu werden und daran zu erinnern, daß im Mai im Gebirge nahe der Baumgrenze, wo die Vegetation kaum erwacht ist, die Sonnenstrahlung früh am Morgen beginnend ganz allein die Assimilation daselbst, durch die höhere Temperatur unterstützt, schnell einleiten kann, folgen hier noch einige Messungen an demselben Tage in einem kleinen Bachtal um 1000 m Höhe. Das nächtliche Minimum (auf *Sphagnetum*) hatte $+1,2^{\circ}\text{C}$ betragen; ein warmer Gewitterregen war niedergegangen, aber am Morgen strahlte die Sonne klar vom wolkenlosen Himmel, Luft $-t^{\circ}$ zwischen 6^h und 7^h vormittags: $6^{\circ}-7^{\circ}\text{C}$. — Die folgenden Messungen in Sonne:

Wiesenlehne mit schon erblühter <i>Caltha palustris</i> , von Schmelzwasser überspült	$7^{\circ}-10^{\circ}\text{C}$
Am Rande des schmelzenden Schnees mit austreibenden <i>Ranunculus aconitifolius</i>	$1,0^{\circ}\text{C}$
15 cm davon entfernt mit schon 1—2 dm hohen Stengeln des <i>Ranunculus</i> und großen grünen Rosetten der <i>Luzula silvatica</i>	$6^{\circ}-7^{\circ}\text{C}$
1 m davon entfernt an einer schon länger schneefreien Lehne gegen die Sonne	$17^{\circ}-18^{\circ}\text{C}$
7 ^h 30 ^m vorm. auf der Oberfläche des bestrahlten <i>Sphagnetum</i>	15°C

Also: Die Lufttemperatur des frühen Morgens würde wahrscheinlich zur Einleitung der Assimilation nicht genügend gewesen sein; die Sonnentemperaturen leiten sie dagegen ein bis dicht an den Rand der schmelzenden Schneelager und bis auf den wasserüberspülten Wiesenboden! Am gleichen Tage kann in kaum 150 m Höhendifferenz die Sonne einerseits allein die Assimilations- und Wachstumsprozesse her-

vorrufen, andererseits eine für dieselben gefährliche Übertemperatur und Dürre. Das ist die Ökologie des Standorts. —

Die in freier Natur an den verschiedensten Standorten gewonnenen Erfahrungen sind unerläßlich zu dem Zwecke, Aufschluß über das Maß der den Pflanzen zu Teil werdenden Temperaturen in Verbindung mit der Lumineszenz zu erhalten, welche letztere sich ja auch schon einigermaßen aus der eingestrahnten Wärme vergleichsweise beurteilen läßt. Aber so wie Rübel ([35]) erst dadurch, daß er seine Temperatur- und Insolationsbeobachtungen in mehr als 2200 m Höhe über ein volles Jahr ausgedehnt hat, seinen Mitteilungen über dieses Alpenklima den vollen Wert sichert, so bedarf es weitergehender Stationsbeobachtungen in zweckmässiger Verteilung.

In Dresden wurde mit der vor 25 Jahren vollzogenen Eröffnung des neuen botanischen Gartens auch eine botanisch-meteorologische Beobachtungsstation mit trefflichen Fueß'schen Instrumenten begründet, und seit jener Zeit liegen also Aufzeichnungen über Sonnenscheindauer und Insolationstemperaturen mit und ohne Vakuumkugeln, vergleichsweise die letzteren sowohl an Blank- als an Schwarzkugelthermometern, vor, die einer genaueren Überarbeitung noch harren. Eine recht interessante Probe derselben geben aus dem jüngst vergangenen, durch einen der sonnenreichsten und regenärmsten Juni mit ähnlich sich anschließendem Juli ausgezeichneten Jahre die hier in etwas kleiner Kurvendarstellung gezeichneten Vergleiche der täglichen maximalen Vakuumradiation VR., der am freien Schwarzkugelthermometer abgelesenen Maxima und der in einem an gleicher, ganz frei vom Winde umspülten Stelle stehenden Jalousiehäuschen (konstruiert nach Hann-Jelinek 1884—1893) abgelesenen Maxima der Schattenthermometer, dazu die Angaben der nächtlichen Minima in demselben Häuschen. Unterhalb der letzteren Kurve sind die täglichen Sonnenscheinstunden zusammen mit den Niederschlagshöhen angegeben, und zwar entspricht die Abszissenparallele von 5° C einer Sonnenscheindauer von 10 Stunden (das Maximum beträgt also 7° C entsprechend 14 Stunden, in welchen die Glaskugel des Instruments den Sonnenlauf in das Blaupapier eingebrannt hat, das Minimum am 1. Juni beträgt 3 Stunden). Bei den an gleicher Stelle eingetragenen Niederschlägen bedeuten 5° C = 10 l auf das Quadratmeter Fläche (= 10 mm Regenhöhe), und diese Höhen haben an den vier Tagen: 1. Juni 7,0 mm, 3. Juni 1,7 mm, 22. Juni 0,2 mm und 27. Juni 0,2 mm, zusammen also nur 9,1 mm im ganzen Monat betragen!

Der Juli 1917 brachte glücklicherweise sogleich am 1. eine erlösende Niederschlagshöhe von 20,9 mm, der 2. Juli noch 2,9 mm und der 3. Juli 1,7 mm, welche die drohende Gefahr einer Vernichtung der Ernte mit 25 $\frac{1}{2}$ l auf den Quadratmeter abschwächten und am 9. und 10. Juli mit zusammen 28 mm Regenhöhe erwünschte Verstärkung erhielten. Außerdem regnete es im Juli noch am 12. 0,6 mm, am 18. 2,4 mm, am 19. 12,5 mm, am 20. 4,4 mm, und dann erfolgte nach einem Staubregen am 29. Juli von 1,4 mm am folgenden Abende ein furchtbares, aber ganz örtlich beschränktes Gewitter mit verwüstendem Hagelschlag und 38,5 mm gemessener Niederschlagshöhe.

Im Vergleich mit diesem durch drei große Regentage (davon einer: der 9. Juli, allein im Juni—Juli 1917 ohne Sonnenschein!) ausgezeichnet-

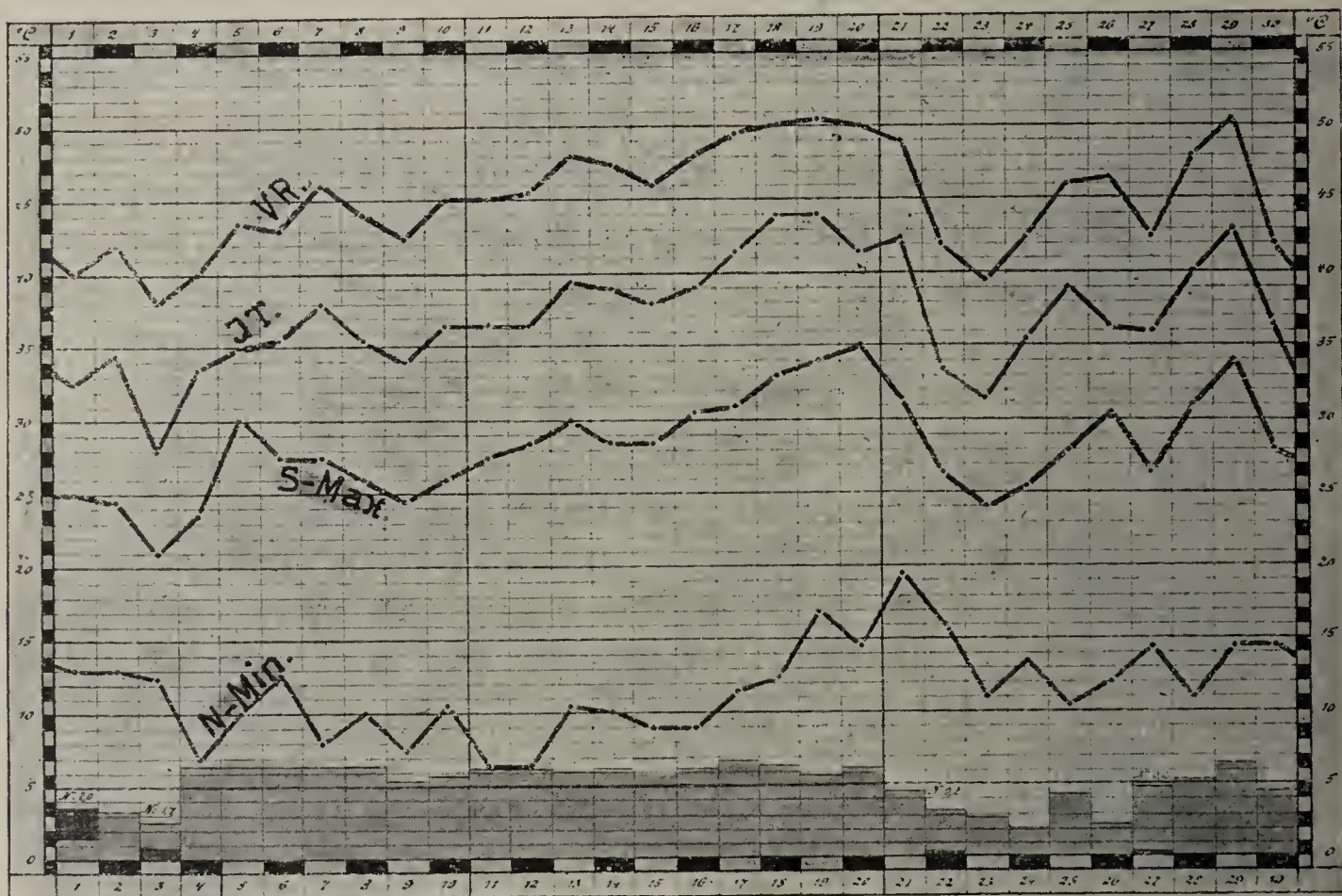


Fig. 1 (entworfen und berechnet von Kanzleiassistent M. Metzner).

Insolations- und Schattentemperaturen im botanischen Garten Dresden, Juni 1917, mit gleichzeitiger Angabe der Sonnenscheindauer und Höhe der Niederschläge. VR. = Vakuumradiation, JT. = Insolationsmaximum am freien Schwarzkugelmeter, S-Max. = Maximum des Schattenthermometers, N-Min. = nächtliches Minimum. Die Mittelwerte für den ganzen Monat betragen: VR. = 45,0° C. — JT. = 37,2° C. — S-Max. = 28,3° C. — N-Min. = 11,6° C. — Das übrige im Text.

neten Juli zeigt nun in einer besonders lehrreichen Weise der Juni, was an strahlender Wärme die Vegetation aushalten muß in einem allerdings für unser Klima abnormen Monat mit dem höchsten Sonnenstande, und was sie — wenn auch nicht ohne Beeinträchtigung — aushalten kann. In der Dekade vom 10.—21. liegen sämtliche Vakuumradiationsmaxima zwischen 45 und 50° C, die Schwarzkugelmaxima zwischen 36 und 44° C! Was will es dem gegenüber besagen, daß

das Schattenthermometer ein mal 35°C erreicht hat? Die Leistungen der Vegetation können nur nach ihrem Aushalten im heißen Sonnenbrande während 11 bis 14 Stunden beurteilt werden, und es sei auch hier nochmals hervorgehoben, daß die an der Oberfläche des dauernd bestrahlten Bodens, auch in locker bestandenen Getreidefeldern, herrschenden Temperaturen sich zwischen den beiden obersten Kurven bewegen und öfters die Angaben der Vakuumradiation in solchen niederschlagslosen Zeiten übertreffen!

Um das Beobachtungsmaterial der strahlenden Wärme zur Beurteilung der Jahresamplitude auch auf kalte Winterszeiten zu ergänzen, sei erwähnt, daß auch an Eistagen mit sehr tiefliegendem Mini-

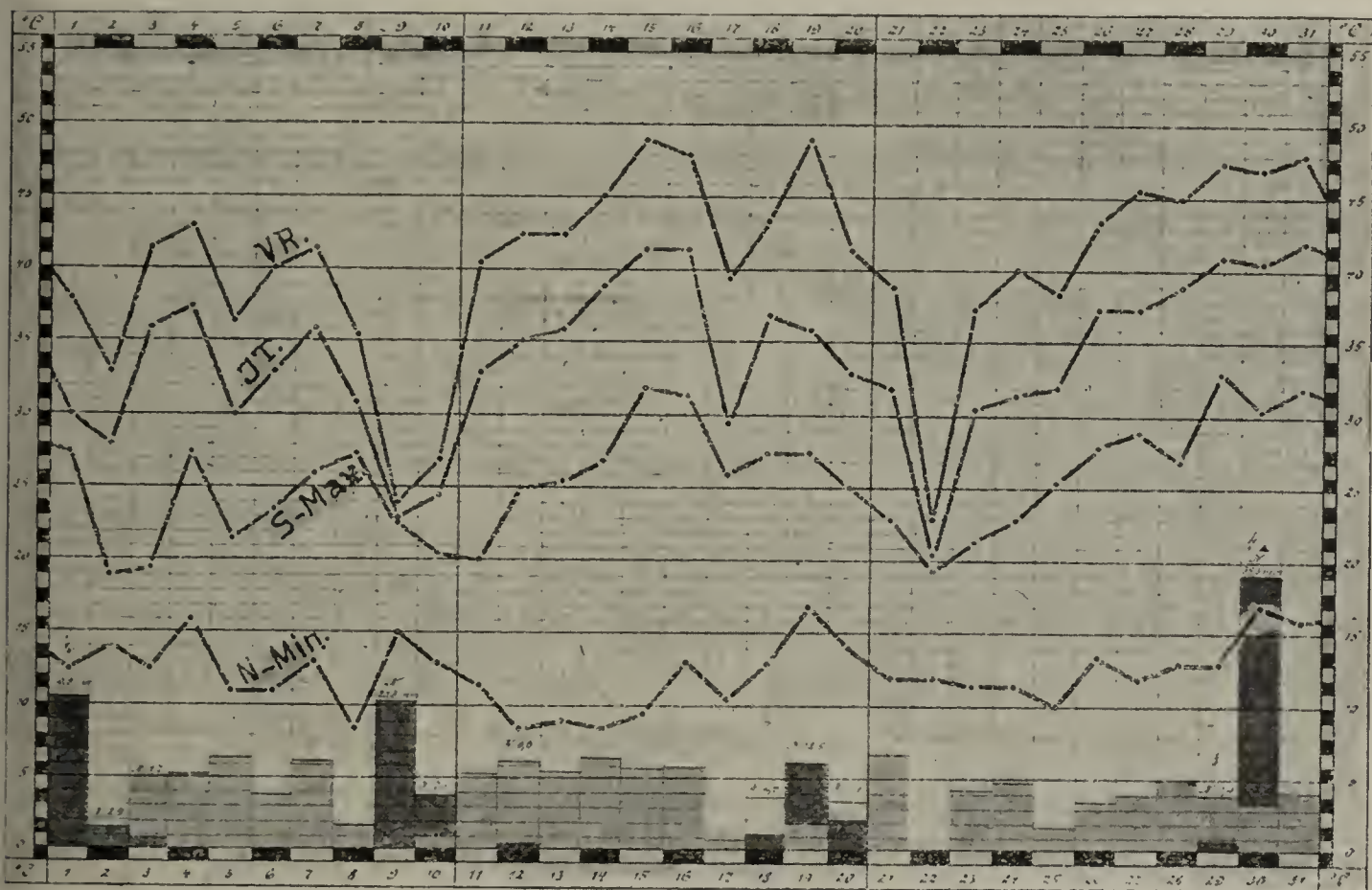


Fig. 2. Insolations- und Schattentemperaturen, Sonnenscheindauer und Höhe der Niederschläge im Juli 1917. Bezeichnungen wie in Fig. 1. Die Mittelwerte für den ganzen Monat betragen: $VR. = 40^{\circ}\text{C}$. — $JT. = 34,0^{\circ}\text{C}$. — $S-Max. = 25,6^{\circ}\text{C}$. — $N-Min. = 12,3^{\circ}\text{C}$. — Das übrige im Text.

zum die Vakuumradiation regelmäßig, klare Sonne vorausgesetzt, sich bis etwa 10°C über den Nullpunkt erhebt, während die freie Schwarzkugel oft unter Null bleibt. Beispiel: 21. Januar 1917, Minimum der Nacht fast -20°C , 1^h mittags: $VR. + 5,5^{\circ}\text{C}$, dagegen $JT. - 1,0^{\circ}\text{C}$ und $S-Max. - 4,5^{\circ}\text{C}$.

Eine lose mit grauer Leinwand umzogene Thermometerkugel zeigte 0°C , demnach etwas mehr als die freie Schwarzkugel.

Geschützte, gegen die Mittagssonne offen liegende Standorte zeigen auch an Frost- und Eistagen bedeutend gehobene Temperaturen auf ihrer Oberfläche und Umgebung, zugleich auch durch Reflexion von der schützenden Wand eine bedeutende Erhebung der Vakuum-radiation über das am ungeschützten Ort frei stehende Stations-instrument.

So folgende Angaben an dem Standorte eines Feigen- und Pfirsichbaums nahe einer Hauswand gen SSW. Ganz klarer Sonnentag.

19. Dez. 1917	Blank- kugel	Schwarz- kugel	Vakuum- radiation	Erdboden	Luft t° im Schatten	Vakuumradiation in der Station
10h	+ 2°	+ 3,5°	+ 10°	(noch im	— 2,3	Max. + 10,3 [+ 4,2 Max. der freien Schwarz- kugel in der Station]
11h	+ 3,1	+ 5,2	+ 14,1	Schatten)	— 1,5	
12h	+ 3,6	+ 5,7	+ 16,6	+ 4,0	— 1,0	
1h	+ 3,0	+ 5,1	+ 17,0	+ 9,0	— 0,7	
2h	+ 3,1	+ 4,0	+ 14,6	+ 11,1	— 0,5	
3h	+ 1,0	+ 1,8	+ 6,8	+ 7,0	— 1,5	
4h	— 1,3	— 2,1	— 2,0	+ 1,6	—	

Ebenso wie an dieser Überwinterungsstelle im Garten gehen während der Vegetationszeit an den natürlichen Standorten die Temperaturen zwischen den Blättern der unmittelbar den Boden deckenden xerophytischen Stauden und Gräser, oder die steinigten Bodenstandorte des schotterigen Hügelgeländes selbst, schon bei horizontaler Boden-lage weit über die Ablesungen der in 1,60—2 m über dem Boden in bewegter Luft aufgestellten Blank- und Schwarzkugelthermometer und gehen meist dicht an die neben diesen abgelesenen Vakuumradiationen heran, wofür ich noch einige Belege aus den Exkursionen des letzten heißen Sommers beibringe.

25. August 1917. Bosel bei Meißen, in der granitischen Hügel-formation.

Wetter bis 10h vormittags windig und halb heiter, von 10—11h 15m Sonne strahlend klar. Wind lebhaft. Ablesungen der verschiedenen Instrumente während dieser Zeiten 10—11h 15m vormittags ergaben:

Luft — t° (Schleuderthermometer in Sonne) . .	18,5	23,0	22,8
Vakuumradiation in 1,60 m Höhe (in Winde)	39	42,2	41,5—42,8
Blankkugel — t° 1 m über Oberfl. zwischen Rosa	23	23,3	22,5
„ im Rosenschatten auf der Erde liegend,			
nachher Sonne	18,5	24,5	27,0
„ zwischen den Grundblättern von Cen- taurea maculosa über Granitkies,			
bestrahlt	30,5	36,8	38,2—40,0
„ zwischen dem Rasen von Festuca			
ovina	26,5	36,5	37,0—37,8

Gleichzeitige Ablesung im botanischen Garten Dresden, Stationsinstrumente:

Vakuummradiation	39—41
freie Schwarzkugel	31—32,5

17. Juni 1917. Liebstadt im Erzgebirge. Ganz heiterer, heißer Sommertag. Messungen über den Einfluß der Bodendecke auf die Wärmestrahlung in verschiedenen Formationen.

1. Talwiese 400 m hoch mit *Meum athamanticum*.

9h vorm. Vakuummradiation 1 m über dem Wiesenboden	45,0
Blankkugel frei auf <i>Aulacomnium</i> zwischen <i>Meum</i>	51,1
Luft — t° über der Wiese	24,1
Erdboden in 1—2 cm Tiefe im <i>Meum</i> -Rasen	23,5

2. Freie Feldhöhe bei 540 m (Feld mit noch jungem Hafer).

12h mittags. Vakuummradiation 1 m über Feldboden	47,3
Blankkugel frei im kurzen Grasrasen am Rain	45,4
Luft — t° (mit Schleuderthermometer, Wind)	25,0

3. Lichtbewaldeter Hang bei 520 m, Gneisgeröllboden, mit *Rubus idaeus* und (in diesem fast regenlosen Monat welkendem) *Hypericum perforatum* bewachsen. Sonnenlicht gebrochen.

12h 30m nachm. Vakuummradiation je nach dem Zutritt der Strahlung	27,5—35,0
Blankkugel frei auf besonntem Geröll neben <i>R. idaeus</i>	45,0
„ im beschatteten Rasen von <i>Festuca ovina</i>	23,0
Luft — t° (mit Schleuderthermometer) über der Geröllfläche	24,2

4. Feuchte Talwiese bei 400 m, hochgrasig mit Hochstauden, *Alopecurus* u. a. Arten.

2h 0m nachm. Vakuummradiation 1,20 m über dem Grasboden	47,7
Blankkugelmaxima auf besonnten Blättern (<i>Alchemilla</i> , <i>Bistorta</i>)	33,0
„ eingesenkt in das Blättergewirr am Wiesenboden	22,0
Luft — t° (im Winde) in der Höhe des Radiationsthermometers	27,0

5. Botanischer Garten Dresden, Ablesungen der Stationsinstrumente von 12h—3h nachm. Vakuummradiation	46,5	48,0	49,2	49,5
„ freies Schwarzkugeltherm.	40	40,5	43,0	41,5

Also nicht nur der Grasrasen am Rain 12h mittags, sondern auch der besonnte Geröllboden 12h 30m mit Himbeeren, beides in Bergeshöhen über 500 m, hatten höhere Temperaturen auszuhalten, als sie die freie Schwarzkugel an der Station Botanischer Garten in 114 m Höhe etwa gleichzeitig aufwies! Jene Temperaturen gehen nahe an die Vakuummradiation heran, deren Bedeutung für die praktische ökologische Temperaturbestimmung entsprechend wächst.

Feine, zur Bestimmung der Temperatur im Innern von Blattflächen besonders hergerichtete Instrumente besaß ich nicht und die

durch Auflegen oder Umwickeln der Thermometerkugeln mit dünnen Blättern erzielten Resultate erschienen mir nicht sehr vertrauenerweckend. Dagegen habe ich, nach Kenntnisnahme der entsprechenden Stellen von E. Stahl's so vielfältig anregendem und lehrreichen Buche über die Biologie des Chlorophylls ([40] 1909, pag. 68—77) in den Junimonaten mehrerer Jahre gleichfalls Versuche mit *Cactaceen*, *Sempervivum* und *Aloë* angestellt, welche ganz ähnliche Zahlen in den Temperaturgraden lieferten, wie sie dort angegeben sind¹⁾. Die Pflanzen standen in Töpfen auf weiter kiesig-sandigen Beetanlage, oder ausgepflanzt zwischen Syenit und Urkalk. Die von E. Askenasy [1] schon 1875 einmal an *Sempervivum alpinum*, und zwar im Innern einer Rosette beobachtete Temperatur von 52° C habe ich einmal zwischen den Kanten eines *Echinocactus* abgelesen, gleichfalls ohne irgendeine spätere Schädigung als die Narbe an der durch das Einsenken des Thermometergefäßes verletzten Stelle. Temperaturen bis zu 50° C werden sicherlich auch auf den Standorten unserer Sukkulanten alljährlich vorkommen, wenn die Vakuumradiationen nach 7 Stunden Sonnenschein am Vormittage mittags 50° C überschreiten.

Im übrigen verweise ich auf den in A. Ursprung's Abhandlung ([41] 1903, pag. 68 f.) enthaltenen Hauptabschnitt über die Temperatur der Blätter in tabellarischer Übersicht, mit dem in der letzten Dekade des August gewonnenen Resultat, daß Schattenblätter von *Ulmus* eine Temperaturschwankung zwischen 13° C und 27° C zeigten, besonnte von *Saxifraga crassifolia* eine solche zwischen 13° und 36° C, und die von drei Sukkulanten 12° C bis 49½° C. — Ich würde es für zweckmäßig halten, solche Messungen auszudehnen auf Zeiten höchsten Insolationsstandes bei niederen Lufttemperaturen, um den auch in Ursprung's Ziffernreihen hervortretenden Überschuß des besonnten Blattes gegenüber dem freien Schwarzkugelthermometer als einen Nutzeffekt beurteilen zu können.

Aber bei Versuchen, welche zwei oder drei Thermometer gleichzeitig rings um den Scheitel derselben Pflanze (*Mamillaria*, *Echinocereus*, *Echinocactus*) oberflächlich eingesenkt ablesen ließen, zeigte sich zugleich die ganze Richtigkeit der von Stahl (a. a. O., pag. 72—75) geäußerten Meinung, daß in dem Bauprinzip derselben mit vorspringenden Kanten und Leisten, zu schweigen von dem dicht sich zusammenneigenden Stachelkranz über dem Scheitel selbst, ein nicht unwesentliches Schutzmittel gegen die zu lange Andauer der hohen, tödlichen Temperatur zu erblicken sei. Denn die Thermometerangaben wichen immer untereinander ab und näherten sich 50° stets nur an der gegen die Sonne zur Stunde unbe-

1) Im Auszuge mitgeteilt (Drude [9] 1913, pag. 128).

schützten Stelle, um dann zu sinken. Mit dem Sonnenbogen am Himmel umkreist eine Zone intensivster Durchwärmung den Scheitel.

I. Beispiel: 21. Juni 1917.

12^h mittags. Eigene Thermometerablesungen am Platze der Kakteen: Luft — t° = 29° C, freie Schwarzkugel 40° C, Vakuumradiation $46,5^{\circ}$ C.

Eingesenkte Thermometer in *Echinopsis* und *Echinocereus* sind auf ungefähr 40° gestiegen, zeigen aber an der Sonnenseite $+1,5^{\circ}$ und an der Schattenseite $-2,5^{\circ}$ mehr bzw. weniger.

1^h nachm. Luft — t° = $30,4^{\circ}$ C, freie Schwarzkugel 41° C, Vakuumradiation 48° C.
Echinopsis: Sonnenseite 44° C, Scheitelnähe $41,8^{\circ}$ C, Schattenseite $37,4^{\circ}$ C.
Echinocereus: Sonnenseite 46° C, näher am Scheitel 45° C, Kantenschatten 40° C.

2^h nachm. Luft — t° = $31,0^{\circ}$ C, freie Schwarzkugel 39° C, Vakuumradiation 38° C.
 (Bmk. Durch atmosphärische Trübung ist die Radiation, welche überhaupt an diesem Tage, wie aus meiner Kurvendarstellung Fig. 1 ersichtlich, nicht sonderlich hoch war, rasch gefallen. Die durchhitzte Luft und die Pflanzen steigen aber noch weiter an. Taupunkt 13° C, relative Feuchtigkeit 35 %.)

Echinopsis: Sonnenseite 45° C, Scheitelnähe $37,5^{\circ}$ C, Schattenseite 36° C.

Echinocereus: abgerückte Sonnenseite 44° C, Scheitel noch 45° C, Kantenschatten 38° C.

4^h nachm. Wolken am Himmel.

Luft — t° = $29,0^{\circ}$ C, freie Schwarzkugel $30,8^{\circ}$, Vakuumradiation $31,5^{\circ}$ C.

Echinopsis: frühere Sonnenseite 38° C, am Scheitel 32° C, Schattenseite $33,8^{\circ}$ C.

Echinocereus: abgerückte Sonnenseite $35,5^{\circ}$ C, Kante jetzt bestrahlt 40° C.

II. Beispiel: 15. Juni 1917.

Einzelnes gegen SSW gerichtetes Blatt von *Sempervivum tectorum*.

Temperatur außen: 1^h 30^m 47° C; 2^h 0^m $48,8^{\circ}$ C; 2^h 30^m $50,0^{\circ}$ C; 4^h 0^m 42° C.

Im Innern der Rosette: „ 42° C; „ $39,2^{\circ}$ C; „ $38,3^{\circ}$ C; „ 33° C.

An diesem Tage betrug die in der Station um 2^h abgelesene Vakuumradiation nur 46° C, und das Maximum des freien Schwarzkugelthermometers 38° C.

Man sieht also deutlich, daß mit Rücksicht auf bestimmte ökologische Vegetationsformen und ihre Standorte die Angaben der Vakuumradiationsthermometer, welche Hoffmann als zu hoch für praktische Verwendung in diesen Beziehungen verwarf, für bestimmte Durchschnittszwecke, und besonders für die Standortsökologie von ausgesprochen xerophytischem Charakter, zur direkten Verwertung mit heranzuziehen sind.

Wie man das machen soll, ergibt sich aus Beachtung des oben besprochenen Umstandes, daß nur in Verbindung mit langwährender Sonnenscheindauer diese Vakuumradiation auf Pflanze und Standortserwärmung bedeutsam wirkt, während an Tagen mit kurzzeitigem Sonnenschein das freie Schwarzkugelthermometer in seiner dann von

den Schattenmaximis überhaupt sehr viel weniger abweichenden Höhe einen zutreffenden Maßstab für das Sonnenklima liefert, wie seine Angaben überhaupt den am leichtesten in vergleichbarer Form zu fassen den Ausdruck sowohl für Durchschnitts- als auch für Extremdarstellungen zur notwendigen Ergänzung der meteorologischen Tabellen von heute bilden, soll sich die Pflanzengeographie weiter mit fortschreitendem Nutzen derselben bedienen.

Aber die Ökologie fordert mehr, und wir geographischen Floristen wollen uns unsere eigenen Messungen in richtig zu treffender Auswahl denn auch gar nicht nehmen lassen. Zu diesen gehören Messungen der Bodeninsolation in verschiedenen Expositionen auf verschiedenem Substrat in erster Linie, auch unter Beachtung des Neigungswinkels der Hänge mit verstärkender oder abschwächender Wirkung¹⁾. Naturgemäß werden diese Exkursionsbeobachtungen wechselvoll sein und kurze Zeiten umfassen, wie wir das ja auch an J. Wiesners Studien über den Lichtgenuß sehen. Und deswegen bedarf es auch für solche einer geordneten dauernden Beobachtung an Stationen, welche dann die Methoden in Messung und Zahlenverwertung vervollkommen können und den kursorischen Feldbeobachtungen erst ein festes Rückgrat verleihen. — Die hier in Fig. 1 (pag. 250) gegebene gesamte Juni-kurvendarstellung zeigt, daß bei einer Klimalage wie im vergangenen Sommer solche Ansprüche an die Ertragungsfähigkeit von strahlender Wärme unter hoher Trockenheit nicht kurzzeitige Ausnahmen, sondern schwerwiegende periodische Erscheinungen darstellen.

Die Berechnung einer solchen zweiten, die Angaben der Vakuumradiation für die Standortsökologie direkt mit verwertenden thermischen Kurve neben den einfachen Registrierungen der freien Schwarzkugelthermometer erfordert eine Erhöhung der letzteren für eine neue Bildung von Mittelwerten in Abhängigkeit von der am (in die Papierstreifen einbrennenden) Sonnenscheinautographen abgelesenen Strahlungsdauer.

Es wird ein Bruch gebildet aus der im Sonnenklima möglichen und faktisch vorhanden gewesenen Sonnenscheindauer $\frac{S}{\bar{S}}$, und mit diesem Bruch (der in abgekürzter Form berechnet werden kann wegen der den Instrumenten-anhaftenden, zu persönlicher Abschätzung der Stundendauer zwingenden Ungenauigkeit) wird multipliziert die Differenz d zwischen Vakuumradiation VR und freier Schwarzkugel-

1) S. Peucker [31].

insolation IT in Zentesimalgraden; diese Differenz addiert zu der letzteren Angabe, also $IT + d$, ergibt dann erhöhte Temperaturangaben, besonders wichtig für die Gewinnung der Maxima, welche so genau, als es zunächst aus einfachen Zahlenreihen möglich erscheint, die dem bloßen, ebenen Boden und der ihn lückenhaft deckenden chamaephytischen Vegetationsdecke zukommende Wärmestrahlung wiedergeben.

Beispiel für die Pentade 20.—24. Juni 1917.
S = 16 Stunden. Temperaturmaxima.

	20. Juni	21. Juni	22. Juni	23. Juni	24. Juni	Mittel
S	12 $\frac{1}{2}$ Std.	9 Std.	6 $\frac{1}{2}$ Std.	6 Std.	4 Std.	7 $\frac{1}{2}$ Std.
VR	50°	48°	42°	39 $\frac{1}{2}$ °	42 $\frac{1}{2}$ °	44,4° C
IT	41 $\frac{1}{2}$ °	42°	33 $\frac{1}{2}$ °	31 $\frac{1}{2}$ °	35 $\frac{1}{2}$ °	36,8° C
d	8 $\frac{1}{2}$ °	6°	8 $\frac{1}{2}$ °	8°	7°	7,6° C
d · s/S	6°	4°	3°	3°	2°	3,6° C
IT + d	47,5°	46°	36,5°	34,5°	37,5°	40,4° C
(Schatten t°) . . .	(35°)	(31,5°)	(26,5°)	(24°)	(25,5°)	(28,5° C)
[Nachtminimum] . .	[14,5°]	[19,3°]	[16°]	[11°]	[13,5°]	[14,9° C]
[Tagesmittel] . . .	[24,7°]	[25,5°]	[21,2]	[17,5]	[19,5]	[21,7° C]

Tagesmittel aus IT + d und dem nächtlichen Minimum des Erdbodens berechnet:
| 30,5° | 32,2° | 26,2° | 22,4° | 25,3° | 27,3° C

Über den Vergleich dieser Mittelwerte mit denen des errechneten solaren Klimas nach Zenker's Tabellen s. oben pag. 239.

Der Vergleich des Pentadenmittels von 27,3° C mit dem nach früheren Methoden allein zur Geltung gekommenen Mittel nach Schattentemperaturen zu 21,7° C zeigt die klimatische Bedeutung dieser Sonderberechnung, mit welcher wir für unsere bestrahlten Hügellandschaften in den Vergleich mit gemäßigt-sommerheißen Steppenklimaten hineinrücken. Das aber zeichnet gerade unser mitteldeutsches Klima gegenüber dem atlantischen aus; die entsprechende Berechnung, für England ausgeführt, würde viel geringere Unterschiede aufweisen, eine solche für die FaroërinseIn, auf denen nach Ostenfeld ([30] 1901, pag. 32—37) im 25jährigen Durchschnitt der Juni 9,7° C mit nur 1,3 Sonnentagen (6 im ganzen Jahresdurchschnitt!) als klimatischen Ausdruck besitzt, noch sehr viel weniger. Und im Bereich der mitteleuropäischen Pflanzengeographie allein würde sich viel schärfer, als es die jetzigen klimatischen Mittelwerte und Extreme zulassen, das Klima des deutschen Nordwestens, das der sonnigen mitteldeutschen Hügellandschaften, der nebel- und regenreichen oberen Mittelgebirgsregionen und endlich das der sonnenbestrahlten inneren Alpenlandschaften mit ihren hoch herauf geschobenen Baumgrenzen abheben.

Deshalb über eine mit klimatischen Vegetationslinien zusammenhängende Frage hier eine kurze Einschaltung: In einem kleinen, gedrängt inhaltsreichen Vortragsreferat hat H. Brockmann-Jerosch ([5] 1913) über eine Vegetationslinie gesprochen, die schon von jeher das Interesse auf sich gezogen hat, über die obere Baumgrenze in den Alpen, welche in den zentralen Gebieten im Vergleich zu den nördlichen und auch den südlichen Randketten bedeutend gesteigert ist (Säntis 1725 m — Bernina 2350 m — Sottoceneri 1950 m.) Nach Abweisung früherer Versuche, eine Erklärung dafür im Verlauf entsprechender Temperaturlinien zu finden, weist er auch die 10°-Juli-isotherme zurück. „Die am weitesten (wie der Verlauf der Baumgrenze) nach oben gebogene Temperaturkurve ist die Juli-Mittagstemperatur. Allein auch sie, wie überhaupt alle mittleren Temperaturen, reicht nicht aus, um die Baumgrenze zu erklären.“ Eine Figur erläutert, wie in den äußeren Alpenketten die Bäume schon bei einer verhältnismäßig hohen Temperatur aufhören, in den Zentralalpen dagegen erst bei einer niedrigeren. Es müssen also hier andere Klimaverhältnisse so günstig sein, daß bei einer tieferen Durchschnittstemperatur die Bäume noch möglich sind, und Brockmann-Jerosch will dafür in erster Linie den „Temperaturverlauf“ verantwortlich machen. „An Orten, die sich durch kontinentales Klima auszeichnen, ist die Temperatur während des Tages verhältnismäßig hoch, während der Nacht dagegen tief. In der Mitteltemperatur, die zudem im Schatten gemessen wird, kommt dieser Ausschlag nicht zum Ausdruck. Er ist es aber, der den Baumwuchs im Verein mit anderen Klimakomponenten (z. B. Lichtintensität) zusammen bei niederen Mitteltemperaturen ermöglicht. — Der Verlauf der Temperatur ist abhängig vom solaren Klima Unter jedem Breitengrad gibt es nun sowohl ein Klima, das von großen Wasserflächen abhängig ist, und ein solches, das seinen Stempel durch die großen Landmassen erhält Wir nennen dies den Charakter des (solaren) Klimas. Die Alpen haben in den Randketten ein Klima, das mit dem ozeanischen der Küste in vieler Beziehung übereinstimmt, während die Zentralketten bekanntlich ein mehr kontinentales Klima zeigen. Es ist also im Grunde genommen der Unterschied zwischen kontinentalem und ozeanischem Klima, der die Baumgrenze in den Zentralalpen so stark über diejenige der nördlichen und südlichen Voralpenketten erhebt.“ Der Verfasser, der noch andere Belege beibringt, schließt dann mit dem sehr richtigen Ausspruch, daß viele bisher unerklärte Tatsachen der Verbreitung sich verstehen lassen, wenn wir, statt sie mit einzelnen, zahlen-

gemäß darzustellenden Klimafaktoren parallelisieren zu wollen, vielmehr den Klimacharakter als Ganzes ins Auge fassen, wie er zwischen seinen zwei Extremen, ozeanisch und kontinental, in zahlreichen Abstufungen ausgebildet ist.

In der Art der Erklärung stimme ich, zumal gestützt auf Rübel's treffliche Darstellung der ökologischen Faktoren des Bernina-Gebietes mit Sonnenstrahlung ([35] 1912, pag. 16) und photochemischen Messungen (pag. 43) und auf eigene dort im August 1913 gesammelte Anschauungen, vollständig mit Brockmann-Jerosch überein, nur nicht in dem gewissermaßen ausgesprochenen Verzicht einer konkreten, ziffernmäßig zu erhärtenden Beweisführung. Dieselbe war bislang nicht möglich wegen der mangelhaften Darstellung der das Klima wirklich ausmachenden Einzelfaktoren und wegen der Vernachlässigung sowohl der Lumineszenz als auch der strahlenden Wärme; und gerade diese beiden Faktoren kommen hier in Betracht. Seit dem Erscheinen meiner kleinen, nur als eigenes Arbeitsprogramm aufzufassenden Schrift über die Erklärung der Vegetationslinien nach physiologischen (jetzt „ökologischen“) Gesetzen ([7] 1876, pag. 7—8 und pag. 26) habe ich diesen weiten Gegenstand beständig verfolgt und selbst zu fördern versucht. Daher meine eigenen Aufzeichnungen, wie sie hier mitgeteilt werden, aber auch die berechtigte Hoffnung, daß später einmal aus den Ergänzungen klimatischer Mittelwerte durch Solarfaktoren eine schärfere Erfassung der thermischen Faktoren für das Gebäude der Pflanzengeographie hervorgehen solle. Und ich bin der Meinung, daß gerade in der von Brockmann-Jerosch angeregten Lösung die hier erbrachten klimatischen Werte das entscheidende Wort mit zu sprechen haben werden, für das es jetzt nur noch an genügenden Vergleichszahlen fehlt, außer den allgemeineren, auch vom Verfasser selbst schon im Jahre 1907 ([4] Kap. II: Klimatologischer Überblick, pag. 13—27) hervorgehobenen Verhältnissen und Temperaturmitteln, und abgesehen von der auch von H. König ([24] 1896, pag. 338) stark hervorgehobenen Zunahme der Sonnenscheindauer mit 100 Stunden mehr gegenüber den benachbarten Stationen des Hügellandes.

Denn der Unterschied im „Temperaturverlauf“ von ozeanischem und kontinentalem Klima, oder sagen wir hier: zwischen nebelfeuchtem Höhenklima deutscher Mittelgebirge und Voralpen einerseits und dem durchstrahlten Hochgebirgsklima der inneren Alpen muß sich noch in anderen neuen und greifbaren Momenten äußern. Und das wichtigste darunter ist wohl das, daß an der Baumgrenze die Lumineszenz, vermehrt in ihrer Wirkung durch die Wärmebildung des Chloro-

phylls im tiefen Rot und durch die eingestrahnten dunklen Wärmewellen, schon im Mai in hoher Intensität einsetzend die Vegetationsperiode genügend lang gestaltet — auch bei einer geringeren Mitteltemperatur im Schatten gemessen, sofern rechtzeitig genügend Wasser zur Verfügung steht. Und auch dafür sorgt die Wärmestrahlung durch ihre starke Einwirkung auf den Erdboden in günstiger Lage und Neigung¹⁾.

So kommen wir denn zum Schluß zu der Frage der die Pflanzenwelt begünstigenden oder ihr Leben gefährdenden, im letzteren Falle also besondere Schutzmaßregeln erfordernden Wirkungen der vereinigten starken Lumineszenz und strahlenden Wärme. Sie kann allerdings, der knappen Fassung dieses Aufsatzes entsprechend, hier nur in Andeutungen erörtert werden, denn sie steht in innigster Verbindung, wie eben schon erwähnt, mit der Frage der Wasserversorgung, welcher nach den von Eug. Warming seit 1896 entwickelten Grundsätzen, neu dargestellt in seiner im Erscheinen begriffenen neuesten Ausgabe der ökologischen Pflanzengeographie ([44] 1914), die erste Entscheidung für die physiognomische Lebensform und ihren Kampf um den Raum zugesprochen wird. Allerdings läßt sich ja auch mit gleichem Rechte behaupten, daß die ganze auf Wasserversorgung hinzielende Organisation nur unter für die Assimilation genügender Lumineszenz und den spezifischen Nullpunkten entsprechend hohen Temperaturen Zweck hat und zur Wirkung kommen soll. Alle diese Faktoren gehören im Wechselspiel gegenseitiger Unterstützung, in der Jahresperiode eng verbunden, zusammen.

Wesentlich aber ist die Frage, welches Faktors Überschreitung die pflanzliche Organisation offenkundig zunächst durch besondere Schutzeinrichtungen zu vermeiden sucht, und ob bei allen dreien eine Überschreitung der optimalen Intensität gleich gefährbringend ist?

Die optimale Lichtintensität kennen wir wenig und zumeist nur aus Rückschlüssen unzuverlässiger Art²⁾. Die optimale Tem-

1) Auch diese „günstige“ oder „ungünstige“ Lage ist einer exakten Darstellung fähig, für welche K. Peucker in seinem Vortrage über den „Bergschatten“ die Gesichtspunkte entwickelt ([31] 1897): Die Einschränkung solarklimatischer Faktoren durch ein Bergprofil, und ihre graphische Ermittlung. Der Ausdruck „orographische Begünstigung“ soll präziser unter „Einfluß der Bergformen auf solarklimatische Faktoren“ definiert werden.

2) Es wurden im Herbst 1917 im botanischen Garten einige überzählige Stämme von Nadel- und Laubbölzern in 20—30jährigem Alter gefällt. Ich ver-

peratur bestimmen wir sicherer aus allen möglichen Experimenten, Keimung, Wachstum, Atmung, Reizerscheinungen. Es scheint sich aus ihnen allen — allerdings fast stets nach Bestimmungen im Laboratorium — ein Optimum um 35°C oder wenig höher zu ergeben, besonders auch unter Berücksichtigung der allgemeinsten notwendigen Tätigkeit: der Atmung, deren Temperaturabhängigkeit neuerdings von A. Kanitz ([23] 1915, pag. 13—28) neben der Assimilation festgestellt wurde. Auch in seiner Tabelle (pag. 25) ergibt sich ein rasches, mit jeder Stunde stärker zunehmendes Abfallen zwischen 35°C und 40°C im mittleren Verhältnis von etwa 60 zu 45 mg gebildeter CO_2 pro Stunde. Und sehr beachtlich ist der (pag. 27) hervorgehobene Unterschied zwischen Einwirkung zu hoher Temperaturen, deren Wirkung im allgemeinen eine irreversible ist, und dem Gegenteil; denn der bei Temperaturerniedrigung eingetretene Stillstand der Lebenserscheinungen kann durch Erhöhung der Temperatur vielfach wieder behoben werden.

Über Assimilationswerte unter hohen Temperaturen finde ich wenig Angaben. So besonders bei Czapek ([6] 1905, Bd. I, pag. 439) die Versuche von Matthaei mit *Prunus Laurocerasus*: Optimum bei 38°C ; von da ab fiel die Assimilationskurve steil ab, so daß bei 43°C etwa dieselbe Assimilationsmenge beobachtet wurde, wie bei 24°C . Es erscheint wünschenswert, derartige Versuche mit heimischen und exotischen Sukkulanten der Crassulaceen, Liliaceen und Mesembryanthemum anzustellen. Vgl. auch für obere Nullpunkte und supra-maximale Temperaturen bei Schimper ([37]), p. 47 und Neger ([29] 1913), pag. 80.

Als optimale Wasserversorgung dürfte diejenige aufzufassen sein, bei welcher noch unter den höchst möglichen Temperaturen für Assimilation, Atmung und notwendigen Stoffwechselprozessen der Turgor der Organe nicht leidet, kein Welken eintritt. Hier bedarf es wohl noch vielfältiger Untersuchungen, wie ja überhaupt ein tiefes Eindringen in diese ökologischen Beziehungen, welche F. Neger ([29] 1913) unter „Bionomie“ zusammenfaßt, eine fast unübersehbare Fülle von Einzelfragen als Arbeitsstoff für ein ganzes Jahrhundert schon jetzt mit sich gebracht hat. Für unsere Untersuchung des Effektes der strahlenden Wärme und seiner Gegenschutzmaßregeln ist wohl von emi-

glich an Stammschnitten und von meiner Tochter Hedwig zu diesem Zwecke gefertigten Präparaten die Dicke des Jahresringes 1917, erwachsen im hellsten Sommer, mit den vorhergehenden Jahren. Wir fanden bei keiner Art einen besonders hohen Zuwachs, sondern im Gegenteil höchstens nur $\frac{2}{3}$ der Dicke von dem durch „schlechtes Wetter“ ausgezeichneten Jahrgang 1916. Aber wenn die Bäume viel Wasser im Boden gefunden hätten, während es seit Juni fehlte, hätte das Resultat vielleicht ganz anders sein können.

nent praktischer Bedeutung die Arbeit von H. Fitting ([10] 1911) über Wasserversorgung und osmotischen Druck bei Wüstenpflanzen, in welcher des Verfassers Voraussetzung, daß Wüstenpflanzen durch hohen osmotischen Druck befähigt werden müssen, ihren Wasserbedarf aus recht trockenen Bodenschichten zu decken, durchaus bestätigt wurde — eine Voraussetzung, welche, von E. Stahl auf unsere heimischen Xerophyten ausgedehnt, durch eine Jenenser Dissertation von Th. Gante ([11] 1916) in der Assoziation der trockenen Muschelkalkberge gleichfalls Bestätigung fand; nur die Orchideen und die sich ökologisch als Frühjahrspflanzen ihnen anschließenden Arten besitzen nicht so sehr hohe osmotische Drucke.

Überblicken wir den Gefahrenbereich der drei ökologischen Faktoren Licht, Wärme, Trockenheit als Folge der Sonnenstrahlung, so erscheint der letzte Faktor am schwerwiegendsten. Ich bin geneigt, dem Lichte die geringste Gefährdung beizulegen, sofern Wasser genügend vorhanden. Das folgt erstens aus dem Verhalten der, voller Lumineszenz ausgesetzten Wasserpflanzen mit Schwimmblättern, zweitens aus der einfachen, im Verhältnis von Schatten- zu Sonnenblättern an der gleichen Pflanze sich bietenden Organisationsschutzmaßregel, drittens aus so vielen anderen sich in Wachsüberzügen, Behaarung, Reflexion und Dispersion des Lichtes bietenden Hilfsmitteln, zu denen die Pflanze im Bedarfsfall greifen könnte, ohne daß es geschieht¹⁾. Es scheint demnach nicht nötig zu sein; die Spitzen der Blätterkronen unserer Laubwälder, deren Wurzeln im kühlen und schattigfeuchten Erdreich ankern, ertragen ja die volle Lumineszenz des Juni—Juli ohne weiteres.

Von den Gefahren der durch Bestrahlung schon in unserer Vegetationszone herbeigeführten hohen Temperatur habe ich ausführlich gesprochen; die Darlegung der meteorologischen Werte im verflossenen Jahre sollte diesem Zwecke dienen. Bei uns scheinen 50° C überragende Temperaturen in Sukkulenten nicht lange anzudauern, aber in

1) Der spiegelnde Glanz der Blätter gilt als ein häufiges Merkmal des länger ausdauernden Tropenblattes, wo das andere, im Hochgebirge häufigere Schutzmittel der Filzhaare fast ganz fehlt. Vgl. G. Haberlandt ([13] 1893, pag. 106). — Aus der subtropischen Xerophytenvegetation von Chile schildert K. Reiche ([32] 1907, pag. 136) den bedeutenden Spiegelganz („Wenn man einen Wald von *Quillaya*, *Cryptocarya*, *Bellota*, wie er in den Zentralprovinzen häufig ist, an einem sonnigen Tage aus der Höhe betrachtet, so kommt der unruhige Glanz der tausende im Winde bewegten Blattflächen zur physiognomischen Wirkung“) — und den durch Lackschicht hervorgerufenen Firnisganz an den Blättern von *Haplopappus*, *Baccharis*, *Flourensia*, *Escallonia* u. a.

Mexiko, im tropischen Afrika, Australien werden sie oft noch höher ansteigen. Wie dem auch sei, es besteht der Ausspruch von E. Stahl ([40] 1909, pag. 77) in voller Gültigkeit: „Der von Schimper in seiner Pflanzengeographie aufgestellte Satz, wonach Schutzmittel gegen übermäßige Erhitzung nicht nachgewiesen worden sind, kann nicht mehr aufrecht erhalten bleiben. Abgesehen von der Bedeutung, welche dem hellen Periderm als schützendem Mantel der Baumrinden gegen die Gefahr der Sonnenstrahlung und als isolierendem, schlechtem Wärmeleiter von im heißen Boden vergrabenen Pflanzenteilen zugeschrieben wird, fehlt es nicht an Eigenschaften, die nur von diesem Gesichtspunkt aus begreiflich sind: Stellung der Blätter und Achsen der Sukkulanten zum Horizont, Oberflächengestaltung bei Cactaceen und Euphorbien, helle Flecke und Warzen der Aloinen und mancherlei andere Strukturen werden in ihren Eigentümlichkeiten dem Verständnis näher gerückt, wenn man sie als Schutzmittel gegen übermäßige Erwärmung betrachtet.“ — Ich möchte hinzufügen, daß dahin wohl auch der verschiedene Sättigungsgrad im Grün der Laubfarbe gehört, den E. Stahl in derselben Abhandlung (pag. 81—83) selbst als ein Mittel herangezogen sehen will, das die Pflanze befähigt, durch Minderung des Chlorophyllgehalts das Blatt vor den Gefahren zu starker, mit der Lichtabsorption verbundener Erwärmung und der damit verknüpften Transpirationssteigerung zu bewahren; und dann besonders die Schutzdecke kleiner, feiner Haare und Wölbungen, die Auflösung des Blattes in feine Zipfel, wie sie aus den Versuchen von J. Wiesner ([52] 1908) als so wirksam sich ergeben hat, u. a. m. So werden die betreffenden Kapitel in Eug. Warming's „Lehrbuch“ ([44] 1914, pag. 32 bis 47) und in F. Neger's „Biologie“ ([29] 1913, pag. 80—87) auch nach der Richtung hin zu bereichern und schärfer zu fassen sein, daß ein gewisses Übermaß von Lichtschutzeinrichtungen eingeschränkt und auf den Wärmeschutz übertragen wird, immer unter Berücksichtigung der wirklichen Strahlungstemperaturen, deren Nichtberücksichtigung auch Warming ([44], pag. 42) als eine Quelle häufiger Irrtümer tadelt und den Mangel an genügenden Messungen beklagt.

Das ist nach der Seite des Übermaßes von Licht und Wärme hin, der durch das Zuviel drohenden Gefahren. Und überblicken wir im Fluge die physiologisch-ökologische Literatur der letzten vier Jahrzehnte, so sehen wir mit Freude, welche Fülle von Erfahrungen einerseits und von anregenden Fragestellungen für neue Arbeit sich an die Eingangs vorangestellte Abhandlung von E. Stahl angeschlossen hat,

Fragestellungen, die er selbst in seiner vielseitigen Arbeitsfreude immer gleichfalls zum Gegenstande eigener Forschertätigkeit nahm.

Aber die strahlende Wärme in Verbindung mit Licht hat ja noch unzweifelhaft ihre höhere Bedeutung nach der Seite des Nutzeffekts, um bei niederen Durchschnittstemperaturen der Atmosphäre den Eintritt und die Energie der Assimilation im Chlorophyll zu ermöglichen und zu erhöhen, Wirkungen auszuüben, die noch an den äußersten Grenzen der Pflanzenwelt gegenüber eisigen Höhen oder polaren Breiten den Kampf um den Raum für sie siegreich gestalten, gestützt auf das Hochrücken und das lange Verweilen des strahlenden Himmelsgestirns. Nach diesen beiden Seiten hin, gegen Übermaß und gegen Mangel, wird sich die Blattorganisation mit ihrem das Wesen der autotrophen Pflanzenwelt in sich schließenden Chlorophyllapparat einzustellen haben, vielleicht oftmals wechselnd in den verschiedenen Jahreszeiten, oftmals am gleichen Tage zu verschiedenen Stunden. Das Verständnis für diese wechselnden Ansprüche und ihre Erfüllung zu gewinnen bildet das weiter vorgesteckte Ziel, für dessen Erreichung vorbildlich wirkt E. Stahl's vielgenannte Abhandlung über die Biologie des Chlorophylls, in welcher die Anpassung von Laubfarbe und Lichtabsorption, wechselnd mit den Tagesstunden und den Lichtverhältnissen verschiedener Tage, in ihrer hohen Vielseitigkeit zum Forschungsgegenstande gewählt wurde.

Literaturverzeichnis.

- 1) Askenasy, E., Über die Temperatur, welche die Pflanzen im Sonnenlicht annehmen. Botanische Zeitung 1875, pag. 441.
- 2) Börnstein, R., Leitfaden der Wetterkunde, 3. Aufl. Braunschweig 1913.
- 3) Braun, J., Die Vegetationsverhältnisse der Schneestufe in den Rätisch-Lepontischen Alpen. Neue Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. 1913, Bd. XLVIII (Kap. 3: Klimatische Elemente, pag. 13—69).
- 4) Brockmann-Jerosch, H., Die Pflanzengesellschaften der Schweizer Alpen. I. Teil: Die Flora des Puschlav und ihre Pflanzengesellschaften. Leipzig 1907.
- 5) Ders., Einfluß des Klimacharakters auf die Grenzen der Pflanzenareale. Vierteljahrsschr. der Naturf. Ges. in Zürich, Bd. LVIII, Sitzung 27. Jan. 1913.
- 6) Czapek, Fr., Biochemie der Pflanzen. Jena 1905 (2. Aufl. 1913).
- 7) Drude, O., Die Anwendung physiologischer Gesetze zur Erklärung der Vegetationslinien. Habilitationsvorlesung. Göttingen 1876.
- 8) Ders., Deutschlands Pflanzengeographie. Stuttgart 1895. Bd. I, Abschn. 5 (pag. 425 fl.).
- 9) Ders., Die Ökologie der Pflanzen. (Die Wissenschaft, Bd. L.) Braunschweig 1913
- 10) Fitting, H., Die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. f. Botanik 1911, Bd. III, pag. 209.

- 11) Gante, Th., Über den osmotischen Druck einiger einheimischer Xerophyten und Beobachtungen über das Verhalten ihrer Stomata. Inaug.-Dissert., Jena. Weida 1916.
- 12) Günther, S., Die Phänologie, ein Grenzgebiet zwischen Biologie und Klimakunde. 1895. [S.-A. aus Natur und Offenbarung. Münster, Bd. XLI.]
- 13) Haberlandt, G., Eine botanische Tropenreise. Indo-malayische Vegetationsbilder und Reiseskizzen. Leipzig 1893.
- 14) Ders., Physiologische Pflanzenanatomie (2. Aufl., Leipzig 1896), pag. 234, Lit. pag. 260 Anm. 6, 11.
- 15) Ders., Die Lichtsinnesorgane der Laubblätter. Leipzig 1905. Kap. 2: Die Beleuchtungsverhältnisse in der Blattspreite, pag. 29—39, 120—131.
- 16) Ders., Über die Verbreitung der Lichtsinnesorgane der Laubblätter. Sitzber. K. Akad. Wiss. Wien 1908, Bd. CXVII, Abt. I, pag. 621—635.
- 17) Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Jena 1912. Bd. VII (Physik der Sonne), pag. 839; Bd. IX (Strahlung), pag. 769—770, 801 u. a.
- 18) Hann, J., Jelinek's Anleitung zur Ausführung meteorolog. Beobachtungen (mit Hilfstafeln), II. Abt. Beschreibung meteorologischer Instrumente. Wien 1884. Vierte Auflage, I. Teil. Wien 1893.
- 19) Ders., Handb. d. Klimatologie. 2. Ausgabe 1897, 3. Ausgabe Stuttgart 1908. Besonders Kap. 1: Strahlende Wärme und Luftwärme, Bd. I, pag. 6—38. Und: Das solare Klima, Bd. I, pag. 93—118.
- 20) Hoffmann, H., Über thermische Vegetationskonstanten. Abh. d. Senckenberg. Naturf. Ges., Bd. VIII, pag. 379.
- 21) Ders., Phänologische Untersuchungen. Gießen 1887, pag. 12 ff.
- 22) Jost, L. (Fitting, Karsten, Schenck), Lehrb. d. Bot. f. Hochschulen, 13. Aufl. 1917, pag. 291.
- 23) Kanitz, Ar., Die Biochemie in Einzeldarstellungen. I. Temperatur und Lebensvorgänge. Berlin 1915. (Allgemeiner Teil, pag. 1—28.)
- 24) König, H., Dauer des Sonnenscheins in Europa. Nova Acta d. Kaiserl. Leop.-Carol. D. Akad. d. Naturf., Bd. LXVII, Nr. 3, pag. 307—395. (Mit Karte von Europa.) 1896.
- 25) Kraus, G., Boden und Klima auf kleinstem Raum. Jena 1911.
- 26) Livingston, B. E., A Radio-atmometer for Measuring Light Intensities. Plant World 1911, Vol. XIV, pag. 96—99.
- 27) Ders., Light Intensity and Transpiration. Botan. Gaz. 1911, Vol. LII, pag. 418 bis 438.
- 28) Ders., Climatic areas of the United States as related to plant growth. Proc. Amer. Philos. Soc. 1913, Vol. II (No. 209), pag. 257—275.
- 29) Neger, Fr., Biologie der Pflanzen auf experimenteller Grundlage (Bionomie). Stuttgart 1913. — Kap. I (Wärme als Lebensfaktor), pag. 30; Kap. II (Licht als Lebensfaktor), pag. 88; Kap. III (Wasser als Lebensfaktor), pag. 137.
- 30) Ostenfeld, C. H., in „Botany of the Faeröes, Bd. I, Kopenhagen 1901, pag. 32—37 (Klima).
- 31) Peucker, K., Der Bergschatten. Verhandl. d. XII. Deutschen Geographentages. Jena 1897, pag. 225—252 (mit Taf. 3—5).
- 32) Reiche, K., Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Chile. Vegetation der Erde, Bd. VIII. Leipzig 1907.

- 33) Rikli, M., Richtlinien der Pflanzengeographie. Fortschritte der Naturwiss. Forschung. herausgeg. von E. Abderhalden, Bd. III (1911), pag. 213—321.
- 34) Rübel, E., Photochem. Klima des Berninahospizes. Vierteljahrschr. Nat. Ges. Zürich, Jahrg. 53 (1908), pag. 1—78. — II. Canaren; a. a. O. Jahrg. 54 (1909), pag. 289. — III. Algerien; a. a. O. Jahrg. 55 (1910), pag. 91.
- 35) Ders., Pflanzengeographische Monographie des Bernina-Gebietes. Sonderabdr. aus Botan. Jahrbuch f. Syst. u. Pflanzengeographie, Bd. XLVII, Heft 1—4. Leipzig 1912. Besonders Kap. 2: Das Klima, S. 9—70.
- 36) Schade, F. A., Pflanzenökologische Studien an den Felswänden der Sächs. Schweiz. Engler's Botan. Jahrb. f. Syst. u. Pflanzengeogr., Bd. XLVIII, 1912, pag. 117—210. S. bes. pag. 157—174.
- 37) Schimper, A. F. W., Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1898.
- 38) Stahl, E., Über d. Einfluß d. sonn. od. schatt. Standortes usw. Zeitschr. f. Naturwissensch., Bd. XVI, N. F., IX. Heft, pag. 1, 2. Sonderabdr. Jena 1883. (39 S. m. Taf. X.)
- 39) Ders., Über bunte Laubblätter. Annales Jard. Botan. Buitenzorg 1896, Bd. XIII, pag. 2.
- 40) Ders., Zur Biologie des Chlorophylls. Laubfarbe und Himmelslicht. Jena 1909 (154 S. m. Tafel).
- 41) Ursprung, A., Die physikalischen Eigenschaften der Laubblätter. Stuttgart 1903. [Bibliotheca botanica, Heft 60.] Darin Abschnitt II, Thermische Eigenschaften, pag. 56—89 und pag. 110—115.
- 42) Vanderlinden, E., Étude sur les Phénomènes périodiques de la végétation dans leurs rapports avec les variations climatiques. Recueil de l'Institut botanique Léo Errera, Bd. VIII, pag. 243—323. Brüssel 1910.
- 43) Warming, E., Plantesaafund. Kopenhagen 1895. Lehrbuch d. ökolog. Pflanzengeographie. Deutsche Ausgabe von E. Knoblauch. Berlin 1896.
- 44) Warming, E. und Graebner, P., Eug. Warming's Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie, 3. Aufl. Berlin 1914.
- 45) Weberbauer, A., Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden. Vegetation der Erde, Bd. XII. Leipzig 1911. S. besonders die Abbildungen in Kap. 7 (Punazone), pag. 192—227.
- 46) Wiener, Chr., in Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. 1877, T. 22.
- 47) Ders., Über die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in den verschiedenen Breiten und Jahreszeiten. Zeitschr. d. österr. Ges. f. Meteorol., Bd. XIV, pag. 113—130, April 1879.
- 48) Wiesner, J., Untersuchungen üb. d. Einfluß d. Lichtes u. d. strahlenden Wärme auf die Transpiration d. Pflanze. Sitzber. Akad. Wien 1876 (I, pag. 477), Bd. LXXIV.
- 49) Ders., Photometrische Untersuchungen usw., I. Sitzber. Akad. Wien 1893, pag. 291.
- 50) Ders., II. Untersuchungen üb. d. Lichtgenuß d. Pflanzen m. Rücks. auf d. Vegetation v. Wien, Cairo u. Buitenzorg. Sitzber. Akad. Wien 1895, pag. 605—711.
- 51) Ders., Der Lichtgenuß der Pflanzen. Leipzig 1907, 322 S. 8°.
- 52) Ders., Versuche über die Wärmeverhältnisse kleiner, insbesondere linear geformter, von der Sonne bestrahlter Pflanzenorgane. Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. 1908, Bd. XXVIa, pag. 702—711.

- 53) Wiesner und seine Schule. Festschrift usw. von K. u. L. Linsbauer und L. v. Portheim. Wien 1903, Abschn VI, pag. 71—93 (Pflanze u. Licht).
- 54) Zenker, W., Der thermische Aufbau der Klimate. Nova Acta der Kaiserl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie d. Naturforscher, Bd. LXVII, Nr. 1, pag. 1—252 (mit 5 Karten). Halle 1895.
- 55) Ziegler, J. und König, W., Das Klima von Frankfurt a. M. Frankfurt 1896, pag. LIII (Monatsmittel 1871/80) und pag. 41.

Nachträge zum Literaturverzeichnis.

Zu pag. 228—230: Für die Blattstruktur sind noch von Interesse:

- Raunkiaer, C., Nogle Jagttagelser og Forsøg over Aarsagerne til Palissade cellernes Form og Stilling. Botanisk Tidsskrift 1906, Bd. XXVII, pag. 293—306; Resumé pag. 307—311. Nimmt bezug auf die Bauprinzipien Haberlandt's, die Stoffableitung und Oberflächenvergrößerung.
- Woodhead, Th. W., Ecology of Woodland plants in the neighbourhood of Huddersfield (Dissert. Zürich 1906). Journ. Linn. Soc. 1906, Bot., Bd. XXXVII, pag. 333—406. Bietet von Bäumen und Stauden der Waldflora eine Reihe trefflicher Darstellungen der Sonnen- und Schattenblätter.

Zu Schade [36] 1912, pag. 243: Beizufügen als genau durchgeführtes Einzelbeispiel desselben Verfassers: Über den mittleren jährlichen Wärmegenuß von Weberanütans und Leptoscyphus Taylora im Elbsandsteingebirge. Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. 1917, Bd. XXXV, pag. 490—505.

Damit sind zu vergleichen die Temperaturmessungen in den Hochalpen:

- Diels, L., Die Algenvegetation der Südtiroler Dolomitriffe. Boden und Klima. Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. 1914, Bd. 32, pag. 508—513.

Zu pag. 254—255: Beispiele für die Wirkung der Sonne auf Cactaceae:

- Darbishire, C., Observations on Mamillaria elongata. Annals of Botany 1904, Bd. XVIII, pag. 395—404. Autökologische Studien über das physiologische Verhalten in der Sonne und den gegen Strahlung durch die Stachelpolster gewährten Schutz, welche als „Paraheliod“ bezeichnet werden.

Zu pag. 258, Brockmann-Jerosch: s. auch die frühere Abh.: Über den Einfluß d. Klimacharakters auf die Verbreitung usw. Freie Vereinigung für Syst. u. Pflanzeng., Botan. Jahrb. Syst., Freiburg 1912, Beiblatt 109, pag. 19—43.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [111-112](#)

Autor(en)/Author(s): Drude Carl Georg Oscar

Artikel/Article: [Licht- und Wärmestrahlung als ökologische Standortsfaktoren.
227-267](#)