

Baumgrenze und Lufttemperatur.

Von Prof. Dr. *Wladimir Köppen*, Hamburg.

Auf S. 194 des vorigen Jahrgangs habe ich die Ansicht vertreten, daß sowohl die obere, als die polare Baumgrenze sich sehr nahe der Isotherme 10° des wärmsten Monats anschließen, in der Fußnote aber auch die Befunde von Imhof und De Quervain angeführt, wonach in der Nordschweiz die Waldgrenze um 150 m unter und im Ober-Engadin um 140 m über der Julisotherme 10° liegt.

Nachträglich sind mir durch die Güte des Verfassers zwei Aufsätze bekannt geworden, in denen Dr. H. Brockmann-Jerosch diese Fragen behandelt hat¹⁾. Ich möchte danach das von mir Gesagte durch einige Bemerkungen ergänzen und einschränken.

Brockmann-Jerosch gibt a) die Höhe der Baumgrenze, b) die Höhe der 10° Isotherme des Juli und c) die Julitemperatur an der Baumgrenze²⁾ so an:

	Rigi u. Säntis	Davos	Sils-Maria	Bernina	Grigna	Süd-Tessin
a — 1745	2200	2300	2350	1950	1950	—
b — 1785	1990	1990	2020	1880	—	—
c — 10,5	9,0	7,8	8,5	9,5	10,6	—

Das Ansteigen der Baumgrenze nach den Zentralalpen schreibt Dr. Brockmann deren mehr kontinentalem »Klimacharakter« zu, den er durch Ungleichmäßigkeit, tiefe und hohe Temperaturen, kurze, heftige Niederschläge und starke Wärmeeinstrahlung sowie starken Wärmeverlust bei Nacht und im Winter, endlich auch durch geringe Luftfeuchtigkeit richtig definiert. Er glaubt dasselbe Verhalten auch bei der polaren Baumgrenze nachweisen zu können. Ob bei dieser aber der Unterschied zwischen Kontinent und Ozean wirklich größer ist, als bei der 10° Julisotherme, ist noch zweifelhaft, wenn man von windgepeitschten Küsten absieht. Für Schottland gibt Grisebach (I, 182) die obere Baumgrenze zu 810 m an, nach den Temperaturen von Braemar und Ben Nevis muß die Julitemperatur in dieser Höhe 9,2° sein. Im Taimyrlande hat Middendorff die Temperatur des wärmsten Monats, freilich nur nach einem Sommer, ebenso etwa 10° gefunden, wie sie nach mehrjährigen Beobachtungen in Russisch-Lappland ist. In Labrador finden sich die hochstämmigen Wälder nur im Innern, wo die Julitemperatur wohl schon erheblich höher ist als in Hoffental, wo sie 9,9° beträgt. Ob freilich die Temperatur des wärmsten Monats am Tas noch unter 10° liegt, wie ich auf der Klimakarte (Taf. 10) angenommen habe, läßt sich bei der Entfernung der nächsten Beobachtungsorte — Obdorsk und Turuchansk — noch nicht bestimmt sagen; würde sie, wie in Hanns Atlas, zu 12° angenommen, so würde dies für die Frage kein Gewicht haben, da das Klima dieser Gegend weder als ausgesprochen kontinental, noch als ozeanisch gelten kann.

Im durchaus ozeanischen Klima der Südspitze von Südamerika geht die Baumgrenze, entgegen der Annahme von Brockmann-Jerosch, noch etwas über die Isotherme 10° des wärmsten Monats hinaus. Darwin fand die Südostspitze von Feuerland bis etwa 400 m Seehöhe

¹⁾ H. Brockmann-Jerosch: Einfluß des Klimacharakters auf die Grenzen der Pflanzenareale. Vierteljahrsschr. der Naturforsch. Ges. Zürich, Bd. 58, Protokoll der Sitz. v. 27. Jan. 1913. — Derselbe: Der Einfluß des Klimacharakters auf die Verbreitung der Pflanzen und Pflanzengesellschaften. Englers Jahrb. für System., Pflanzengesch. u. Pflanzengeogr., Bd. 49, H. 3/4, Nr. 109 (1913).

²⁾ Die Zahlen von Imhof und De Quervain gelten für die »Waldgrenze« und bewegen sich zwischen 1600 und 2150 m. Die »Baumgrenze« legt Brockmann (im zweiten Aufsatz S. 31) dahin, wo etwa 5 m hohe Bäume noch regelmäßig zu wachsen vermögen.

von dichtem Walde bedeckt, ebenso die Umgebungen des Beagle-Kanals, dagegen die westliche Küste an dessen Ausgang »aus niedrigen, abgerundeten, ganz unfruchtbaren Hügeln« bestehend. Aber die Ostküsten der südlichen Inseln, selbst der Hermite-Insel, fand die französische Expedition von 1882 bewaldet, die Orangebai mit Gruppen von hochstämmigen, wenn auch vom herrschenden Wind geneigten Bäumen besetzt, wie dies auch das Bild der Station (Mission scientif. du Cap Horn, Bd. 1) zeigt. Selbst von der Stateninsel wird dies ausdrücklich angegeben (Hann, Klimatologie, Bd. 3, S. 578), während doch die Falklandsinseln annähernd baumlos sind.

Folgende Temperaturangaben für diese Gegenden

	J. Evan-jolistas	P. Dun-geness	P. Arenas	Ushuaia	Har-ber-ton	Oran-gebai	Sta-ten-I.	Neu-jahr-I.	Pt. Stan-ley
Breite	52,4	52,4	53,2	54,9	55,0	55,5	54,4	54,6	51,7
Jan. (Febr.)	8,9	11,8	10,9	11,0	11,3	(8,7)	8,9	9,3	(9,6)
Juli (Juni)	3,5	1,5	0,9	-0,2	0,6	(2,1)	2,5	2,5	2,3
Zahl d. Jahre	10	8	20	14	4	1	9	2½	6½

entnehme ich Hanns Handbuch der Klimatologie Bd. 3, S. 554 u. 578, nur für Orangebai der Met. Zeitschr. 1889, S. 97. Der Januar hatte in dieser 1888 sogar nur 7,6, da er aber gleichzeitig in Ushuaia 2,0° kälter als im 14-jährigen Mittel war, können wir für Orangebai 9,6° als normal annehmen. Harberton liegt wie Ushuaia am Beagle-Kanal, die Neujahrsinsel an der Nordküste von Stateninsel. Beide bestätigen die Angaben ihrer Nachbarstationen.

Da nach andern Angaben die Baumgrenze noch bei Ultima Esperanza 900 m, bei Ushuaia 600, am Ponsonby-Sund und auf der Hermite-Insel 450 m hoch liegen soll, so kann an ihr die Temperatur des wärmsten Monats nur 7—8° betragen.

Wir müssen also annehmen, daß im stürmischen Sommer dieses extrem ozeanischen Klimas die mittlere Temperatur des wärmsten Monats ebenso etwas unter 10° liegt, wie an der Baumgrenze im stillen, sonnigen Klima der Zentralalpen. Eine gewisse Übereinstimmung beider könnte darin gefunden werden, daß die größere periodische Tagesschwankung der Zentralalpen am Kap Horn ersetzt wird durch überaus große unperiodische Schwankungen der Temperatur. Experimentell ist freilich konstante Temperatur als günstiger für das Pflanzenleben gefunden worden, als veränderliche, außer vielleicht an den Temperaturschwellen der betreffenden Prozesse.

Die Zahl der Stationen hier reicht nicht hin, um die Lage der Januar-Isotherme 10° genau festzulegen, da die Sommertemperatur vom Innern des Landes nach dem offenen Ozean sehr rasch abnimmt. Doch scheint ihr Verlauf in Hanns Atlas der Meteorologie sehr nahe richtig zu sein. Neuere Beobachtungen vom Rio Douglas in 55° 9' S und 68° 8' W ergaben für Januar und Februar 1915 8,8 und 8,4° bei gleichzeitig 11,6 und 10,8° in Punta Arenas (53° 10').

Immerhin dürfte es ein Irrtum sein, wenn Otto Nordenskjöld (Die Polarwelt, Leipzig 1909, S. 101/2) sagt: »Die Isotherme von 10° C im wärmsten Monat läßt in den Urwäldern der »Polarregion« am Kap Horn Papageien und Kolibris umherfliegen«, denn in den Gegenden am Beagle-Kanal, wo diese Vögel noch vorkommen (Darwin sagt »südlich vom 55. Breitengrad«), ist die Januartemperatur entschieden über 10°. Hier wie in Alaska gehen diese Tiere, mit denen wir die Vorstellung der Tropen verbinden, offenbar bis nahe an die Baumgrenze heran.

Nach allem diesem ist also die Tatsache, daß die Baumgrenze nach dem Zentralmassiv der Alpen stärker ansteigt, als die 10° Iso-

thermefläche, ein interessantes Detail, das noch nicht sicher verallgemeinert werden kann und durch das die wertvolle Tatsache noch nicht umgestoßen wird, daß in den großen Zügen die Baumgrenze und diese Isotherme Verknüpfung mit einander zeigen. Wie ich in der erwähnten Fußnote angebe, hat De Quervain diese durch das dichte schweizerische Beobachtungsnetz erkennbar gewordene feinere Gestaltung des Verhältnisses dahin formuliert, daß die Baumgrenze in der Schweiz sich näher einer Isotherme der Juli-Mittagstemperatur anschließt, als einer solchen des Tagesmittels. Eine solche Feststellung wäre natürlich wertvoller, als die bloß wörtliche Äußerung, die Baumgrenze hänge nicht von der Durchschnittstemperatur, sondern vom »Temperaturverlauf« und »Klimacharakter« ab, der wir bei Brockmann-Jerosch wiederholt, ohne Zahlenangaben, begegnen. Sicherlich hat Brockmann-Jerosch recht, wenn er betont, daß der Einfluß der äußeren Faktoren auf das Pflanzenleben sehr kompliziert sei, daß dieses nicht nur von der Mitteltemperatur, überhaupt nicht von der Temperatur allein reguliert wird. Auch ich habe dies vor langer Zeit in meiner Doktordissertation¹⁾ nachdrücklich gegenüber der damals so beliebten Methode der Temperatursummen verfochten und auch in dieser Zeitschrift (1918, S. 194, I. oben) anerkannt. Aber dies hindert uns nicht, wenn eine klimatologische Zahl offenbar nicht zufällig einem wichtigen pflanzengeographischen Phänomen annähernd parallel geht, diese Zahl als eine besonders bezeichnende für die Unterscheidung der Klimate zu verwenden.

Das Vorstehende war schon niedergeschrieben, als ich von Herrn

¹⁾ Wärme und Pflanzenwachstum (Moskau 1870).

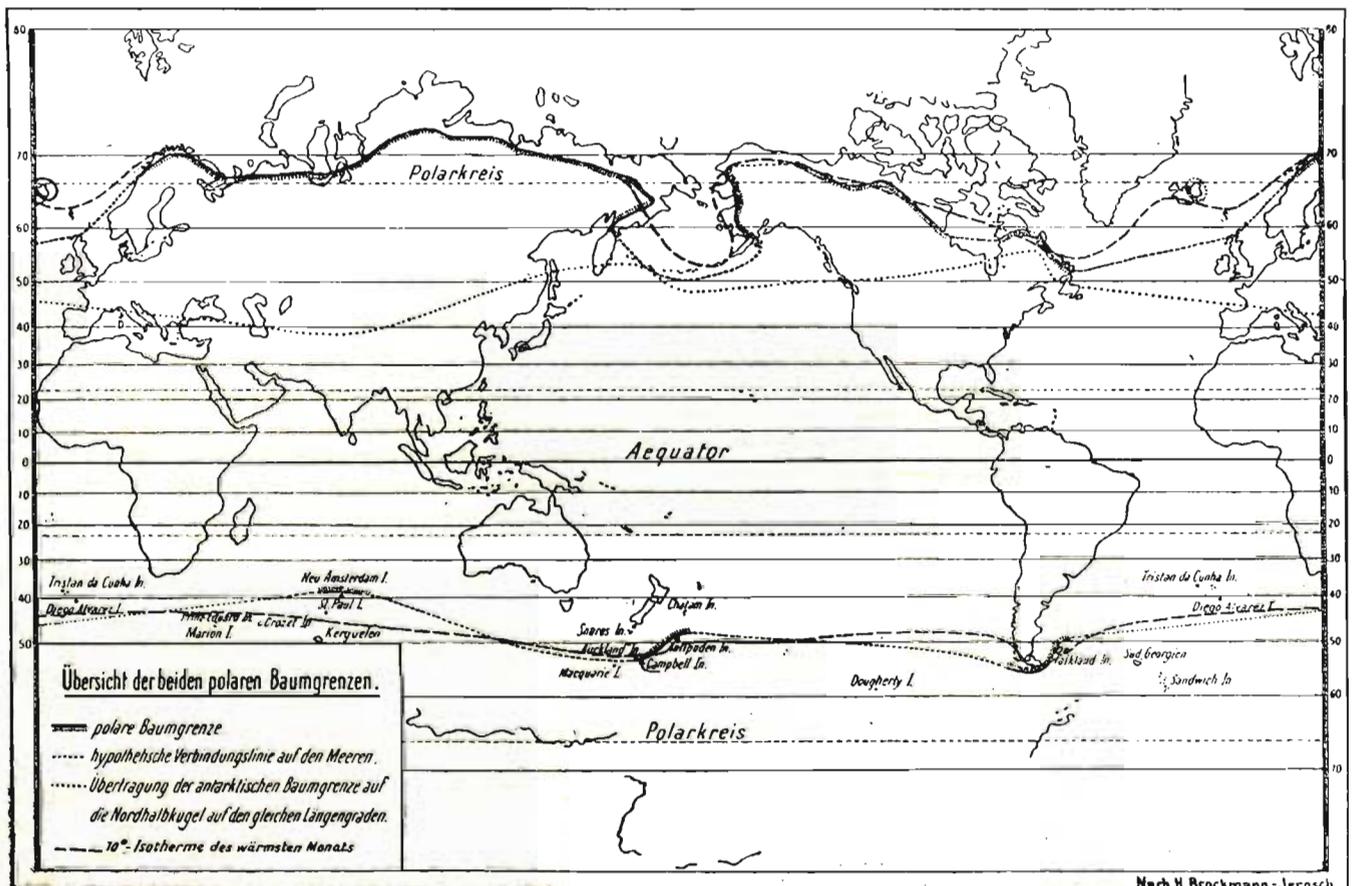
Dr. Brockmann-Jerosch seine neueste Abhandlung über diese Frage¹⁾ das erste der »Baumgrenze« gewidmete Buch erhielt.

Von den beiden klimatischen Baumgrenzen — der Kältgrenze und der Trockengrenze — behandelt das Buch nur die erstere, aber diese an sehr reichlichem Material sowohl in horizontaler als in vertikaler Richtung. Überall springt aus dieser Sammlung die Tatsache hervor, daß in ozeanischen Klimaten der Baumwuchs weniger weit polwärts und aufwärts geht, als in kontinentalen. Für die polaren Grenzen ist sie sehr übersichtlich in dem Kärtchen auf S. 163 des Buches dargestellt, das deshalb hier wiedergegeben sein möge, unter Hinzufügung der Isotherme 10° des wärmsten Monats, soweit deren Zeichnung nicht wegen ihres Zusammenfallens mit der Baumgrenze unmöglich war.

Die Isotherme ist nach Hann's Atlas der Meteorologie (Gotha, 1887) eingetragen, also von jeder vorgefaßten Meinung frei. An manchen Stellen dürfte der Temperaturogensatz zwischen Wasser und Land noch größer sein, als er hier dargestellt ist. Jedenfalls aber tritt auch hier deutlich hervor, in wie hohem Grade diese beiden Linien, die Isobiote und die Isotherme, mit einander die Begünstigung durch kontinentale Lage und das Zurückweichen vor und auf weiten Wasserflächen teilen.

Der Verfasser verfiel aber auch in diesem Buche seinen an den schweizer Befunden geformten Satz, dem er auf S. 99 die Fassung gibt: »daß nicht die Lage der Isobiote als Produkt der Lage

¹⁾ H. Brockmann - Jerosch: Baumgrenze und Klimacharakter, 255 S., 1 farbige Karte. Zürich 1919, Rascher u. Co.. Preis 8 fr. (Beitr. zur geobotan. Landesaufnahme Nr. 6.)



der Isotherme erscheint, sondern beide von einer dritten Größe abhängen, nämlich vom Klimacharakter.« Dieser Satz setzt aber nicht nur an Stelle einer messbaren Größe einen völlig unbestimmten Begriff, sondern ist durchaus anfechtbar. Unzweifelhaft ist die Baumgrenze in ihren großen Zügen eine Funktion der Wärme, und nicht des ozeanischen oder kontinentalen Klimacharakters. sonst müßte ja das ozeanische Samoa baumlos und der kontinentale Pamir »baumhaft« sein. Daß ferner die Wärme des Sommers, besonders seines wärmsten Teils, nicht die der übrigen Jahreszeiten, entscheidend ist, dafür bringt Herr Brockmann-Jerosch selbst eine Menge Beweise bei. Daß wir eine Fülle mannigfaltiger Temperatureinflüsse nicht durch ein Monatsmittel, und die Temperatur der Pflanze nicht durch die Lufttemperatur voll ersetzen können, ist durchaus zuzugeben. Wir können nur angenehm überrascht sein, wenn eine uns reichlich zur Verfügung stehende Zahl, nämlich das Mittel der Lufttemperatur des wärmsten Monats, den wirklich wirksamen Einflüssen so nahe parallel geht, wie es der Fall ist. Dem Spezialisten treten freilich leicht diese großen Züge hinter das Einzelne, das ihn fesselt, zurück; aber wir dürfen nicht auf sie verzichten.

Daß es nicht die Kontinentalität als solche, sondern oben ihre Wirkung auf die Sommerwärme ist, was die Baumgrenze auf den Festländern emportreibt, sehen wir besonders deutlich daran, daß die Baumgrenze der Isotherme 10° des wärmsten Monats auch dort annähernd folgt, wo diese nicht durch Strahlungswirkungen, sondern durch Wasser- und Lufttransport polwärts gedrängt wird. Ein Beispiel bietet schon das oben besprochene Kap Horn, daß 4° wärmer als das Mittel seines Breitengrades ist; ein noch ausgesprochenes Norwegen, dessen Sommer trotz seines ozeanischen Klimas fast so warm sind wie die der gleichen Breiten in Asien und Amerika. Gewiß, die Baumgrenze steigt auch hier landeinwärts auf, nach 5 unter 7 Bestimmungen auf S. 96/97 von Brockmann-Jerosch's Buch um etwa 3 m auf jedes Kilometer; aber auch die Isothermfläche des Juli steigt in derselben Richtung in ganz Norwegen um mindestens 2 m auf jedes km an. Die Belege würden wohl hier zu viel Raum einnehmen. Nach Grisebach (Vegetation d. Erde, I, 176) soll die Baumgrenze auf 60° N in etwa 90 km nur um 400 par. Fuß, also nur um $1\frac{1}{2}$ m p. km steigen. Die Juli-Temperatur an der Baumgrenze in Norwegen stellt sich allgemein zwischen 9° und $10\frac{1}{2}^{\circ}$, mit Ausnahme der dem Scewinde am meisten exponierten kleinen Inseln.

Dem Winde gesteht der Verfasser (S. 34) in dieser Frage nur mittelbaren Einfluß zu, indem er das Klima des Meeres dem festen Lande zuträgt, während seine direkte Wirkung den Baumwuchs wohl schädigt¹⁾, aber nur lokal ausschließt; denn es fehle doch kaum irgendwo ganz an windgeschützten Orten. Man bedenke aber, daß ja die Wahrscheinlichkeit nicht nur der Zuwanderung, sondern besonders noch des Antreffens eines geeigneten Orts und der Erhaltung der Art auf kleinen landfernen Inseln weit geringer ist, als auf einem großen Festlande; und auch auf diesem sind ja weite Strecken innerhalb der »Baumgrenze« völlig baumlos. Das übermäßige Zurückgehen der Baumgrenze auf St. Paul und den Antipoden-Inseln ist deshalb nicht beweisend. Merkwürdig und näherer Untersuchung wert ist gewiß die »Baumlosigkeit« der Falklands-Inseln, der Färöer, Shetlands und sogar Orkneys. Hier würden Anpflanzungsversuche mit *Nothofagus betuloides* und *Drimys Winteri*, die am Kap Horn über die Januarisotherme von 10° hinausgehen, wahrscheinlich guten

¹⁾ Die schädigende Wirkung des Windes sucht Verf. besonders im »Schneegebläse«, während Kiehlmann (Studien aus Russisch-Lappland 1890) sie vor allem in der Austrocknung sieht.

Erfolg haben, wenn geeignete Plätze ausgesucht werden. Daß bestimmte Bäume von den Verhältnissen anderer Jahreszeiten, als des wärmsten Monats, abhängen, ist natürlich außer Zweifel. Dieselbe Schädigung durch Nachfröste nach dem für sie allzu warmen Winter, wie auf den Färöern (B.-J. 86), erleidet die Birke, zum Erstaunen der Russen, gelegentlich auch in der Krim.

Für Schottland hält B.-J. die Höhenangabe von Grisebach für zu hoch, und er setzt die Baumgrenze auf 600 m an (Julitemp. $c. 10,7^{\circ}$), jedoch mit geringen Beweisen.

Wie stellt sich die Temperatur des wärmsten Monats an der Baumgrenze in Sibirien, dem Prototyp kontinentalen Klimas?

Für den Ural ergibt sich dafür nach Grisebachs (I, 182) Angaben $11-12^{\circ}$. Für die Jalmal-H. I. wäre sie nach B.-J. S. 120 und Hann's Atlas etwas über 9° . Zwischen Jenissej und Chatanga haben wir an ihr zwei Beobachtungsreihen aus nur je einem Sommer: Tolstoj Noss ergab nur $8,8^{\circ}$, Korennoje-Filipowskoje $10,7^{\circ}$. Bei der Veränderlichkeit der Temperatur in diesen Breiten kann höchstens das Mittel beider, $9,7^{\circ}$, Anspruch auf Verlässlichkeit machen. An der Lena soll der letzte Baumwuchs bei Taß-Ary sein, wofür Hann's Atlas nur 8° ergibt; aber die Isothermen sind hier nur nach den zweijährigen Beobachtungen zu Ssagastyr an der Lena-Mündung gezogen und liegen sehr gedrängt. An der Janamündung geben alte Beobachtungen zu Ustjansk $13,5$ wohl zu hoch, neuere zu Kasatschje $3\frac{1}{2}$ Jahre, reduziert auf 20) $10^{\circ}, 4$ an. Von der Indgirka und Kolyma fehlen mir Nachrichten über die Baumgrenze, doch liegt Nishne-Kolymysk nach Wrangels Worten offenbar schon jenseits derselben, trotzdem es nach alten Beobachtungen 12° und nach den neueren 10° Julitemperatur hat.

Wir erhalten für diese also in Sibirien, von den alten Beobachtungen absehend, $11\frac{1}{2}^{\circ}, 9^{\circ}, 10^{\circ}, 8^{\circ}, 10^{\circ}$ und 10° , im Mittel $9,7^{\circ}$ den gleichen Wert wie für das nördliche Skandinavien.

Vergleichen wir damit die Temperatur an der Baumgrenze auf Neuseeland und Tasmanien, die sich nach den Angaben von Brockmann-Jerosch auf 9° berechnen läßt, und gar die am Kap Horn, die wir zu $7-8^{\circ}$ fanden, so läßt sich die von ihm so sehr befante Analogie des Herabdrückens der Baumgrenze unter die 10° Isotherme in den Voralpen mit deren angeblichem gleichen Zurückweichen in ozeanischen Klimaten nicht aufrecht erhalten. Am Kap Horn ist die Temperatur an der Baumgrenze ebenso niedrig, wie in den Zentralalpen. Auch die Hypothese von De Quervain, daß die Hebung der Baumgrenze nach den Zentralalpen der Isothermfläche der wärmsten Tageszeit im Juli folgt, verliert dadurch ihren Boden. Diese Hebung ist um so eigentümlicher, als die europäische Lärche, die auf ihnen die Baumgrenze bildet, schon in Polen ihre Polargrenze findet und das ganze kontinentale Osteuropa meidet, mit Ausnahme eines rätselhaften Vorkommens bei Petersburg. Von Larix sibirica und L. dahurica ist sie durch einen weiten Raum getrennt, ebenso wie die Arve der Alpen von ihren sibirischen Artgenossen.

Für das Verhalten der Baumgrenze in der Schweiz werden also unsre Schweizer Kollegen sich nach andern Erklärungen umsehen müssen. Belege für die großen Gegensätze des kontinentalen und ozeanischen Klimas ihrem eignen kleinen Lande zu entnehmen, werden sie dabei wohl aufgeben müssen.

Aufrecht bestehen bleibt aber die Tatsache, daß an der Baumgrenze, wo sie sicher in den Wärmeverhältnissen begründet ist, die Mitteltemperatur des wärmsten Monats zwischen 7° und 11° , meist zwischen 9° und $10\frac{1}{2}^{\circ}$ liegt und daß darum die Temperatur 10° dieses Monats eine sehr geeignete klimatische Scheide abgibt.