

5. Über den Rückgang der Haselgrenze und anderer pflanzen-geographischer Grenzlinien in Skandinavien.

Von

Gunnar Samuelsson.

Bekanntlich hat in Fennoscandia in postglazialer Zeit ein Sinken der Regionengrenzen in den Hochgebirgen und eine Verschiebung von mehreren pflanzen- und tiergeographischen Grenzlinien nach Süden stattgefunden. Es sind hauptsächlich diese Veränderungen, durch deren Studium man mit Sicherheit hat feststellen können, dass während eines Abschnitts der Litorinazeit das Klima in Nordeuropa von dem jetzigen erheblich abwich. In einigen Fällen ist es sogar gelungen, ein so genaues Bild von den Verschiebungen zu rekonstruieren, dass man geglaubt hat, den Betrag der Wärmeabnahme berechnen zu können, welche die Verschiebung nach unten und nach Süden verursacht hat. Von den betreffenden Versuchen ist ohne jeden Zweifel derjenige der zuverlässigste, den GUNNAR ANDERSSON auf eine sehr eingehende Untersuchung über die jetzige und ehemalige Verbreitung des Haselstrauches in Schweden gegründet hat.

GUNNAR ANDERSSON hat die Ansicht ausgesprochen, dass die Veränderungen der Haselgrenze zeigen, dass zur Zeit der grössten Verbreitung der Hasel in Skandinavien die Temperatur der Vegetationsperiode durchschnittlich um etwa $2,4^{\circ}$ C. höher war, und dass besonders die Herbstes im »zentralen« Norrland länger und wärmer waren als heute (vgl. z. B. 1909, S. 63). Es geht aus seinen Äusserungen bei verschiedenen Gelegenheiten deutlich hervor, dass nach seiner Meinung die angeführte Ziffer auch für den eigentlichen Hochsommer gilt (vgl. z. B. 1907, S. 73 u. s. w.), obgleich die in seiner Originalarbeit (1902, S. 153) berechneten Ziffern für die betreffende Zeit etwas niedriger ausfallen (Juli: $2,1^{\circ}$ C.; Juni und August: $2,3^{\circ}$ C.). Diese Berechnung, die auch von anderen, jedoch bei weitem nicht so schwerwiegenden Tatsachen gestützt wird, ist fast allgemein als richtig angenommen worden. Doch sind die Schlüsse GUNNAR ANDERSSONS nicht ganz ohne Widerspruch geblieben. Es ist nämlich eingewendet worden, dass er nicht hinreichend berücksichtigt hat, dass eine Pflanze mit einer niedrigeren Temperatur der wärmsten Sommermonate auskommen kann, wenn die Vegetationsperiode länger wird, d. h. wenn das Klima sich

in maritimer Richtung verändert. Dass ein derartiges Verhalten von der Hasel gilt, geht, wie HÖGBOM (1907, S. 70) hervorgehoben hat, aus ihrem Vorkommen an der nordnorwegischen Westküste hervor, wo die Sommer-temperatur durchgehends niedriger als im mittleren Norrland ist. HÖGBOM (1906, S. 334, u. 1907, S. 70) meint, dass die grössere Verbreitung der Hasel und anderer südlicher Pflanzen in Norrland während der Litorinazeit am natürlichsten durch eine Verlängerung der Vegetationsperiode ohne eine gleichzeitige Erhöhung der Hochsommertemperatur erklärt werden kann.

Die jetzige Nordgrenze der Hasel in Skandinavien.

Von den zahlreichen Forschern, die sich mit den Verschiebungen der Haselgrenze beschäftigt haben, hat niemand versucht, die Frage eingehender zu behandeln, inwiefern eine höhere Hochsommertemperatur und eine längere Vegetationsperiode in bezug auf die Hasel einander ersetzen können. Diese Frage ist jedoch von fundamentaler Bedeutung für die Beurteilung des Klimas der Litorinazeit und insbesondere ihrer Wärmeverhältnisse. Ich glaube ein Mittel gefunden zu haben, die betreffenden Tatsachen in einer ziemlich stichhaltigen Weise beleuchten zu können. Ich will daher meine Berechnungen hierüber in grösster Kürze mitteilen und füge einige Betrachtungen über die klimatische Bedeutung der Verschiebungen der Haselgrenze und einiger anderer pflanzengeographischer Grenzlinien in Skandinavien hinzu.

In seiner grossen Haselmonographie (1902) versucht GUNNAR ANDERSSON, die Lage der »wahren klimatischen Nordgrenze« der Hasel in Schweden festzustellen. Er trennt diejenigen Teile des Verbreitungsgebietes ab, wo die Hasel nur an Standorten vorkommt, welche durch ihre topographischen oder andere verwandte Verhältnisse besonders begünstigt sind, und wo infolgedessen das Klima von dem normalen der betreffenden Gegend mehr oder weniger erheblich abweicht. Ein solches Verfahren ist auch ganz notwendig, wenn man das meteorologische Observationsmaterial zu irgendwelchen zuverlässigen Schlüssen soll ausnützen können. GUNNAR ANDERSSON hat auch dieser Frage eingehende Aufmerksamkeit gewidmet. Dessenungeachtet habe ich mich von der Richtigkeit seiner Schlussfolgerungen über die Lage der wahren Nordgrenze nicht völlig überzeugen können. Ich glaube nämlich, dass er die Bedeutung des Umstands ein wenig überschätzt, dass eine grosse Menge der Standorte der Hasel im südlichen Norrland an solchen Plätzen gelegen sind, die durch Lage, Exposition u. s. w. zu den mehr begünstigten der Gegend gehören. Wir müssen bedenken, dass dies auch von einem grossen Teil, vielleicht sogar von den meisten der Haselhaine beträchtlich weiter nach Süden gilt. Noch ausgeprägter ist das entsprechende Vorkommen unsrer sogen. edlen Laubbäume z. B. im mittleren Schweden. Wir müssen ferner nicht vergessen, dass gerade auf den Standorten, wo man vor allem erwarten könnte, die

Hasel im südlichen Norrland zu finden, sie der Konkurrenz anderer Bäume, besonders der Fichte und der Grauerle (*Alnus incana*) stark ausgesetzt sein muss. Dass wenigstens die Fichte die Hasel von zahlreichen Standorten verdrängt hat, wo sie aus klimatischen Gründen noch fortleben könnte, hat übrigens schon GUNNAR ANDERSSON (1902, S. 147) hervorgehoben. Ich finde es von grosser Bedeutung, dass man die Nordgrenze nicht zu weit nach Süden verlegt. Wenn man Schlüsse über Klimaveränderungen ziehen will, ist es ja von grösstem Belang, mit Minimumziffern zu arbeiten. Es gilt ja, solche Veränderungen nachzuweisen, die man annehmen muss, wenn man überhaupt eine ehemalige grössere Verbreitung soll erklären können.

Ein Studium von GUNNAR ANDERSSONS Beschreibung über die jetzigen Haselfundorte im südlichen Norrland [vgl. z. B. seine Schilderung von den Fundorten bei Forsa und Hede (Tuna) in Hälsingland (1902, S. 76 u. 78)] und meine eigenen Beobachtungen über das Vorkommen der Hasel in Dalarne haben mir die Auffassung beigebracht, dass die »wahre klimatische Nordgrenze« der Art in Schweden nicht unbeträchtlich nördlicher zu ziehen ist, als GUNNAR ANDERSSON hat wahrscheinlich machen wollen. In Schweden will ich sie ungefähr in eine Linie verlegen, die aus der Gegend südlich von Sundsvall (Medelpad) über die Dellenseen, Storkvik, Falun und Filipstad nach Charlottenberg (Värmland) läuft. Hier erhält sie eine direkte Anknüpfung an die von HOLMBOE (1903, S. 164) im südlichen Norwegen gezogene Grenzlinie. Diese hat auch GUNNAR ANDERSSON angenommen und in die Karte eingetragen, die seine Arbeit aus d. J. 1909 begleitet, obgleich die Nordgrenze in Norwegen in dieser Weise einen verhältnismässig weit nördlicheren Verlauf erhält als den von ihm für Schweden angenommenen. Wenn man die Nordgrenze in der jetzt von mir vorgeschlagenen Weise zieht, bekommt man auch eine weit bessere Übereinstimmung mit der Verbreitung in Finnland.

Nachdem wir eine derartige Korrektur vorgenommen haben, ist es von Interesse, zu untersuchen, welche Veränderung des Sommerklimas seit der Zeit der grössten Verbreitung der Hasel wir annehmen müssen, wenn wir vorläufig demselben Berechnungsverfahren wie GUNNAR ANDERSSON folgen. Es steht uns dann auch ein besseres und reicheres meteorologisches Material zu Gebote als dasjenige, das GUNNAR ANDERSSON 1902 verwenden konnte. Wenn man aus den Temperaturziffern für die 9 in Tab. 1 und für sämtliche in Tab. 2 unten angeführte Stationen (nach den unten zitierten Quellen) die Durchschnittszahlen für die Monate der Vegetationsperiode berechnet, erhält man

	April	Maj	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
An der jetzigen Haselgrenze:	+ 2,0	+ 7,85	+ 13,4	+ 15,2	+ 13,7	+ 9,5	+ 3,7° C.
» » ehemaligen Haselgrenze:	+ 0,7	+ 5,95	+ 12,0	+ 13,8	+ 12,1	+ 7,9	+ 1,9° C.
Differenz	1,3	1,9	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8° C.

Die Annahme einer durchschnittlichen Senkung der Mitteltemperatur sämtlicher Monate April bis Oktober von $1,6^{\circ}$ C. wäre demnach hinreichend, um den Rückgang der Haselgrenze zu erklären. Es muss hierbei die Aufmerksamkeit darauf gelenkt werden, dass diese Betrachtungsweise an sich die Annahme einer Verlängerung der Vegetationsperiode enthält. Die Anzahl der Tage, wo die Mitteltemperatur sich über dem Gefrierpunkt hält, wird nämlich um etwa 17 vermehrt. Wir werden unten sehen, dass dies nicht ohne Bedeutung ist.

Um in einer einigermaßen zuverlässigen Weise die Frage beantworten zu können, inwiefern eine längere Vegetationsperiode und eine höhere Temperatur des Hochsommers betreffs der Hasel einander ersetzen können, habe ich mich einer Methode bedient, die eine Modifikation und eine Entwicklung sowie eine richtigere Anwendung von einer Betrachtungsweise bedeutet, die der dänische Pflanzengeograph VAHL beschrieben hat. VAHLS Idee, die man gewiss als genial bezeichnen muss, ist jedoch sehr wenig beachtet und seine Methode, so viel ich weiss, von keinem anderen Forscher verwendet worden. Ich finde es demnach angemessen, die Anschauungs- und Arbeitsweise VAHLS kurz zu beschreiben.

Nach VAHL (1911, S. 291) geben die Mitteltemperaturen während des wärmsten ($=v$) und des kältesten ($=k$) Monats an einem Ort eine approximative Vorstellung von der Natur der Temperaturkurve des ganzen Jahres und somit auch von der Länge der Vegetationsperiode. Daher kann man nach ihm auch mit den beiden ersten Grössen arbeiten, um die Relation zwischen der Hochsommertemperatur und der Länge der Vegetationsperiode an einer Pflanzengrenze zu bestimmen. Das Prinzipielle an der Methode VAHLS liegt aber in seiner Annahme, dass man der Relation einen mathematischen Ausdruck von der Form

$$v = f(k)$$

geben kann. VAHL ist der Ansicht, dass es in der Regel hinlänglich ist, $f(k)$ als eine Funktion ersten Grades zu betrachten, demnach

$$v = a + b k.$$

Man muss folglich die Konstanten a und b dieser Gleichung bestimmen. In einigen Fällen hat VAHL dies auch ausgeführt, aber nur für die Anbaugrenze des Weizens hat er das verwendete Material veröffentlicht und mitgeteilt, wie er beim Bestimmen der Konstanten verfahren hat. Nur in diesem Falle kann man daher die Zulässigkeit und Verwendbarkeit der Methode beurteilen.

VAHL bediente sich der Ziffern von 16 meteorologischen Stationen längs der betreffenden Grenzlinie in Europa und Asien. Die Werte von a und b bestimmt er in folgender Weise. Zuerst berechnet er die Differenzen (Dv bzw. Dk) zwischen den Werten für v bzw. k bei den 15 späteren Stationen und demjenigen der westlichsten Station, wonach er b

als $\frac{\sum Dv}{15}$; $\frac{\sum Dk}{15}$ erhält. Für alle 16 Stationen berechnet er dann a aus der Gleichung $v = a + bk$. Die Konstante a ist die Durchschnittszahl von diesen 16 Ziffern. Die Gleichung bekommt zuletzt die Form

$$v = 14,5 - 0,28 k.$$

Dieses umständliche Verfahren ist tatsächlich dasselbe, wie wenn man eine Reihe von 16 Gleichungen von dem Typus $v = a + bk$ aufstellt, sämtliche Gleichungen summiert und das System

$$\begin{cases} v_1 = a + bk_1 \\ \sum v = 16a + b \sum k \end{cases}$$

löst.

VAHL scheint nicht bemerkt zu haben, dass eine derartige Bestimmung der Werte von a und b prinzipiell unrichtig ist, weil die Werte von der Wahl der »Hauptgleichung« in hohem Grade abhängig sind. Das richtigste Vorgehen ist natürlich, die Konstanten nach der Methode der kleinsten Quadraten zu berechnen. Sie ist jedoch mit zeitraubenden Rechnungen verknüpft, welche man vermeiden kann, wenn man das Material nach einer graphischen Methode in einer Weise behandelt, die ich unten näher entwickeln werde. In Fällen, wie den hier in Frage kommenden, gibt sie hinreichend sichere Resultate. Dass VAHL dessenungeachtet befriedigende Resultate erhalten hat, geht daraus hervor, dass, wenn man k als bekannt voraussetzt und dann v aus der Gleichung berechnet, der Unterschied zwischen den berechneten und den beobachteten Werten von v niemals eine Grösse von $\pm 0,5^\circ$ C. überschreitet. Dieses Ergebnis ist ja sehr auffallend und zeigt, welche ausserordentlich schönen Resultate die Methode wenigstens geben kann.

Es ist ja deutlich, dass die Verwendbarkeit der Methode, wenn man mit den Quantitäten v und k arbeitet, in hohem Grade davon abhängt, inwiefern die betreffenden Mitteltemperaturen den wahren Verlauf der Temperaturkurve und andere Klimafaktoren veranschaulichen, die hierin einen indirekten Ausdruck finden. Die Methode scheint gute Resultate liefern zu können, wenigstens wenn man eine Grenzlinie charakterisieren will, die durch Gebiete mit sehr verschiedenen Klimatypen verläuft, insbesondere in Fällen, wo es nicht auf feinere Einzelheiten ankommt. Dagegen scheint sie in einem Gebiet von im grossen und ganzen so einheitlichem Klima wie Skandinavien weniger verwendbar zu sein. Wenigstens sind die bis jetzt von mir ausgeführten Versuche weniger gut ausgefallen. Weit bessere Resultate habe ich beim Verwenden von einer anderen Grösse als der Mitteltemperatur des kältesten Monats erhalten, so z. B. für die Haselgrenze.

Ich habe mit der Mitteltemperatur des wärmsten Monats und der Anzahl der Tage mit einer Mitteltemperatur oberhalb des Gefrierpunkts gearbeitet. Hierdurch werden die Unterschiede betreffs der Länge der

Vegetationsperiode an verschiedenen Orten direkter berücksichtigt. Es wäre natürlich sehr erwünscht, einen exakteren Ausdruck für diesen Faktor benutzen zu können. Dies ist aber gegenwärtig kaum ausführbar. Es ist ja möglich, dass es angemessener wäre, die Grenze zu einer etwas höheren Temperatur zu verlegen. Da diese aber ziemlich willkürlich gewählt werden müsste, habe ich mich für den Gefrierpunkt entschieden. Besonders für die Hasel dürfte hiergegen wenig einzuwenden sein, da wenigstens ihr Blühen bei einer Temperatur von einem oder dem anderen Zentigrad oberhalb des Gefrierpunkts vorsieht.

In Tab. I habe ich einige Ziffern für 15 meteorologische Stationen zusammengestellt, die sich längs der klimatischen Nordgrenze der Hasel in Skandinavien, wie ich ihre Lage auffasse (vgl. oben), ziemlich regelmässig verteilen. Zuerst finden sich nach HAMBERG (1908), MOHN (1895) und GUNNAR ANDERSSON (1902, S. 152: Gåsborn) Angaben über die Anzahl der Tage mit Mitteltemperatur oberhalb des Gefrierpunkts¹ (= t) und über die Mitteltemperatur des wärmsten Monats (= v). Über die zwei letzten Kolonnen vgl. unten!

Tab. I.

		t	v	Bv_1	Bv_2
Sköldbäcka	(48 M. ü. d. M.)	212	+ 15,1° C.	+ 15,3° C.	+ 15,4° C.
Kilafors	(58 » » » »)	218	15,4	15,0	15,0
Valsfors	(190 » » » »)	220	15,1	14,9	14,9
Stjärnsund	(130 » » » »)	217	15,1	15,1	15,1
Gåsborn	(220 » » » »)	215	15,5	15,2	15,2
Biri	(128 » » » »)	211	15,3	15,4	15,4
Hamar	(140 » » » »)	214	15,2	15,2	15,3
Eidsvold	(190 » » » »)	217	14,6	15,1	15,1
Aabogen	(147 » » » »)	213	15,3	15,3	15,3
Bjelland	(110 » » » »)	234	14,2	14,3	14,2
Aalhus	(218 » » » »)	247	13,9	13,7	13,6
Trondhjem	(11 » » » »)	238	14,0	14,1	14,0
Ytterøen	(76 » » » »)	240	14,0	14,0	13,9
Stenkjær	(8 » » » »)	227	14,2	14,6	14,5
Brønø	(11 » » » »)	268	12,9	12,7	12,9

Dieses Material kann nun in verschiedener Weise behandelt werden. Das Richtigeste ist ohne Zweifel, anzunehmen, dass die Relation zwischen v und t durch eine Kurve von der Form

$$v = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots$$

ausgedrückt werden kann, und dann die Konstanten nach der Methode der kleinsten Quadraten zu berechnen. Wenn das Material wie das hier in

¹ Für die schwedischen Stationen habe ich selbst die Ziffern unter der Voraussetzung berechnet, dass die Temperaturkurve zwischen den 15. der verschiedenen Monate einen geradlinigen Verlauf hat.

Frage stehende beschaffen ist, ist jedoch ein solches Verfahren mehr zeitraubend als notwendig. Wir müssen ja bedenken, dass den meteorologischen Ziffern sicher kleinere Fehler anhaften, u. a. sind das schwedische und das norwegische Material kaum völlig gleichförmig bearbeitet. Die Observationsorte sind natürlich auch nicht exakt an der Haselgrenze gelegen. Es ist daher ganz hinreichend, das Material nach einer graphischen Methode zu behandeln.

Wir können v als y -Koordinate und t (aus praktischen Gründen als Zehntagsperioden dargestellt) als x -Koordinate betrachten. Man bekommt dann 15 Punkte, die sich in einer Weise anordnen, die Fig. 1 veranschaulicht. Sie verteilen sich sehr gesetzmässig. Wenn wir die Relationskurve

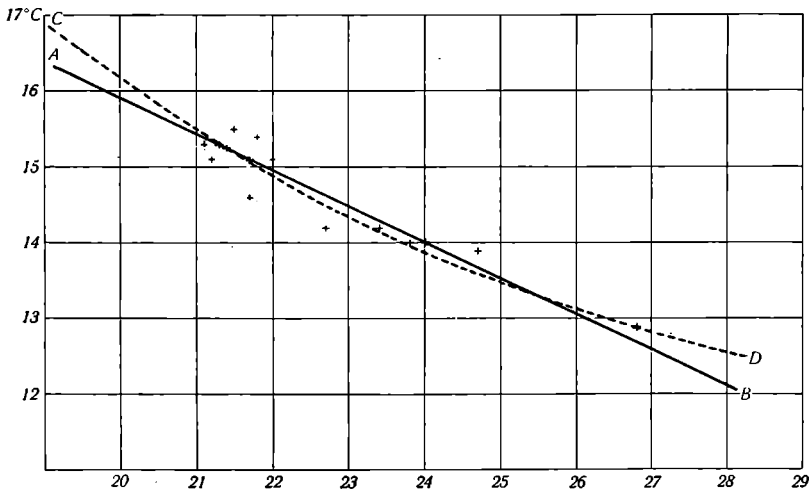


Fig. 1. Relationskurven für die Anforderungen der Hasel an die Hochsommertemperatur und die Länge der Vegetationsperiode in Skandinavien. Weitere Erklärung im Text!

als eine gerade Linie betrachten wollen, müssen wir sie etwa wie die Linie $A-B$ (Fig. 1) einlegen. Sie entspricht der Gleichung (berechnet nach zwei Punkten)

$$v = 25,32 - 0,47 t.$$

Geben wir aber der Kurve eine gebogene Form, können wir sie wie die Linie $C-D$ (Fig. 1) ziehen. Ihre Gleichung (berechnet nach drei Punkten) ist

$$v = 42,89 - 1,98 t + 0,032 t^2.$$

Diese Kurven kommen offenbar der wirklichen Lage der Relationskurve sehr nahe. Aus den beiden Gleichungen habe ich die v -Werte berechnet, welche in den zwei letzten Kolumnen der Tab. 1 angeführt sind (bezw. Bv_1 und Bv_2). Die beiden Berechnungen haben fast völlig übereinstimmende Resultate geliefert, wenn auch die einzelnen Werte ein wenig schwanken. Die grösste Abweichung vom beobachteten v -Wert, die in

irgendeinem Fall vorkommt, beträgt $0,5^{\circ}$ C. Sie stammt übrigens aus einer Station (Eidsvold), die ein wenig ausserhalb der jetzigen klimatischen Haselgrenze gelegen sein dürfte. Für beide Kurven verteilen sich die + und -Differenzen fast völlig symmetrisch. Die Mitteldifferenzen sind $0,18$ bzw. $0,17^{\circ}$ C. Das Resultat müssen wir als gut betrachten. Ich bin demnach der Ansicht, dass die gefundenen Kurven beide ungefähre Gültigkeit für die Skandinavische Halbinsel beanspruchen können. Vielleicht besitzt die letztere einen kleinen Vorzug darin, dass die Grenzwerte an beiden Enden längs dieser besser liegen. Für eine sichere Entscheidung wäre jedoch ein reicheres meteorologisches Material dringend nötig.

Wir haben somit gefunden, dass für die Hasel eine Senkung von der Mitteltemperatur des Hochsommers innerhalb gewisser Grenzen von einer Verlängerung der Vegetationsperiode ersetzt werden kann, und haben auch einen Ausdruck für die Relation zwischen den beiden betreffenden Klimafaktoren erhalten. Es ist jedoch sicher, dass die Kurve nur innerhalb einer bestimmten Zone Gültigkeit besitzt. Diese Zone erstreckt sich in der Tat wahrscheinlich nur unbedeutend über das Gebiet hinaus, wo die markierten Punkte sich befinden. In Skandinavien scheint die Hasel nämlich nur an Orten vorzukommen, wo die Mitteltemperatur des wärmsten Monats sich auf wenigstens $+12,9^{\circ}$ C. beläuft, während die entsprechende Minimumziffer in Schottland bis zu etwa $+12,5^{\circ}$ C. sinken zu können scheint. In einem derartigen Falle müssten nach der obigen Betrachtungsweise mindestens 283 Tage eine Mitteltemperatur über 0° C. besitzen.¹

Auch in der entgegengesetzten Richtung scheint die Gültigkeit der Kurve begrenzt zu sein. In den kontinentaleren Klimagebieten, um die es sich hier handeln kann, sind nämlich wahrscheinlich auch andere Klimafaktoren von grösserer Bedeutung. Es ist vielleicht möglich, dass hier auch die niedere Wintertemperatur einen grösseren direkten Einfluss ausübt. Schon im östlichen Finnland zeigt die Grenzlinie die Tendenz, eine südöstliche Richtung einzuschlagen, was noch deutlicher in Russland hervortritt. Als einen anderen Umstand, der vielleicht eine Rolle spielt, will ich die verhältnismässig niedere Temperatur schon im September hervorheben. Eine bessere Übereinstimmung mit den Verhältnissen in diesen Gegenden könnte man möglicherweise erhalten, wenn man mit einem zuverlässigeren Mass für die Länge der Vegetationsperiode, als dem von mir angewandten, arbeiten könnte.

Die ehemalige Nordgrenze der Hasel in Skandinavien.

Wenn wir jetzt unsere Aufmerksamkeit der ehemaligen Verbreitung der Hasel in Skandinavien zuwenden, so können wir leider nur auf die

¹ Auch auf den Orkneyinseln kommt die Hasel vor. Die wärmste Station, Kirkwall, hat $v = 13,1^{\circ}$ C. (BUCHAN 1898, S. 29). Die Shetlandinseln mit $v = 12,3^{\circ}$ C. in Bressay Manse (7,5 M. ü. d. M.) liegen dagegen ausserhalb des jetzigen Verbreitungsgebietes der Hasel.

Verhältnisse in Schweden und zum Teil im südöstlichen Norwegen, also den kontinentaleren Gegenden des Verbreitungsgebietes, Rücksicht nehmen. Die Verschiebungen im westlichen Norwegen und in Finnland sind nicht hinreichend bekannt.

Wenn die soeben dargelegte Betrachtungsweise einigermaßen zutreffend ist, so haben wir in den obigen Gleichungen (oder den in Fig. 1 graphisch hergestellten Kurven) ein Mittel erhalten, das uns gestattet, nach verschiedenen Richtungen hin Schlüsse über Klimaveränderungen zu ziehen, die eine Verbreitung der Hasel über das grosse Gebiet, wo sie einmal eine häufige Pflanze gewesen ist, ermöglichen würden.

In Tab. 2 teile ich Ziffern über die Länge der Vegetationsperiode in Tagen (= t) und die Mitteltemperatur des wärmsten Monats (= v) von 13 Stationen mit, welche annähernd an der ehemaligen Haselgrenze gelegen sind.¹

Tab. 2.

		t	v	Bv_1	Bt_1	Bv_2	Bt_2
Bjurholm	(178 M. ü. d. M.)	190	13,75° C.	16,4° C.	246	16,9° C.	244
Trehörningsjö	(230 » » » »)	194	14,3	16,2	234	16,6	232
Resele	(140 » » » »)	198	15,5	16,0	208	16,3	210
Munsåker	(168 » » » »)	199	14,4	15,95	231	16,25	229
Stugubyn	(215 » » » »)	199	13,75	15,95	246	16,25	244
Ope	(324 » » » »)	195	12,75	16,15	255	16,55	255
Östersund	(312 » » » »)	202	13,5	15,8	251	16,0	250
Gällö	(295 » » » »)	200	13,8	15,9	244	16,2	242
Sveg	(346 » » » »)	193	13,9	16,2	242	16,7	240
Marktjärn	(440 » » » »)	192	12,4	16,1	263	16,8	269
Ljungby	(436 » » » »)	196	13,3	16,1	255	16,5	255
Rena	(230 » » » »)	198	14,3	16,0	234	16,3	232
Granhejm	(400 » » » »)	202	13,7	15,8	247	16,0	245

Diese Stationen fallen sämtlich innerhalb eines sehr einheitlichen Klimagebietes, was vor allem aus den geringen Schwankungen der t -Werte hervorgeht. Dessenungeachtet wechseln die v -Werte erheblich. Wir müssen uns aber hierbei der Schwierigkeiten erinnern, mit welchen ein exaktes Feststellen der Grenzlinie einer Art während einer vergangenen Zeit verknüpft ist. In denjenigen Fällen, wo die niedrigsten Ziffern vorliegen, ist es möglich, dass die Hasel niemals bis zu den Punkten verbreitet war, wo die meteorologischen Stationen jetzt liegen. Andererseits ist es sehr wahrscheinlich, dass sie längs dem Ängermanelf weiter als Resele hinaufgestiegen ist. Dies wird u. a. dadurch angedeutet, dass eine ganze Reihe von südlichen Pflanzen in der Jetztzeit weiter nach Norden vorkommt.

Einige Berechnungen über die anzunehmenden Klimaverhältnisse zur

¹ Die Ziffern für Trehörningsjö stammen von GUNNAR ANDERSSON (1902, S. 152), die übrigen von HAMBERG (1908) und MOHN (1895). Die t -Werte habe ich für Schweden wie in Tab. 1 berechnet.

Zeit der grössten Verbreitung der Hasel, die wir im Anschluss an die angeführten Ziffern ausführen können, dürften nicht ganz ohne Interesse sein. Zuerst wollen wir annehmen, dass bei den Stationen an der ehemaligen Haselgrenze keine Veränderung hinsichtlich der Länge der Vegetationsperiode stattgefunden hat. Dann muss die Mitteltemperatur des wärmsten Monats, berechnet aus den oben mitgeteilten Gleichungen, die in den Kolonnen Bv_1 oder Bv_2^1 in Tab. 2 angeführten Werte gehabt haben. Der Unterschied zwischen diesen berechneten Werten und den beobachteten beträgt $2,3^\circ$ C. bzw. $2,6^\circ$ C. Ich möchte jedoch auf die Unsicherheit beider Berechnungen hinweisen, da sie sich auf Teile der Relationskurven stützen, die ausserhalb des empirisch festgestellten Gebietes liegen. Mit diesem Vorbehalt können wir jedoch schliessen, dass eine Erhöhung der Mitteltemperatur des wärmsten Monats um etwa $2,5^\circ$ C. der jetzigen gegenüber nötig wäre, um die Verbreitung der Hasel als eine häufige Pflanze bis zu ihrer ehemaligen Nordgrenze zu ermöglichen, vorausgesetzt dass nicht gleichzeitig eine Verlängerung der Vegetationsperiode stattgefunden hatte.

Eine völlig entgegengesetzte Annahme ist ja auch möglich, und zwar, dass keine Erhöhung der Hochsommertemperatur erfolgt war. Dann muss die Länge der Vegetationsperiode (nach dem obigen Mass) an den verschiedenen Stationen die in den Bt_1 - und Bt_2 -Kolonnen der Tab. 2 angegebene Anzahl der Tage betragen haben. Unter den angenommenen Verhältnissen müssen sich demnach die Tage mit einer Mitteltemperatur oberhalb des Gefrierpunkts um etwa 45 Tage, d. h. auf etwa 240 Tage, vermehrt haben. Die Temperaturverhältnisse wären dann mit den jetzigen in der Gegend von Trondhjem vergleichbar.

Als eine dritte Möglichkeit wollen wir eine derartige Verlängerung der Vegetationsperiode annehmen, dass ihre Länge derjenigen an der jetzigen Haselgrenze in Schweden und dem südöstlichen Norwegen, d. h. etwa 215 Tage (= Mittel nach den 9 ersten Stationen der Tab. 1), entsprechen würde. Dies vorausgesetzt müsste sich die Mitteltemperatur des wärmsten Monats auf etwa $+15,2^\circ$ C. belaufen. Eine Erhöhung dieses Klimafaktors von etwa $1,4^\circ$ C. wäre demnach nötig. Es ist in der Tat annähernd diese Annahme, mit der GUNNAR ANDERSSON gearbeitet hat, als er seine oben besprochenen Berechnungen ausführte. Das Resultat, das ich oben nach der von mir als wünschenswert betrachteten Korrektur hinsichtlich der jetzigen Haselgrenze, aber mit derselben Berechnungsart, wie der von GUNNAR ANDERSSON benutzten, bekam, stimmt mit dem soeben aus der Relationskurve erhaltenen überein.

Ausser den jetzt behandelten Möglichkeiten sind natürlich die verschiedensten Kombinationen denkbar. Welche dem wahren Verhalten am besten entspricht, kann nicht ohne Berücksichtigung der Verschiebungen von den Grenzlinien auch anderer Pflanzen oder Tiere entschieden werden.

¹ Bv_1 und Bt_1 sind nach der Kurve ersten Grades, Bv_2 und Bt_2 nach derjenigen zweiten Grades berechnet.

Doch will ich hervorheben, dass, wenn vorläufig von anderen Tatsachen abgesehen wird, die Verschiebung der Haselgrenze in Skandinavien nach Süden erklärt werden kann, sowohl nach GUNNAR ANDERSSONS Annahme von einer Senkung der Sommertemperatur ohne wesentliche Veränderung des Klimatypus, als in Übereinstimmung mit der Betrachtungsweise HÖGBOMS durch eine Klimaveränderung in kontinentaler Richtung ohne Senkung der Hochsommertemperatur, oder nach einer Auffassung, die man diejenige SERNANDERS (1910, S. 246) nennen könnte, durch eine Veränderung des Klimas in maritimer Richtung, mit einer gleichzeitigen Senkung der Sommertemperatur verbunden. Die verschiedenen Erklärungsarten entsprechen ziemlich gut den obigen Annahmen Nr. 3, 2 und 1 in dieser Reihenfolge.

Die grössere Verbreitung anderer südlicher Pflanzen in Fennoscandia während der postglazialen Wärmezeit.

Wenn ich jetzt zu einer Besprechung einiger anderer postglazialer Veränderungen in der Pflanzengeographie von Fennoscandia übergehe, muss ich betonen, dass ich nur beabsichtige, ihre Bedeutung im Anschluss an die bezüglich der Hasel vorgeführten Gesichtspunkte in grösster Kürze zu berühren. Es ist nicht möglich, sie ganz ausser Acht zu lassen, obgleich meine Zeit mir nicht erlaubt hat, ihnen eine eingehendere Aufmerksamkeit zu widmen. Ich werde auch nicht die verschiedenen Ansichten der Autoren ausführlicher auseinandersetzen. Ich will nur einige vergleichende Betrachtungen über die klimatische Bedeutung von den horizontalen oder vertikalen Verschiebungen einiger Pflanzengrenzen in Fennoscandia mitteilen. Dagegen muss ich ganz von den Zeugnissen anderer Forschungsgebiete, z. B. der Tiergeographie, der theoretischen Meteorologie, der Stratigraphie der geologischen Ablagerungen u. s. w. absehen.

Man weiss durch Fossilfunde mit Bestimmtheit, dass ausser der Hasel noch mehrere andere südliche Pflanzen während eines Abschnitts der postglazialen Zeit nicht nur innerhalb ihrer gegenwärtigen Verbreitungsgebiete in Fennoscandia häufiger als jetzt gewesen sind, sondern auch, dass ihre einstigen Nordgrenzen mehr oder weniger erheblich nach Norden verschoben waren. Dies gilt im südlichen Norrland wenigstens von der Eiche, der Linde, der Ulme (vielleicht auch *Sorbus suecica*), *Lycopus europaeus*, *Iris pseudacorus*, *Carex pseudocyperus*, *Sparganium ramosum*, *Polystichum cristatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Ruppia rostellata* und *Najas marina* (vgl. besonders GUNNAR ANDERSSON 1909, S. 63; VON POST 1906, S. 268; JONSSON 1911, S. 156; ERIKSON 1912, S. 519; SANDEGREN 1915, S. 38) und im südlichen und mittleren Schweden vor allem von *Trapa natans*. In Finnland gilt dasselbe ausser von mehreren der soeben angeführten, z. B. *Trapa*, auch von *Najas flexilis*, *Rumex hydrolapathum* und *Cladium mariscus* (vgl. z. B. LINDBERG 1911, S. 58), in Norwegen

wenigstens von der Eiche, der Hasel, *Cladium*, *Carex pseudocyperus* und *Najas marina* (HOLMBOE 1910, S. 337).

Von diesen 16 Arten sind nur einige wenige geeignet, irgendwelche Aufschlüsse über die Natur der sogen. postglazialen Klimaverschlechterung zu liefern, welche die Hasel nicht schön gebracht hätte. Dies hängt teils mit der geringen Anzahl der Fossilfunde der meisten Arten, teils mit dem Umstand zusammen, dass die meisten Arten in Bezug auf ihre jetzige Verbreitung sich der Hasel mehr oder weniger analog verhalten. Ihre ehemalige Verbreitung über grössere Gebiete kann demnach in denselben verschiedenen Weisen wie die der Hasel erklärt werden. Die Relationskurven für die Nordgrenzen der betreffenden Arten in Fennoscandia besitzen demnach einen mit derjenigen der Hasel prinzipiell übereinstimmenden Verlauf, wenn die Einzelheiten auch verschieden sein mögen. Im grossen Ganzen gilt dies von der Eiche, der Linde, der Ulme, *Lycopus europaeus*, *Solanum dulcamara*, *Iris pseudacorus*, *Sparganium ramosum* und *Ruppia rostellata*, welche alle mehr oder weniger weit nach Norden an der norwegischen Westküste vorkommen. Für alle diese Arten halten sich übrigens die bekannten Verschiebungen innerhalb der für die Hasel festgestellten Grenzen.

An diese Gruppe schliesst sich betreffs der jetzigen Verbreitung auch *Ceratophyllum demersum* ziemlich eng an, während sein Zurückweichen in postglazialer Zeit weit grösser als dasjenige der übrigen Arten ist. So verhält sich die Pflanze jedoch nur in Finnland, wo sie von LINDBERG (1912, S. 275) an zahlreichen Orten in Finnisch-Lappland fossil gefunden ist, während die nördlichsten Fundorte für lebendes *Ceratophyllum* im nördlichen Savolaks und Österbotten (Kemi) liegen. Nicht nur vegetative Teile, sondern auch Früchte wurden angetroffen, sogar an dem aller nördlichsten Fundort (Hetta bei Enontekis). Der Unterschied betreffs der Lufttemperatur während der Sommermonate in den betreffenden Teilen von Lappland und an den nördlichsten Lokalen, wo die Art in der Jetztzeit fruchtend gefunden ist, beträgt nicht weniger als etwa 4° C. Wenn man auch die Fundorte von sterilem *Ceratophyllum* berücksichtigt, so sinkt die Differenz auf etwa 3° C. LINDBERG (1912, S. 283) bezweifelt jedoch, dass die grosse Verschiebung der Nordgrenze dieser Art nach Süden eine so erhebliche Temperatursenkung zu bedeuten braucht. Er schreibt, dass vielleicht »auch andere Umstände als eine vermutete Klimaverschlechterung zum Verschwinden von *Ceratophyllum* aus dem ganzen nördlichen Finnland beigetragen haben«. Möglicherweise stellt er sich die Art als eine aussterbende Pflanze vor. Wenn eine derartige Annahme auch nicht zutreffend wäre, so muss man sehr vorsichtig sein, wenn man die ehemalige Verbreitung von *Ceratophyllum* für Schlüsse über die Klimaverhältnisse der Wärmezeit ausnützen will. Es ist ja eine Wasserpflanze, Infolgedessen sind die meteorologischen Ziffern für die Lufttemperatur aus Stationen an den jetzigen und einstigen Grenzlinien wenig verwendbar, wenn man die Bedingungen untersuchen will, unter welchen die Art jetzt

lebt und früher gelebt hat. Die Temperaturverhältnisse der Seen sind ja ausser von der Lufttemperatur auch von den Eigenschaften der Seen, wie der Bodenkonfiguration, der Tiefe u. s. w. in so hohem Grade abhängig, dass sehr eingehende Untersuchungen auch über die Biologie der ehemaligen Seen notwendig sind, ehe irgendwelche sichere Schlüsse gezogen werden können (vgl. WESENBERG-LUND 1909). Dass auch in der Jetztzeit sehr eigentümliche Verhältnisse in Seen von Finnisch-Lapland vorhanden sind, geht u. a. daraus hervor, dass eine so wärmefordernde Pflanze wie *Stratiotes aloides* bei Kittilä (67° 40' N. Br.) leben kann, während sie in Schweden nicht nördlicher als im mittleren Hälsingland (61° 46' N. Br.) vorkommt. Vorläufig muss man meiner Ansicht nach die Schlussfolgerungen, die man vielleicht aus dem Rückgang von *Ceratophyllum* ziehen könnte, als sehr unsicher bezeichnen.

Die bekannten Verschiebungen von *Polystichum cristatum*, *Rumex hydrolapathum* und *Najas flexilis*, welche alle in Norwegen nur im südlichsten Teil vorkommen, sind verhältnismässig klein. Es ist aber deutlich, dass für diese Arten die Verlängerung der Vegetationsperiode erheblich grösser als für die Hasel sein muss, um eine Senkung der Hochsommer-temperatur zu kompensieren. Wenn man annimmt, dass die Verschiebungen von einem Sinken des letzteren Klimafaktors verursacht sind, so braucht sich dieses jedoch nicht einmal auf 1° C. belaufen zu haben. Über die Ursachen des Verschwindens von *Cladium mariscus* aus einer grossen Menge von Standorten, wo es früher gewachsen ist, will ich hier keine Ansicht aussprechen. Ich beschränke mich, darauf hinzuweisen, dass die festgestellte Verschiebung der äussersten Nordgrenze sehr klein ist.

Die noch nicht behandelten Arten, und zwar *Trapa natans*, *Carex pseudocyperus* und *Najas marina*, sind anderer Natur als die übrigen. Man weiss schon jetzt, dass sie während der postglazialen Wärmezeit in Fennoscandia eine viel grössere Verbreitung als in der Jetztzeit gehabt haben.¹ Leider stösst man aber auch betreffs dieser Pflanzen auf sehr grosse Schwierigkeiten, wenn man sie in die Diskussion über die Natur der Klimaveränderungen hineinziehen will. *Trapa* und *Najas* sind Wasserpflanzen. Von ihnen gilt demnach der Hauptsache nach dasselbe wie das oben für *Ceratophyllum* Gesagte. GUNNAR ANDERSSON (1909, S. 60) ist der Ansicht, dass der Rückgang der Nordgrenze von *Najas marina* ein Sinken der Julitemperatur von etwas mehr als 2° C. andeutet. Diese Ziffer betrachte ich als zu hoch, wenigstens wenn man mit Minimumziffern arbeiten will. *Trapa* und *Najas* (als Süsswasserpflanze)

¹ Für *Najas marina* ist vor allem ihr Vorkommen in Süsswasser von Bedeutung. Sie war nämlich einst eine in Schweden häufige Süsswasserpflanze, wenigstens bis zum Mälartal, und ist in Norwegen bis zum Mjösen vorgekommen. In der Jetztzeit kommt sie im ganzen Fennoscandia nur in zwei Seen auf Gotland und in einem Fundort im südlichsten Norwegen vor. In Brachwasser ist sie dagegen hier und dort an den schwedischen Küsten bis zum nördlichen Hälsingland, in Norwegen nur in den südlichsten Teilen zwischen Kristiansand und Arendal, in Finnland an den Süd- und Südwestküsten sowie an einem Standort im südlichen Österbotten verbreitet.

verhalten sich indessen sehr übereinstimmend. Beide verlangen eine hohe Hochsommertemperatur, während die Länge der Vegetationsperiode und demnach auch die Herbsttemperatur offenbar von geringerem Belang sind. Um dies zu beleuchten, will ich hervorheben, dass *Trapa* weder in Dänemark noch in Grossbritannien vorkommt, und dass *Najas* in diesen Ländern nur an zwei Fundorten in Sjælland (in Brachwasser) und an einem Punkt in Norfolk beobachtet ist. *Trapa* ist nicht einmal fossil in Norwegen gefunden worden. Das fossile Vorkommen beider Arten in Fennoscandia spricht somit entschieden für eine höhere Hochsommertemperatur während der »Wärmezeit« und kann nicht allein durch eine längere Vegetationsperiode erklärt werden. Eine Senkung der Julitemperatur um etwa $1,5^{\circ}$ C. scheint mir hinreichend zu sein, um den Rückgang beider Arten zu erklären, wenn ich auch gegenwärtig nicht im Stande bin, diese Ansicht näher zu begründen. Sie stützt sich aber auf eine Prüfung der Klimaverhältnisse an den ehemaligen und jetzigen Nordgrenzen beider Arten. Trotz der besonders grossen Vorsicht, die bezüglich *Trapa* und *Najas* zufolge ihrer Natur als Wasserpflanzen geboten ist, glaube ich, dass sich interessante Tatsachen ergeben würden, wenn ein Versuch gemacht würde, eine Relationskurve in derselben Weise auszuarbeiten, wie ich es oben für die Hasel getan habe.

Von den oben erwähnten Arten ist dann nur *Carex pseudocyperus* übrig. Diese Pflanze scheint, nach den bisher vorliegenden Funden zu urteilen, während der postglazialen Wärmezeit eine sogar noch grössere Verbreitung ausserhalb der jetzigen, als die für die Hasel nachgewiesene, gehabt zu haben. Während sie gegenwärtig in Schweden nicht die Nordgrenze der Eiche überschreitet, wenn wir von einem ganz isolierten Standort in der Nähe von Sundsvall (Medelpad) absehen, kam sie früher wenigstens bis Arvidsjaur in der Pite Lappmark, Sollefteå in Ångermanland, Ragunda in Jämtland und Sollerö in Dalarne (vgl. die oben zitierten Arbeiten) vor. Fossile Reste sind bis jetzt in der Literatur aus 12 Fundorten ausserhalb des jetzigen Verbreitungsgebietes angegeben, also eine beträchtliche Anzahl, wenn man die verhältnismässig kleine Wahrscheinlichkeit berücksichtigt, die Art vor der Schlammung der Torfproben im Laboratorium zu bemerken. Es ist wohl berechtigt, anzunehmen, dass die Pflanze in grossen Teilen von Norrland sogar häufig gewesen ist. In Norwegen kommt sie jetzt in den südöstlichen Gegenden vor, ist aber fossil auch in Jæderen und in Værdalen in der Nähe des Trondhjemsfjord (nach SERNANDER) in mehr als 20 Mooren gefunden, d. h. eine grössere Anzahl als sämtliche gegenwärtige Fundorte der Art (vgl. HOLMBOE 1903, S. 154). In Finnland ist ihr jetziges Vorkommen auf die südlichsten Teile beschränkt (bis ins südliche Tavastland). Fossil ist sie dagegen an zahlreichen Orten auch weiter nach Norden, u. a. im südlichen Österbotten und östlich von Kajana (etwa $64^{\circ} 15'$ N. Br.) wahrgenommen worden (LINDBERG 1911, S. 60). Eine nähere Prüfung von ihrer Verbreitung sowohl innerhalb wie ausserhalb von Fennoscandia zeigt indessen, dass man ausserordentlich

vorsichtig sein muss, wenn man sich eine Auffassung von ihrem Wärmebedürfnis verschaffen will. Ihre Verbreitung in Schweden ist sehr unregelmässig. Die Karte von POSTS (1906) liefert ein nur unvollständiges Bild davon.¹ Die Pflanze ist nirgends gemein. Am häufigsten ist sie im südlichen Skåne und in den Mälaregenden. Andererseits ist sie in Småland, Halland, Bohuslän, Dalsland, Öland und Gotland sehr selten und scheint in Värmland gar nicht vorzukommen. Die Nordgrenze verläuft durch das südliche Gästrikland, Uppland, das südöstliche Västmanland, Närke, Västergötland und Dalsland nach Norwegen hinüber (über einen isolierten Fundort in Medelpad vgl. oben). Wenn man die Klimaverhältnisse an dieser äussersten Nordgrenze betrachtet, erhält man ein sehr chaotisches Bild. Es ist meiner Ansicht nach deutlich, dass die Nordgrenze nicht als eine wirklich klimatische Grenzlinie aufgefasst werden kann. Es ist nämlich kaum zu bezweifeln, dass die Art in ziemlich grossen Gebieten nördlich von der jetzigen Nordgrenze besonders in Värmland ebenso wohl wie z. B. im nördlichen Uppland leben könnte. Jedenfalls ist sie nicht in irgendwelcher Weise auf die Küstengegenden beschränkt.

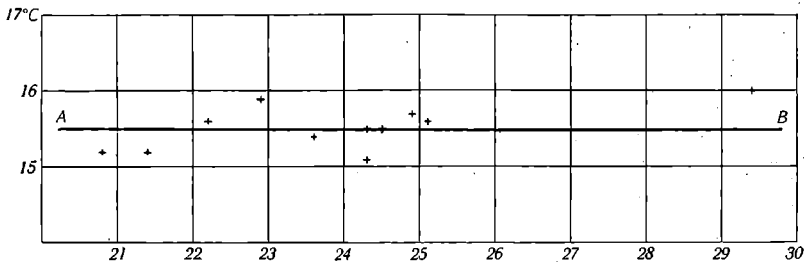


Fig. 2. Relationskurve für die Anforderungen der *Carex pseudocyperus* an die Hochsommertemperatur und die Länge der Vegetationsperiode in Skandinavien. Weitere Erklärung im Text!

Es ist, so viel ich habe finden können, gar nicht möglich, die Nordgrenze von *Carex pseudocyperus* in derselben Weise wie die Haselgrenze zu behandeln, wo ich sämtliche meteorologische Stationen berücksichtigt habe, die einigermassen nahe bei solchen gegenwärtigen Fundorten gelegen sind, die nicht von ausgeprägter Reliktnatur sind. Um dessenungeachtet eine Auffassung von dem niedrigsten Mass der Hochsommertemperatur und der Länge der Vegetationsperiode zu bekommen, mit dem *Carex pseudocyperus* in Skandinavien in der Jetztzeit es aushalten kann, habe ich ein etwas abweichendes Verfahren befolgen müssen. Dass die Pflanze vor allem einer hohen Hochsommertemperatur bedarf, geht schon aus einer oberflächlichen Untersuchung hervor. Ich habe aber die nördlicheren oder höher gelegenen Teile von ihrem skandinavischen Verbreitungsgebiet näher geprüft und solche Fundorte aufgesucht, die verhältnismässig nahe bei meteorologischen Stationen mit auffallend niedriger Hochsommertemperatur

¹ Wenn von POST auf seiner Karte ein rezentes Vorkommen bei Stavanger markiert, so muss dies auf irgendeinem Versehen beruhen.

gelegen sind. In Tab. 3 teile ich die Ziffern für die Grössen v und t (in derselben Bedeutung und nach denselben Quellen wie in den Tab. 1 u. 2) an 11 solchen Stationen mit.

Tab. 3.

	v	t		v	t
Sidsjö	+ 15,2° C.	208	Seltorp	+ 15,5° C.	245
Gäffe	15,9	229	Ulricehamn	15,1	243
Salbo	15,6	222	Nässjö	15,5	243
Häggeboda	15,4	236	Hamar	15,2	214
Skara	15,7	249	Torungen	16,0	294
Spårhult	15,6	251			

Wenn wir dieses Material in derselben Weise wie für die Hasel behandeln, erhalten wir eine Relationskurve von dem Aussehen von $A-B$ in Fig. 2, d. h. eine gerade Linie mit der Gleichung $v = 15,5 \pm 0 \cdot t$. Der grösste Unterschied zwischen beobachtetem und berechnetem v -Wert ist $0,5^\circ \text{C}$., und die Mitteldifferenz beträgt $\pm 0,2^\circ \text{C}$. Ich glaube daher, dass diese Kurve eine gewisse Gültigkeit besitzt und für einige Schlüsse Verwendung finden kann. Doch muss ich bemerken, dass die Pflanze in Schottland ohne jeden Zweifel mit einer niedrigeren Hochsommertemperatur auskommen kann. Sie kommt nämlich in einer so nördlichen Gegend wie in Elginshire vor, wo z. B. bei Forres die Julitemperatur $+ 14,4^\circ \text{C}$. beträgt (BUCHAN 1898, S. 30). In diesem Fall liegt aber ein Klima vor, das auf Grund der hohen Wintertemperatur und der ganzen Verteilung der Jahrestemperatur kein Gegenstück in Skandinavien besitzt. Wir müssen den Schluss ziehen, dass die Unterschiede hinsichtlich der Länge der Vegetationsperiode, die im Verbreitungsgebiet der Art in Fennoscandia vorkommen, für die Bestimmung ihrer Verbreitung kaum von irgendwelchem Belang sind. Die Art scheint eine Julitemperatur von wenigstens etwa $+ 15,5^\circ \text{C}$. zu brauchen. Alle Orte, wo sie fossil gefunden ist, besitzen in der Jetztzeit eine Julitemperatur oberhalb $+ 14^\circ \text{C}$. Einige (Arvidsjaur, Ragunda und Værdalen) liegen jedoch ziemlich nahe der Juliisotherme für $+ 14^\circ \text{C}$. Es ist deutlich, dass die Annahme einer Senkung der Hochsommertemperatur von etwa $1,5^\circ \text{C}$. hinreichend ist, um den Rückgang der Nordgrenze von *Carex pseudocyperus* in Skandinavien klimatisch zu erklären. Es geht desgleichen aus den obigen Betrachtungen hervor, dass man eine derartige Temperatursenkung auch annehmen muss, wenn der Rückgang nur von der Klimaveränderung abhängig ist. Hierbei müssen wir aber den Vorbehalt hinzufügen, dass die gegenwärtige Verbreitung der Pflanze, besonders wenn man sie mit der ehemaligen vergleicht, so eigentümlich erscheint, dass man beinahe den Eindruck bekommt, vor einer aussterbenden Art zu stehen, die vielleicht daher in Nordeuropa unabhängig von allen Klimaveränderungen im Verschwinden begriffen ist.

Das Sinken der Waldgrenzen in Skandinavien.

Es erübrigt uns jetzt, nur mit einigen Worten auch das Sinken der Waldgrenzen zu berühren.

Dass die Regionengrenzen überall in den skandinavischen Hochgebirgsgegenden einst erheblich höher als jetzt gelegen haben, ist eine allgemein anerkannte Tatsache. Es sind vor allem die zahlreichen Funde von Kiefernresten, meistens Stämme und Strünke, oberhalb der jetzigen Höhengrenze der Kiefer, die dies erwiesen haben. Es kann als festgestellt betrachtet werden, dass in Schweden die Senkung der Kiefern Grenze längs der ganzen Hochgebirgskette sich auf etwa 200 M. beläuft (vgl. besonders GAVELIN 1909, S. 150, u. 1910, S. 31, und auch SMITH 1911, S. 524). In einigen Teilen von Norwegen ist offenbar die Verschiebung noch grösser gewesen. REKSTAD (1903, S. 7) meint, dass die durchschnittliche Senkung der Kiefern Grenze in den zentralen Teilen des südlichen Norwegens auf etwa 350–400 M. geschätzt werden kann. Er führt aus Hardangervidden sogar Ziffern an, die eine Senkung von 450 M. andeuten. HANSEN und HOLMBOE (vgl. HOLMBOE 1910, S. 337) betrachten jedoch diese Ziffern als ein wenig zu hoch und wollen keine grössere Senkung der Kiefern Grenze als etwa 300 M. anerkennen.¹

Die völlig sicheren Beweise für eine auffallend höhere Lage der Birkenwaldgrenze sind nur sehr wenig zahlreich. Als die wichtigsten betrachte ich diejenigen, die BIRGER (1908, S. 112) und SMITH (1911, S. 520) aus Härjedalen und FRIES (1910, S. 179) aus der Torne Lappmark erwähnen. Diese Funde machen ein Sinken von etwa 200 M. auch für die Birkenwaldgrenze wenigstens wahrscheinlich. Es ist meiner Ansicht nach nicht ohne weiteres anzunehmen, dass eine gleich grosse Senkung beider Grenzen stattgefunden hat.

Wir besitzen nur eine ziemlich beschränkte Kenntnis über die Klimafaktoren, welche für die Lage der betreffenden Grenzlinien von entscheidender Bedeutung sind. HELLAND (1912, S. 21) hat einige Berechnungen über die Verhältnisse in Norwegen ausgeführt und meint, dass die Kiefer eine Mitteltemperatur von etwa + 8,4° C. und die Birke eine solche von etwa + 7,5° C. während der Monate Juni—September verlangt. FRIES (1913, S. 174) ist dagegen der Ansicht, dass die Lage der Birkenwaldgrenze im nördlichsten Skandinavien von der Mitteltemperatur der (etwa) 30 wärmsten Tage des Hochsommers bestimmt wird, dass aber die Länge der Vegetationsperiode von keiner Bedeutung ist. Die letztere Ansicht ist wahrscheinlich richtig, aber hinsichtlich der Länge der entscheidenden Zeit glaube ich, dass die von FRIES angenommene Zeit ein wenig zu kurz ist, wenig-

¹ Eine Angabe von HELLAND (1912, S. 28) über einen Fund von einem Baumstamm in einem kleinen See fast 1000 M. ü. d. M. in Hatfjeldalen (Nordland) bedarf gewiss der Bestätigung, umso mehr da nicht einmal erwähnt wird, ob es sich um einen Kiefern- oder einen Birkenstamm handelt. Die Höhenangabe erscheint nicht wahrscheinlich.

stens wenn man auch andere Teile von Skandinavien berücksichtigt. Bei Vassijaure (Torne Lappmark), das so nahe der Birkenwaldgrenze gelegen ist, wie es für eine meteorologische Station möglich ist, beträgt die Julitemperatur $+10,3^{\circ}$ C. (HAMBERG 1908, S. 24). Andererseits ist sie bei Jerkin (Dovre) nur $+9,7^{\circ}$ C. (MOHN 1895, S. 19), obgleich diese Station (963 M. ü. d. M.) wenigstens 50 M. unterhalb der Birkenwaldgrenze gelegen ist. Ziffern, die besser übereinstimmen, bekommt man, wenn man sowohl die Juli-, wie die Augusttemperatur berücksichtigt. Wenn man mit einem Gradienten von $0,7^{\circ}$ C. für alle 100 M. rechnet (vgl. HANN 1908, S. 216 u. 218), erhält man für die Lufttemperatur und die Anzahl der Tage mit einer Mitteltemperatur oberhalb des Gefrierpunkts ($= t$) in der Birkenwaldgrenze an 4 weit aus einander gelegenen Orten in Skandinavien die folgenden Ziffern.¹

	Juli	Aug.	Juli + $\frac{\text{Aug.}}{2}$	t
Vassijaure	$+10,3^{\circ}$ C.	$+9,0^{\circ}$ C.	$+9,6^{\circ}$ C.	etwa 143
Andenes	9,3	10,0	9,6	» 210
Storlien	9,8	9,0	9,4	» 171
Jerkin	9,3	8,9	9,1	» 165

Während die Unterschiede der Mitteltemperaturen für die einzelnen Monate sich bis zu $1,1^{\circ}$ C. erhöhen, belaufen sie sich für die Durchschnittszahlen der beiden Monate höchstens auf $0,5^{\circ}$ C.² Andererseits ist, wie aus den Ziffern hervorgeht, die Schwankung der Anzahl der Tage mit einer Mitteltemperatur oberhalb des Gefrierpunkts an den verschiedenen Orten sehr gross.

Während wir demnach meiner Ansicht nach schliessen müssen, dass die Temperaturverhältnisse des Hochsommers³ allein die Lage der oberen Birkenwaldgrenze in Skandinavien bestimmen, ist es nicht ebenso sicher, dass die Länge der Vegetationsperiode auch für die Nadelwaldgrenze, insbesondere die Kiefernngrenze, jeder Bedeutung entbehrt. Ich schliesse dies aus dem Umstand, dass der Vertikalabstand zwischen der Birkenwald- und der Kiefernngrenze von Norden nach Süden abnimmt (vgl. hierüber schon HISINGER 1819, S. 22). Dieser Abstand scheint in unsren nördlichsten Hochgebirgsgegenden etwa 200 M. zu betragen, ist aber bereits in den südlichsten Hochgebirgen an der schwedischen Seite auf knapp 100 M. gesunken. Schon in Schottland steigen die Kiefer und die Birke an den Gebirgsabhängen fast ebenso hoch;

¹ Die für die Berechnung der Temperaturen angewandten Angaben über die Lage der Birkenwaldgrenze finden sich in Arbeiten von HÖGBOM (1906, S. 304), FRIES (1913, S. 172) und RESVOLL (1913, S. 5).

² Es ist übrigens möglich, dass die überall niedrigeren Ziffern für Storlien und Jerkin mit der Lage der Stationen an der Sohle von engen Tälern zusammenhängen, wodurch eine Umkehr betreffs der Temperaturen sich geltend machen kann, in derselben Weise wie eine derartige für die Waldgrenze wenigstens bei Storlien nach meiner eigenen Beobachtung tatsächlich vorkommt.

³ Vielleicht wirken auch andere Faktoren der Hochsommertemperatur ein als diejenigen, welche ihren Ausdruck in der Mitteltemperatur finden.

in den Alpen steigt die Kiefer höher (vgl. z. B. RÜBEL 1912, S. 305 u. 345). Ich kann nur mit Schwierigkeit eine andere Erklärung hierzu finden als die grössere Länge der Vegetationsperiode an der Kieferngrenze in den südlicheren Gegenden. Ich habe jedoch noch nicht Gelegenheit gehabt, die Frage hinreichend zu untersuchen und zu erwägen, um eine sichere Behauptung zu wagen. Ich will diesmal die Sache nur andeuten und spare die eingehendere Behandlung der betreffenden, sehr wenig beachteten Verhältnisse für eine andere Arbeit auf.

Wenn wir jetzt zu den festgestellten Verschiebungen der Waldgrenzen in Skandinavien zurückkehren, so können wir schliessen, dass das Sinken der Kieferngrenze möglicherweise in verschiedenen Weisen erklärt werden kann, während dasjenige der Birkenwaldgrenze kaum auf anderen Umständen als einer Senkung der Hochsommertemperatur beruhen kann. Eine Verschiebung derselben von 200 M. nach unten entspricht ja einer Temperatursenkung von etwa $1,4^{\circ}$ C., wenn man mit einem Gradienten von $0,7^{\circ}$ C. rechnen darf. Diese Berechnung kann man jedoch gar nicht als einwandfrei betrachten, da der Gradient aus verschiedenen Gründen ziemlich erheblich schwankt. Es ist aber deutlich, dass wir, um die Senkung der Regionengrenzen in den schwedischen Hochgebirgen erklären zu können, nicht notwendig eine grössere Senkung der Hochsommertemperatur als diejenige annehmen müssen, die hinreichend ist, um das Zurückweichen der übrigen pflanzengeographischen Grenzlinien zu erklären.

Wenn wir voraussetzen, dass auch die Senkung der Kieferngrenze wenigstens hauptsächlich auf eine Veränderung desselben Klimafaktors zurückzuführen ist, so scheinen die oben angeführten Ziffern aus dem zentralen Norwegen eine weit grössere Temperatursenkung anzudeuten. REKSTAD (1903, S. 8) und HELLAND (1912, S. 30), die Berechnungen über die klimatische Bedeutung dieser Ziffern ausgeführt haben, sind der Ansicht, dass sie eine Senkung der Jahrestemperatur (REKSTAD) oder der Sommertemperatur (HELLAND) von etwas mehr als 2° C. bedeuten. Ich kann jedoch die Stichhaltigkeit ihrer Berechnungen nicht anerkennen. Überhaupt wäre eine gründliche Revision der ganzen Waldgrenzenfrage in Norwegen sehr erwünscht, was sowohl von den gegenwärtigen, wie von den postglazialen Waldgrenzen gilt. Man hat nämlich bis jetzt gar keine Rücksicht auf den Einfluss der Massenerhebungen genommen. Man muss nämlich die Vergleichenungen mit den jetzigen Verhältnissen an so nahe gelegenen Punkten wie nur möglich ausführen. Man darf gar nicht die Lage der Fossilfunde mit der Lage der heutigen Kieferngrenze in einer Entfernung von einigen Meilen vergleichen. Kann man nicht auf empirischer Grundlage die Waldgrenzenisohypsen ziehen, so muss man versuchen, ihre Lage durch theoretische Erwägungen festzustellen.

Wenn man so gewaltige Massenerhebungen wie vor allem diejenigen Hardangerviddens vor Augen hat, so muss man sich klar machen, dass eine Klimaveränderung, die an und für sich keine grössere Erhöhung der Waldgrenzen als 200 M. verursachen würde, eine weit grössere Ver-

schiebung derselben nach oben dadurch hervorbringen kann, dass sie nach einer Höhenstufe emporgehoben worden sind, wo die Massenerhebungen eine weitere Hebung der Isothermen hervorrufen. Wenn man die Erfahrungen besonders aus den Alpen (IMHOF 1900; DE QUERVAIN 1904) und dem nördlichsten Schweden (FRIES 1913) auch auf die norwegischen Hochgebirge einigermaßen übertragen darf, so versteht man, dass der Einfluss der Massenerhebungen auch hier sehr beträchtlich sein muss. Die grösseren Verschiebungen der Waldgrenzen in Norwegen brauchen daher vorläufig keine grössere Temperatursenkung als die aus Schweden bekannten anzudeuten. Diese letzteren stammen aus Gebieten, wo der Einfluss der Massenerhebungen weit bescheidener gewesen sein muss.

Zuletzt möchte ich betonen, dass alle die obigen Auseinandersetzungen über die Grösse der Temperatursenkung seit der postglazialen Wärmezeit von der Voraussetzung ausgehen, dass man keine Rücksicht auf die seit der betreffenden Zeit stattgefundene Landhebung zu nehmen braucht. Dies ist übrigens kaum nötig, wenigstens wenn man mit SERNANDER (1910, S. 246) und anderen annimmt, dass die Wärmezeit bis zum Eintreten des Eisenalters angedauert hat. Sollte aber auch die Klimaverschlechterung früher ihre Wirkungen geltend gemacht haben (vgl. ANDERSSON und BIRGER 1912, S. 152), so sind jedenfalls die verschiedenen Ziffern völlig vergleichbar, weil man annehmen muss, dass die Fossilfunde, worauf es hier ankommt, sich auf etwa dieselbe Zeit beziehen, und die schwerwiegendsten aus Gegenden stammen, wo der Betrag der Landhebung nur ziemlich unbedeutend gewechselt hat. Die Reduktion der Ziffern, die vielleicht nötig wäre, ist übrigens kaum grösser als ein paar Zehntel eines Zentigrades.

Fast alle bis jetzt bekannten Verschiebungen pflanzengeographischer Grenzlinien in Skandinavien seit der postglazialen Wärmezeit lassen sich nach den obigen Betrachtungen durch die Annahme erklären, dass eine Senkung der Hochsommertemperatur von etwa $1,5^{\circ}$ C. und eine Abkürzung der Vegetationsperiode von etwa 15 Tagen stattgefunden habe. Vor allem die ehemalige grössere Verbreitung von *Trapa natans*, *Najas marina* und *Carex pseudocyperus* sowie die höhere Lage der Birkenwaldgrenze sprechen für eine höhere Hochsommertemperatur, die grössere Verbreitung der Hasel ausserdem für eine längere Vegetationsperiode, demnach auch für wärmere Herbste. Nur das frühere Vorkommen von *Ceratophyllum demersum* in Finnisch-Lappland deutet vielleicht eine grössere Temperatursenkung als die von mir angenommene an.

Literaturverzeichnis.

- ANDERSSON, GUNNAR. 1902. Hasseln i Sverige. — Sveriges Geol. Unders., Ser. Ca, N:o 3.
- . 1907. Siehe HÖGBOM 1907.
- . 1909. The Climate of Sweden in the late-quadernary Period. — Sveriges Geol. Unders., Ser. C, N:o 218.
- och BIRGER, S. 1912. Den norrländska florans geografiska fördelning och invandringshistoria med särskild hänsyn till dess sydsandinaviska arter. — Norrländskt Handbibliotek. 5. Uppsala.
- BIRGER, S. 1908. Om Härjedalens vegetation. — K. Sv. Vet.-Akad:s Ark. f. Bot. Bd 7, N:o 13.
- BUCHAN, A. 1898. The Mean Atmospheric Pressure and Temperature of the British Islands. — Journ. Scott. Meteor. Soc. Vol. 11. Ser. 3. Nos. 13 and 14.
- ERIKSON(HALDEN), B. 1912. En submorän fossilförande aflagring vid Bollnäs i Hälsingland. — Geol. Fören. Förh. Bd 34.
- FRIES, TH. C. E. 1910. Einige Beobachtungen über postglaciale Regionverschiebungen im nördlichsten Schweden. — Bull. of Geol. Instit. of Upsala. Vol. 9.
- . 1913. Botanische Untersuchungen im nördlichsten Schweden. — Akad. Abh. Uppsala.
- GAVELIN, A. 1909. Om trädgränsernas nedgång i de svenska fjälltrakterna. — Skogsvårdsför. Tidskr. Fackuppsatser.
- . 1910. Trädgränsförskjutningarna inom Kamajokks vattenområde. — Sveriges Geol. Unders., Ser. C, N:o 227.
- HAMBERG, H. E. 1908. Medeltal och extremer af lufttemperaturen i Sverige 1856—1907. — Bih. t. Meteorol. Iakttag. i Sverige. Bd 49 (1907).
- HANN, J. 1908. Handbuch der Klimatologie. I. — Stuttgart.
- HELLAND, A. 1912. Trægrændser og Sommervarmen. — Sonderabdr. aus Tidsskr. f. Skogbruk.
- HISINGER, W. 1819. Anteckningar i Physik och Geognosi under Resor uti Sverige och Norrige. H. 1. — Uppsala.
- HOLMBOE, J. 1903. Planterester i norske torvmyrer. — Christiania Vidensk. Selsk. Skrift., I. M.-N. Kl., 1903. N:o 2.
- . 1910. On the Evidence furnished by the Peat-bogs of Norway on post-glacial Changes of Climate. — Die Veränd. des Klimas seit dem Max. der letzten Eiszeit. Stockholm.
- HÖGBOM, A. G. 1906. Norrland. Naturbeskrifning. — Norrländskt Handbibliotek. 1. Uppsala.
- . 1907. Om den postglaciala tidens klimatoptimum. — Geol. Fören. Förh. Bd 29.
- IMHOF, E. 1900. Die Waldgrenze in der Schweiz. — GERLANDS Beitr. zur Geophysik. Bd. 4 (1899—1900).
- Bull. of Geol. Vol. XIII.*

- JONSSON, F. 1911. Till frågan om hasselns forna utbredning i Ångermanland. — Geol. Fören. Förh. Bd 33.
- LINDBERG, H. 1911. Subfossila växtfynd belysande florans utveckling. — Atlas öfver Finland 1910. Text. 1. Kartbladet N:o 20. Helsingfors.
- . 1912. Resultaten af de phytopaleontologiska undersökningarna inom Lappmarkens härad. — Finska Mosskult.-Fören. Årsbok. 15 (1911).
- MOHN, H. 1895. Klima-Tabeller for Norge. I. Luftens Temperatur. — Christiania Vidensk.-Selsk. Skrift., I. M.-N. Kl., 1895. N:o 10.
- VON POST, L. 1906. Norrländska torfmossestudier. I. — Geol. Fören. Förh. Bd 28.
- DE QUERVAIN, A. 1904. Die Hebung der atmosphärischen Isothermen in den Schweizer Alpen und ihre Beziehung zu den Höhengrenzen. — GERLANDS Beitr. zur Geophysik. Bd. 6 (1903—1904).
- REKSTAD, J. 1903. Skoggrænsens og snelinjens større høide tidligere i det sydlige Norge. — Norges Geol. Undersøg. Aarb. 1903. N:o 5.
- RESVOLL, TH. R. 1913. Vækstlivet i Kristians amt. — Sonderabdr. aus Norges Land og Folk.
- RÜBEL, E. 1912. Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. — ENGLERS Bot. Jahrb. Bd. 47.
- SANDEGREN, R. 1915. Ragundasjön. III. Ragundatraktens postglaciala utvecklingshistoria enligt den subfossila florans vittnesbörd. — Sveriges Geol. Unders., Ser. Ca, N:o 12.
- SERNANDER, R. 1910. Die schwedischen Torfmoore als Zeugen postglazialer Klimaschwankungen. — Die Veränd. des Klimas seit dem Max. der letzten Eiszeit. Stockholm.
- SMITH, H. 1911. Postglaciala regionförskjutningar i norra Härjedalens och södra Jämtlands fjälltrakter. — Geol. Fören. Förh. Bd 33.
- VAHL, M. 1911. Zones et biochorés géographiques. — Overs. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Forhandl. 1911. N:o 4.
- WESENBERG-LUND, C. 1909. Om Limnologiens betydning för kvartærgeologien. — Geol. Fören. Förh. Bd 31.

Gedruckt 19/4 1915.

