

Methoden die Andauer der Temperatur über bestimmten Schwellen zu finden, und deren Anwendung auf die Verbreitungsgrenzen von Buche und Stieleiche.

Von

Prof. Dr. **W. Köppen.**

Bei der Bedeutung, welche die Andauer der Temperaturen über gewissen Schwellenwerten für den Ablauf der Lebensprozesse der Pflanzen im Jahreslaufe offenbar besitzt, dürften einige Bemerkungen über deren leichte Feststellung nicht unerwünscht sein. Wir wollen dabei nur den »normalen«, als Durchschnitt sehr vieler Jahrgänge sich ergebenden jährlichen Gang der Tagesmittel der Lufttemperatur untersuchen und weder die Anomalien einzelner Jahrgänge noch die Abweichungen der Temperatur der Pflanzenteile von derjenigen der Luft in die Betrachtung hereinziehen.

Dasjenige Material hierzu, welches sowohl allein in genügender Menge zur Verfügung steht, als auch am geeignetsten ist, sind die Monatsmittel der Lufttemperatur, die aber in unseren Zonen, je nach der Veränderlichkeit des Klimas, auf 20- bis 50jährigen Beobachtungen beruhen oder nach benachbarten Stationen auf solche reduziert sein müssen, um hinreichend genaues Ergebnis zu liefern. Solche Monatsmittel kann man mit großer Annäherung, besonders im Frühling und Herbst, als genaue Werte für 12 Punkte der jährlichen Temperaturkurve — den Monatsmitten entsprechend — ansehen, und solche 12 Punkte erweisen sich zudem als besonders günstig für die Bestimmung der Kurve, wenn auch ihre nicht völlige Äquidistanz, besonders durch den unglücklichen Februar, ein gewisser Mangel ist. Eine größere Zahl von Punkten ist für den normalen Temperaturgang unnötig, da es als ausreichend bewiesen gelten kann, daß die alljährlich auftretenden zahllosen Störungen in ihm, wenn sie auch durch jahreszeitlich wechselnde Ursachen in Wind und Luftdruck bedingt sind, doch so wenig an bestimmte Tage gebunden sind, daß sie in vieljährigen Mitteln um so mehr verschwinden, aus je mehr Jahrgängen diese gebildet werden.

Nach Ausschluß der Störungen erweist sich das normale Steigen der Temperatur im Frühling und Sinken im Herbst in den gemäßigten Zonen,

mit wenigen Ausnahmen¹⁾, als eine im mittleren Teile annähernd lineare und in beiden Fällen gleich schnelle Änderung, bei der in je etwa 9 Wochen die Hälfte der gesamten jährlichen Temperaturschwankung zurückgelegt wird. Der Rest der Änderung verteilt sich auf die übrigen 8 Monate. Der aufsteigende Ast der Kurve verspätet in ozeanischen Klimaten im Vergleich zu kontinentalen bis zu 6 Wochen, während im Herbst nur wenig Unterschied darin sich zeigt. Im Vergleich mit einer einfachen Sinuswelle hat daher die jährliche Temperaturwelle in ozeanischen Klimaten ein stark verbreitetes Tal, in kontinentalen einen etwas verbreiterten Berg. In Ost- und Zentraleuropa stellt aber die Temperaturkurve eine ziemlich reine Sinuswelle dar.

In den Frühlings- und Herbstmonaten, wo nach dem oben Gesagten die Temperaturkurve im vieljährigen Mittel fast geradlinig verläuft, kann man die Zahl der Tage mit einer Mitteltemperatur oberhalb einer gegebenen Schwelle in einfacher Weise mit genügender Annäherung so berechnen: Ist t die gewählte Temperaturschwelle (z. B. 6°), und t_1 das nächstniedere, t_2 das nächsthöhere Monatsmittel (z. B. $3,2^{\circ}$ und $8,0^{\circ}$), so ist im Frühling die nach dem 15. des kühleren Monats bis zur Erreichung von t verfließende Zeit

$$x = 30 \frac{t - t_1}{t_2 - t_1},$$

also im Beispiel

$$x = \frac{6,0 - 3,2}{8,0 - 3,2} \cdot 30 = \frac{2,8}{4,8} \cdot 30 = 17\frac{1}{2} \text{ Tage};$$

und Entsprechendes gilt natürlich für den Herbst.

Weicht die Temperaturkurve nicht viel von einer Sinuswelle ab, so kann man die Dauer der Temperaturen über beliebigen Schwellen direkt aus den Mitteln des wärmsten und des kältesten Monats berechnen. Sei a der Unterschied dieser und Δ der Temperaturunterschied der gewählten Schwelle vom Mittel des wärmsten Monats, so ist in diesem Falle die Zeit Z oberhalb der Schwelle

$$Z = \left[\frac{\Delta}{a} + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta}{a} \right) \right] \cdot 365 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta}{a} \cdot 365 + \frac{1}{6} \cdot 365 = 243,5 \frac{\Delta}{a} + 60,9$$

oder rund

$$Z = 244 \frac{\Delta}{a} + 61 \text{ Tage.}$$

In der Temperaturkurve ozeanischer Klimate wird das Zusatzglied bedeutend kleiner, in sehr kontinentalen wird es etwas größer als 61 Tage, ohne daß das erste Glied sich sehr ändert²⁾.

Ist die Frage umgekehrt gestellt, d. h. will man die Temperaturschwelle bestimmen, über welcher die Temperatur an einem Orte eine gegebene

1) Die hervorragendste in niedrigen Lagen ist San Francisco, wo die Temperatur vom Juni bis zum Oktober fast unverändert bleibt wegen der Seewinde.

2) Näheres findet man in KÖPPEN, Der jährliche Temperaturgang in den gemäßigten Zonen und die Vegetationsperiode. Meteorolog. Zeitschr. 1926, S. 161.

Zeitlänge liegt, so ist ihre Beantwortung aus den Monatsmitteln ebenfalls sehr einfach überall wo das Gefälle der Temperaturkurve im Frühling und Herbst gleichförmig und gleich steil ist. Denn in diesem Fall erhält man die Dauer der Temperatur über einem gewissen Wert auch dann, wenn man die Zeit von einem kälteren Punkt des aufsteigenden nach einem wärmeren des absteigenden Astes, oder umgekehrt, mißt.

Nennen wir allgemein Z_n eine n Monate lange Zeit von Tagesmitteln über der Temperatur t , ist also in ganzen Tagen bei $n = 4$ bis 8

$$Z_4 = 122, Z_5 = 152, Z_6 = 182\frac{1}{2}, Z_7 = 213, Z_8 = 243 \text{ Tagen,}$$

so ist in der nördlichen gemäßigten Zone mit genügender Annäherung dort, wo die beiden Grenzmonate in Zeiten entgegengesetzter und ungefähr gleich starker Änderung liegen, nämlich für Z_4, Z_6 und Z_8 , die Temperaturschwelle t am Orte gleich der Mitteltemperatur von Mai und September für Z_4 , von April und Oktober für Z_6 und von März und November für Z_8 . Aber auch wo dies nicht der Fall ist, nämlich bei Z_5 und Z_7 , zeigen die Mittel der nächsthöheren und nächst niederen Monate in beiden Richtungen so nahe Übereinstimmung, daß das Mittel der vier Monate zusammen als ganz genügende Grundlage genommen werden kann. Als Beispiel nehmen wir die 152jährige Reihe von Berlin:

Dauer	Monate	Temperatur- schwelle
4 Monate	$\frac{1}{2}$ (Mai + Sept.)	44,2°
5 Monate	$\frac{1}{2}$ (April + Sept.)	44,55°
	$\frac{1}{2}$ (Mai + Okt.)	44,5°
6 Monate	$\frac{1}{2}$ (April + Okt.)	8,85°
	$\frac{1}{2}$ (März + Okt.)	6,25°
7 Monate	$\frac{1}{2}$ (April + Nov.)	6,4°
	$\frac{1}{2}$ (März + Nov.)	3,5°

Eine noch allgemeinere Lösung der Aufgabe erhält man, wenn man die Monatsmittel der Temperatur durch Bruchteile der jährlichen Temperaturschwankung ausdrückt, für die man ohne großen Fehler den Unterschied zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat nehmen kann. In der Sinuswelle ist der Abstand von 12 äquidistanten Punkten vom Minimum, die ganze Amplitude = 1 gesetzt, der folgende:

$$0,00, 0,07, 0,25, 0,50, 0,75, 0,93, 1,00, 0,93, 0,75, 0,50, 0,25, 0,07.$$

Folgt die Temperaturkurve, wie dies in Mitteleuropa (mit Ausnahme von Berggipfeln) hinreichend der Fall ist, einer solchen einfachen Welle, so bleiben die Tagesmittel die folgende Zahl von Tagen über den so definierten Temperaturschwellen, in ganzen Tagen (A ist der Abstand der Schwelle vom untersten Punkt der Jahreskurve, ausgedrückt in Bruchteilen von deren Amplitude):

A	Tage	A	Tage	A	Tage
0,00	365	0,40	206	0,80	108
0,10	290	0,50	183	0,90	75
0,20	257	0,60	159	1,00	0
0,30	230	0,70	135		

Wenden wir nun das Gewonnene auf die Untersuchung der Verbreitungsgrenzen unserer beiden wichtigsten Laubbäume, der Buche und der Stieleiche an! Die Grenzen von *Quercus sessiliflora* liegen sowohl im Nordosten als im Gebirge zwischen denen von *Quercus pedunculata* und *Fagus sylvatica*. Wir wollen nur die augenscheinlich durch Abnahme der Temperatur bedingten Grenzen betrachten, weder die gegen die trockenen Steppen Südosteuropas noch die gegen die wärmeren Zonen. Die sichtbare Vegetationszeit, d. h. die Zeit zwischen der Blattentfaltung und der herbstlichen Verfärbung der Blätter ist bei diesen Bäumen wenig verschieden, die Eiche belaubt und belaubt sich in Mitteleuropa 1—2 Wochen später als die Buche. Ihre Verbreitungsgrenzen sind aber sehr verschieden, denn die Stieleiche geht bis zum mittleren Ural, die Buche nur bis Ostpreußen und Bessarabien, während in Norwegen ihre Grenzen nahe zusammenkommen. Man sieht hieraus, daß so weit die Verbreitung dieser Bäume durch die Temperatur bestimmt ist, für die Eiche die einer wärmeren, für die Buche die einer kälteren Jahreszeit entscheidend sein muß, da in Europa die Isothermen der Sommermonate nach Ost, die der Wintermonate nach Südost verlaufen.

Wenn auch die früher beliebte Berechnung von Temperatursummen mit Recht verlassen ist, weil die komplizierten Prozesse des Pflanzenlebens sich nicht in so einfache Ausdrücke pressen lassen, so spielt doch die Dauer und Erhebung der Temperatur über gewissen Schwellen offensichtlich die wichtigste Rolle in der Verknüpfung zwischen Klima und Pflanzenleben sowie Pflanzenverbreitung. Die dabei maßgebenden Temperaturen sind zwar nicht mit der Lufttemperatur identisch, aber gehen dieser doch so weit parallel, daß wir die Lufttemperatur unsern Untersuchungen zugrunde legen können; sie allein ist uns genügend bekannt dazu. Während nun Fichte, Kiefer, Birke sich schon mit einem einzigen Monat mittlerer Lufttemperatur über 10° zu begnügen vermögen, um die notwendigen Jahresvorgänge in Ernährung und Fortpflanzung zu vollziehen und einen, wenn auch äußerst dünnen, Holzring anzusetzen, verlangen die Stieleiche und die ganze Reihe mit ihr zusammengehender Holzgewächse ¹⁾ ungefähr 4 Monate lang Temperatur über 10°.

¹⁾ *Ulmus effusa*, *Acer platanoides*, *Crataegus oxyacantha*, *Corylus avellana*, *Alnus glutinosa*, *Evonymus verrucosus*, *Pyrus malus*, *Prunus spinosa*, *Rhamnus catarthica* haben alle ähnliche Verbreitung nach Nord und Ost. Vgl. W. KÖPPEN: Die Wärmezonen der Erde, Meteor. Zeitschr. Bd. 4, 1884, S. 247.

Ein ganz anderes Ergebnis haben zwei Bestimmungen dieser Art für die Buche. SENDTNER hat schon 1854 auf Grund ihrer Nordostgrenze gefunden, daß sie durch einen Zeitraum von $7\frac{1}{3}$ bis $8\frac{1}{3}$ Monaten eine Temperatur über 1° R bedürfe, um alle Phasen zu durchlaufen, die für ihren Fortbestand und ihre Vermehrung notwendig sind. Und vor kurzem hat EUGENIE RUBINSTEIN¹⁾ gefunden, daß auf der Strecke von Ostpreußen bis Bessarabien die Buchengrenze mit der Linie einer Andauer von 210 Tagen der Mitteltemperatur über 5° C zusammenfällt.

Bestimmen wir nun gemäß unsern obigen Auseinandersetzungen die Temperaturschwellen für die Dauer von 4 bis 8 Monaten für je 9—10 Punkte längs der beiden Grenzen, so erhalten wir ein sehr klares Bild. Bei Stationen, die etwas innerhalb oder außerhalb der betreffenden Grenze liegen, habe ich an die langjährigen Mittel kleine Korrekturen angebracht, [(/) bedeutet aufwärts, (\) abwärts], um die Werte auf die Grenze selbst zu reduzieren, doch betragen diese nur $0,1$ bis $0,4^{\circ}$, mit Ausnahme von Slatoust, dessen Temperaturen ich auf die wahrscheinliche ungefähre Höhe des Eichenvorkommens reduziert habe. In der ersten und letzten Spalte der Zahlentabelle (S. 558) findet man die mittlere Temperatur der beiden extremen Monate.

Mit den Zahlen aus Schottland werden wir uns später beschäftigen. An den Differenzen zwischen den Reihen a—b und c—d erkennt man leicht, welche Spalten die größte Gleichförmigkeit längs der betreffenden Verbreitungsgrenze zeigen; es sind dies: für die Eiche: 4 Monate über etwa 40° , für die Buche: 8 Monate über etwa 1° . Kischinew ist wahrscheinlich schon der Übergang zur Trockengrenze und darum auszuschließen. Die extremen Monate zeigen bereits wieder viel geringere Übereinstimmung längs der Grenze, namentlich bei der Eiche zeigt die Temperatur des kältesten Monats große Gegensätze; doch auch bei der Buche zeigt sie zu große Unterschiede längs der Grenze, als daß man den Winterfrost für diese als bestimmend ansehen könnte.

Soweit erscheint das Ergebnis für die klimatische Natur der Nordostgrenzen des wilden Vorkommens der beiden Bäume recht bestimmt. Einige Angaben über Kulturversuche mit der Buche scheinen freilich zu beweisen, daß unter dem Schutz des Menschen die Buche noch darüber hinaus bestehen kann. So sollen geflanzte Buchen in »geschützter Lage« an der norwegischen Küste noch bei Drontheim und sogar unter $67^{\circ} 55' N$ bei Stegen gedeihen und Früchte reifen und selbst in Finnland unter $63^{\circ} N$ sich in Buschform finden. Die Temperatur der 8-Monats-Schwelle ist an diesen Orten — $0,2^{\circ}$, etwa — 1° und — $2\frac{1}{2}^{\circ}$, die Temperatur des kältesten Monats — 3° , — 3° und — $7\frac{1}{2}^{\circ}$.

1) Meteorol. Zeitschr. XLI. (1924 S. 45).

	Januar- Mittel	8 Monate 1/2 (März + Nov.)	7 Monate	6 Monate 1/2 (April + Okt.)	5 Monate	4 Monate 1/2 (Mai + Sept.)	Juli- Mittel
Buche.							
Schottland { Westküste, 56 1/2 N. Ostküste, 57 N.	3,9	5,4	6,5	7,9	9,3	10,8	13,8
a) Bei Larvig	3,0	4,5	6,0	7,5	8,9	10,4	14,0
> Göteborg (∩)	— 2,2	4,2	3,5	5,8	8,4	11,0	16,5
> Jönköping (∩)	— 2,0	4,8	4,0	6,4	8,8	11,3	16,8
> Visby (∩)	— 4,7	4,0	3,2	5,2	7,7	10,2	16,3
> Königsberg	— 4,0	4,5	3,6	5,5	7,9	10,2	16,2
> Warschau (∩)	— 2,9	0,8	3,6	6,5	9,2	11,9	17,3
> Warschau (∩)	— 3,6	0,9	4,1	7,4	10,2	13,0	18,7
b) > Czernowitz (∩)	— 5,3	4,5	5,0	8,6	11,6	14,6	19,9
> Kischineu	— 3,5	3,4	6,8	10,4	13,3	16,2	22,4
Differenz a—b	+ 3,1	— 0,3	— 1,5	— 2,8	— 3,2	— 3,6	— 3,4
Stieleiche.							
Schottland { Westküste, 57 1/2 N. Ostküste, 58 1/2	3,9	4,8	6,3	7,8	9,1	10,4	13,7
c) Bei Kristiansund	3,3	4,3	5,8	7,3	8,7	10,1	13,3
> Gelle	4,6	2,5	4,1	5,7	7,5	9,3	13,1
> Helsingfors	— 4,4	— 1,3	4,2	3,6	6,4	9,2	15,9
> Petersburg (∩)	— 5,4	— 1,7	1,0	3,7	6,7	9,6	16,6
> Slobodskoj (∩)	— 9,8	— 3,5	— 0,3	3,0	6,3	9,4	17,3
> Perm (∩)	— 44,3	— 6,1	— 2,0	2,1	6,2	10,2	18,7
d) > Perm (∩)	— 15,9	— 6,6	— 2,4	1,8	6,0	10,0	18,5
> Slatoust ¹⁾ (∩)	— 16,0	— 6,8	— 2,1	2,0	6,0	9,8	17,8
Differenz c—d	+ 17,5	+ 9,1	+ 6,5	+ 3,9	+ 1,5	— 0,7	— 5,4

1) Slatoust liegt 458 m ü. M., Temperatur hier red. auf 250 m.

Um den merkwürdigen Gegensatz zwischen Buche und Eiche zu untersuchen, wollen wir zunächst den jährlichen Lebenslauf der beiden Bäume vergleichen. Aus den zahlreichen Stationen in Württemberg, deren 45jährige Mittel in einer Abhandlung von Dr. B. BENTELE¹⁾ mitgeteilt sind, greifen wir vier möglichst verschiedene heraus und berechnen nach den ebendort angegebenen Monatsmitteln die mittlere Temperatur der betreffenden Tage. Die letzteren Mittel beziehen sich allerdings nicht auf dieselben Jahre, sondern sind 75jährige, doch wird dieses wenig ausmachen, da 45 Jahre schon leidlich angenäherte Normalwerte liefern. Diese Tagesmittel werden leicht so gewonnen, daß man die Entfernung des Datums von der Monatsmitte in Tagen, sowie die Temperaturänderung bestimmt, die auf 1 Tag kommt, und das Produkt beider Zahlen an das Monatsmittel fügt. So ist die folgende Tafel gewonnen.

	Belaubung				Laubverfärbung			
	Buche		Eiche		Buche		Eiche	
	Zeit	Temp.	Zeit	Temp.	Zeit	Temp.	Zeit	Temp.
Weinsberg (248 m) : .	42. IV.	8,4°	21. IV.	9,4°	46. X.	8,8°	46. X.	8,8°
Friedrichshafen (408 m)	27. IV.	10,4°	3. V.	11,0°	28. X.	6,8°	28. X.	6,8°
Schloß Zeil (753 m) .	2. V.	8,3°	14. V.	9,4°	42. X.	8,4°	21. X.	6,5°
Böttingen (908 m) . .	9. V.	8,3°	19. V.	9,7°	6. X.	7,2°	46. X.	5,6°
Mittel	28. IV.	8,7°	6. V.	9,9°	45. X.	7,7°	20. X.	6,9°

Unter Belaubung ist nach der Instruktion verstanden »erste Blattoberflächen sichtbar an verschiedenen Stellen«, unter Laubverfärbung »über die Hälfte aller Blätter verfärbt«. Da die Assimilationsarbeit nach dem ersten dieser Zeitpunkte beginnt und nicht unerheblich vor dem zweiten schließt, so sehen wir, daß sie bei Buche und Eiche ungefähr gleich lange, nur unter Verschiebung um etwa 1 Woche, dauert und bei 9—14° beginnt²⁾ und schließt. Hier kann also der Unterschied in ihrer Verbreitung nicht liegen.

Wesentlich verschieden aber ist ihre Anpassungsfähigkeit an die jeweilige Temperatur. Die Buche hält ihre innere Periodizität weit mehr fest, als die Eiche; sie läßt sich auch im Warmhause nur sehr wenig »treiben«, und auch im Freien belaubt sie sich schon in Frankreich später als die Stieleiche, und in Madeira sogar 2 Monate später als diese, die dort schon im Februar ausschlägt, nachdem auch sie eine kurze Winterruhe (nach

1) Phänologische Untersuchungen aus Württemberg. Jahreshfte d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemb. 1917.

2) Nach KERNER (Gesamm. Aufsätze, S. 405) belaubt sich die Stieleiche an ihrer oberen Grenze in den österr. Alpen bei 10,9° (15. Mai), in Wien bei 10,6°, in Kremsmünster bei 11,4°. GRISEBACH findet für Brüssel 10,3°, für Petersburg 11,6°.

HEER 50 Tage) gehalten hat, trotz einer Januartemperatur, die etwa 4° höher ist als die, bei der sie in Deutschland ausschlägt. Die Ruhezeit der Buche dauerte, als HEER sie dort beobachtete, 149 Tage.

Das bisher Gesagte spricht für die folgende Auffassung, deren Richtigkeit freilich nur durch exakte Fachstudien bewiesen werden könnte. Wenn auch die Assimilationsarbeit auf die Belaubungszeit beschränkt ist, so gehen selbstverständlich andre notwendige Lebensprozesse auch in einem Teil der äußeren Ruhezeit vor sich, die je nach der Baumart verschiedene Zeiten und Temperaturen verlangen. Nennen wir der Kürze wegen diese, nur wenig abkürzbare, Zeit der inneren Vorgänge vor und nach der Laubzeit den Schlaf, die Zeit der völligen Ruhe die Kältestarre des Baumes. Dann verlangt nach Obigem die Eiche mindestens $3\frac{1}{2}$ Monate Laubzeit mit Tagestemperatur über 10° und kaum zwei Monate Schlaf mit solchen über $1\frac{1}{2}^{\circ}$ (Perm.); die Buche aber etwa 4 Monate über 10° für die Laubzeit und ferner (im Flachlande) mindestens 4 Monate über 4° für die Zeit des Schlafs. Die Starrezeit unter 4° oder $1\frac{1}{2}^{\circ}$ ist für keinen dieser Bäume notwendig. Ist aber eine der beiden andern Bedingungen nicht erfüllt, so ist das Fortkommen dieser Bäume nicht oder höchstens unter der Pflege des Menschen möglich. An der Nordgrenze der Eiche ist die zweite, an der Nordostgrenze der Buche die erste dieser Bedingungen überall über diese Grenzen hinaus erfüllt und daher nur jeweils die andere entscheidend.

Daher dringt die Stieleiche soweit vor, als ihr Assimilationsbedürfnis gestattet, das bei ihr auf $3\frac{1}{2}$ Monate, bei der nordischen Birke sogar auf 1 Monat sich einschränken läßt; die Buche aber nach Nordost so weit, als die Zeit der vollen Starre nicht über 4 Monate steigt, nach NW aber soweit, als die Assimilationszeit nicht unter 4 Monate sinkt. In Schweden fallen diese Bedingungen zusammen, in Schottland ist nur die letztere wirksam.

Der bei der nahen Verwandtschaft von Buche und Eiche sehr auffällige Gegensatz in dem Verlauf ihrer Nordgrenzen wird durch diese Parallelisierung ihrer Anforderungen sehr gemildert und auf die verschiedene Empfänglichkeit der beiden Bäume gegen die Temperaturreize in den zwei, beiden gemeinsamen, Stadien ihres jährlichen Lebenslaufs zurückgeführt.

Eine neue Schwierigkeit entsteht indessen, wenn wir uns den oberen Grenzen beider Bäume in den Gebirgen, vor allem in den Alpen, zuwenden. Da die jährliche Temperaturschwankung in Europa nach Westen zu abnimmt, so ist nicht schwer einzusehen, daß die beiden Bedingungen: 4 Monate über 10° und 8 Monate über 4° in derselben Richtung sich nähern müssen. Sie fallen aber erst in der Schweiz zusammen, und hier müßte also auch die Buche erst die obere Grenze der Stieleiche bei 1000—1100 m Seehöhe erreichen, in der Westschweiz sie etwas übersteigen, wenn die Grenzbedingungen dieselben wären, wie in der Ebene. Allein im ganzen Alpengebiete steigt die Buche weit höher, als die Eiche! Die Stiel-

eiche bleibt fast überall unter der von ihr im Flachlande eingehaltenen Temperaturgrenze zurück¹⁾, die Buche geht über die ihrige um 200 bis 600 m hinaus.

Die Bestimmung der klimatischen Grenzen ist im Gebirge noch viel schwieriger, als in der Ebene, weil sich nebeneinander sehr verschiedene Höhengrenzen zeigen. Nach KERNER geht die Buche in Baumform in den österreichischen Alpen an SO-Hängen 200 m höher, als an W-Hängen, die Stieleiche an SW-Hängen als Baum 260 m, als Strauch oder Krüppel sogar 340 m höher, als an N-Hängen. Im Durchschnitt aller Expositionen findet KERNER (S. 94 des Buches²⁾, daß »krüppelige und strauchartige, niemals fruchtende Exemplare der Stieleiche im Mittel noch um 329 Fuß (Wiener, d. i. 104 m) Seehöhe über der Grenze der baumartigen, regelmäßig fruchtenden Stieleichen vorkommen«. Fast denselben Höhenunterschied, 410 m, findet er (S. 25) auch für die Buche. Welche von diesen Grenzen darf man nun mit den Grenzen dieser Bäume in der Ebene vergleichen? Auch in dieser finden sich die vorgeschobenen Posten wohl meist in begünstigten Lagen, aber der Unterschied in der Lage ist in der Ebene weit geringer, als im Gebirge. Ferner spielt bei der Zusammendrängung der Klimate im Gebirge die Verschleppung von Samen über das Gebiet des Samentragens hinaus im Gebirge gewiß eine viel größere Rolle, als in der Ebene. Wir werden also wohl die »mittleren«, nicht die als äußerst angeführten Angaben aus den genannten Quellen mit denjenigen aus der Ebene zu vergleichen und anzunehmen haben, daß das Hinausgehen der Bäume über diese Grenzen an den südlichen Abhängen durch die im Vergleich zur Ebene stark erhöhte Rolle der strahlenden Wärme im Pflanzenleben bedingt ist. Auf die Temperatur der Luft hat ja infolge ihrer Beweglichkeit die Exposition viel geringeren Einfluß. Die ohne Näheres angegebenen oberen Grenzen sind aber wohl meist die äußersten.

Im Folgenden habe ich aus A. v. KERNERS Gesammelten Aufsätzen (Berlin 1908) und der »Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas« von O. v. KIRCHNER, E. LOEW und C. SCHRÖTER (Stuttgart 1944) eine Anzahl Angaben über die oberen Grenzen von Buche und Stieleiche zusammengestellt und für diese die Mittel $t_8 = \frac{1}{2}$ (März + November) und $t_4 = \frac{1}{2}$ (Mai + September) der Lufttemperatur nach benachbarten Stationen berechnet, unter Anwendung einer vertikalen Temperaturabnahme für das erstere von $0,5^\circ$, für das letztere $0,6^\circ$ für jede 100 m.

Stieleiche (Seehöhe und t_4). Aus Bestimmungen für Nordtirol, Kärnten und Niederösterreich findet KERNER (S. 104) die mittlere Temperatur »an der oberen Stieleichengrenze in den östlichen Alpen« zu $8,72^\circ$ R im Mai, $9,44^\circ$ R im September, gibt $t_4 = 11,35$ C. Auf S. 101 stellt er eine

1) Vielleicht nur weil sie, wie KERNER a. a. O., S. 95 ausführt, »unter allen urwüchsigen Bäumen am frühesten den Angriffen der Menschen erlag.«

2) Der Wald und die Alpenwirtschaft. Gesamm. Aufs. von A. v. KERNER. Berlin 1908.

Reihe von Höhengrenzen als Endresultat zusammen. Weitere entnehme ich der »Lebensgeschichte« S. 72 und andern Quellen. Harz und Deister 488 m, 11,3°. Riesengebirge 490 m, 11,2. Bayerischer Wald 970 m, 9,0. Schwarzwald 700 m, 10,5. Vogesen 700 m, 10,9. Jura 700 m, 11,6 (einzelne bis 800 m, 11,0). Bayrische Alpen: West vom Inn 920 m, 10,3; Ost vom Inn 755 m, 10,9. Nordtirol 945 m, 11,5. Tiroler Zentralalpen 1260 m, 10,1. Niederösterreich 710 m, 11,4. Kärnten 975 m, 9,9. Glarus 845 m, 11,5. Schweiz. Zentralalpen 830 m, 11,4. Berner Oberland 800 m, 11,2 (aber Beatenberg 1200 m, 8,8, Wengen 1300 m, 8,2!). Bergell 1100 m, 10,7. Karst 900 m, 10,5. Albanien und Skardus 1520 m, 10,3. Mittel aus allen Bestimmungen $t_4 = 10,6^\circ$.

Rotbuche (Seehöhe, t_4 und t_8). Als mittlere Grenzen in den nördlichen österreichischen Kalkalpen gibt KERNER an (S. 25): zusammenhängende Bestände 1300 m, vereinzelt hochstämmige Bäume 1430 m, verkrüppelte strauchartige Exemplare 1540 m. Das entspricht Werten von $t_4 = 9,2, 8,3$ und $7,7'$ sowie $t_8 = -0,3, -1,0$ und $-1,5$. Ferner gibt er auf S. 26 für hochstämmige Buchenbäume die (mittleren?) Grenzen nach der Abdachung des Geländes an; die Extreme in den nördlichen Kalkalpen sind östlich der Enns: SO-Hänge 1440, W-Hänge 1300 m, westlich vom Inn: SO 1550 m, W 1290 m. Die Lufttemperatur auf beiderlei Abhängen in gleicher Seehöhe als gleich genommen, gibt dieses Werte für $t_4 = 7,8, 8,6, 7,7$ und $9,3$ sowie, $t_8 = -1,8, -1,1, -1,5$ und $-0,3^\circ$. Aus den vielen sonstigen Höhenbestimmungen, meist ohne Angabe der Exposition und des Wuchses, mögen folgende Hauptwerte hier folgen. Harz 650 m, 9,7, + 0,6. Erzgebirge 810 m, 9,1, - 0,4. Riesengebirge 650 m 9,9, + 0,7 (höchste 1170 m, 9,3, - 2,4). Bayrischer Wald 1230 m, 7,4, - 1,9. Schwäb. Jura 690 m, 11,7, + 2,6. Vogesen (höchste) 1384 m, 7,0, - 1,0. Jura (Krüppel) 1300 m, 8,0, - 0,3. Bayrische Alpen 1440, 7,0, - 0,7. Nördliche österr. Kalkalpen (Bäume) 1430 m, 8,3, - 1,0. Schweiz. Nordalpen 1350 m, 8,4, - 0,3. Grimsel 1010 m, 10,0, + 0,8. Tessin 1640 m, 8,3, - 0,8. Mt. Cénis 1640 m, 9,0, - 0,9. Mt. Ventoux N-Seite 1380 m, 9,9, + 1,5; S-Seite 1670 m, 8,2, 0,0. Aetna 1965 m, 10,1, + 2,5. Montenegro 2060 m, 9,9, 0,0. Das Mittel aller 24 Bestimmungen ergibt für t_4 den Wert $8,8^\circ$ und für $t_8 = -0,4^\circ$. Von letzteren Bestimmungen liegen 14 zwischen + 0,7 und - 1,0, im Mittel bei $-0,3^\circ$, also sämtlich unter den für die Ebene gefundenen, die zwischen + 0,8 und + 1,8 schwanken und im Mittel der 7 Orte + 1,4° C geben. Die Zeit, daß die Tagesmittel der Lufttemperatur unter dieser Schwelle bleiben, ist an der oberen Grenze der Buche im Gebirge nach dem Obigen mehr als 2 Wochen länger, als an ihrer NO-Grenze.

Das bedeutet, daß die Buche an ihrer oberen Grenze im Gebirge entweder ihre inneren Lebensvorgänge bei einer niedrigeren Lufttemperatur beginnt, oder ihren ganzen jährlichen Lebensprozess mehr abzukürzen vermag, als an ihrer Nordgrenze in der Ebene. Einem Grad Erhöhung der

Temperaturschwelle würde in diesen Fällen eine Verkürzung der Zeit um etwa $\frac{1}{2}$ Monat entsprechen. Da ich vergeblich nach mehrjährigen Mitteln für die Zeiten ihres Ergrünens und ihrer Laubverfärbung im Hochgebirge gesucht habe, so kann ich nicht bestimmen, wie sich diese Zeitverkürzung oder Temperaturerniedrigung auf die beiden Zeitabschnitte des Schlafs und der Assimilationsarbeit verteilt. Auch über die Ursache des merkwürdigen Unterschieds vermag ich nichts anzugeben. Da innerhalb der Temperaturschwellen die Prozesse bei höheren Temperaturen schneller verlaufen, so müßte man wegen der steileren Temperaturkurve im Norden das Gegenteil erwarten. Man könnte an das Licht denken, weil nicht nur die Assimilation, sondern nach Jost auch das Austreiben der Buchenknospen von der Beleuchtung abhängt. Aber der stärkeren Strahlung im Gebirge steht die größere Tageslänge im Norden gegenüber. Weitere pflanzenphysiologische Untersuchungen müssen darüber Aufklärung schaffen.

Nehmen wir an, daß es sich bei der Buche im Gebirge um Zeitverkürzung und nicht um Erniedrigung der Temperaturschwelle handelt, so können wir die geographischen und phaenologischen Beweise für das oben über die Lebensbedingungen der beiden Bäume Gesagte in runden Zahlen so zusammenfassen:

Erster Satz: Zur Assimilationsarbeit verlangt die Stieleiche mindestens $3\frac{1}{2}$ Monate über 10° , die Buche in der Ebene mindestens 4, im Gebirge nur 3 Monate über 10° ; die Buche kann diese Zeit nicht über 7 Monate, die Eiche nicht über 40 Monate hinaus verlängern.

Beweise:

1. Auf Madeira, wo alle Monate über 15° Mitteltemperatur haben, ist die Buche nur 7 Monate, die Eiche etwas über 10 Monate belaubt.
2. Wo die Temperatur weniger lange als das angegebene Maximum der Assimilationszeit über 10° liegt, belauben sich beide Bäume ungefähr bei 10° und verfärbt sich ihr Laub bald nach Erreichung dieser Schwelle.
3. Beide Bäume gehen in Schottland und Skandinavien sowie im Gebirge, die Stieleiche auch an ihrer ganzen Nordgrenze, bis an diese Temperatur- und Zeitgrenze.

Zweiter Satz: Für innere Prozesse verlangt die Stieleiche 5 Monate über $11\frac{1}{2}^{\circ}$, die Buche in der Ebene 8, im Gebirge 7 Monate über 1° Mitteltemperatur.

Beweise:

4. Die Buche geht an ihrer Nordostgrenze (von Norwegen bis zur Bukowina) und im Gebirge bis zu dieser Grenze, und die Eiche überschreitet sie nirgends, erreicht sie aber nahezu bei Perm.
5. Daß die Buche für innere Prozesse vor und nach der belaubten Zeit viel mehr Zeit braucht, als die Stieleiche, ist auch experimentell be-

wiesen dadurch, daß sie sich im Warmhause nur wenig »treiben« läßt, wie sie denn auch im Freien ihre Belaubungszeit durch höhere Wärme weniger verfrühen läßt, als die Eiche (in Frankreich sich später, in Deutschland früher belaubt, als diese).

Dritter Satz: Bei Lufttemperaturen unter etwa $+1^{\circ}$ erlöschen auch die hier maßgebenden inneren Prozesse in beiden Bäumen. Die Stieleiche erträgt fast 7, die Buche nur 3 Monate solcher Kältestarre. Beide Bäume gedeihen aber auch ohne eine solche.

Die Beweise dafür sind unter 4. und 4. gegeben.

Dieser Erklärungsversuch soll nur eine Anregung zur genauen Prüfung der Frage bieten. Diese Prüfung wird einmal von den Pflanzenphysiologen mit exakten Methoden geschehen; einen bescheidenen Beitrag zu dieser Prüfung mögen aber auch die oben beigebrachten Tatsachen hergeben.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie](#)

Jahr/Year: 1925

Band/Volume: [60](#)

Autor(en)/Author(s): Köppen W.

Artikel/Article: [Methoden die Andauer der Temperatur über bestimmten Schwellen zu finden, und deren Anwendung auf die Verbreitungsgrenzen von Buche und Stieleiche. 553-564](#)