

Über das spätglaziale Klima.

Von Matti Sauramo, Helsinki.

(Mit 1 Tafel.)

Der Charakter des spätglazialen Klimas läßt sich erschließen: z. B. aus der Rückzugsgeschwindigkeit des Inlandeisrandes, aus den Stärkeschwankungen der Jahreswarwen, aus den eustatischen Bewegungen des Meeresspiegels sowie vor allem aus der fossilen Fauna und Flora. Unsere Schlüsse werden um so zuverlässiger, je mehr diese Elemente bekannt sind, und je besser deren gegenseitige zeitliche Beziehungen klargestellt sind. In dieser Hinsicht bietet das Baltische Becken einen besonders guten Ausgangspunkt, denn es sind dort sowohl das Abschmelzen des Inlandeises und der Rückzug seines Randes als auch die Niveauschwankungen genauer als anderswo untersucht. Sie bilden das chronologische Gerippe der Warwensedimente. Als paläontologisches Material gelangt in erster Linie der Pollen als Zeuge für die Entwicklungsgeschichte der Wälder zur Anwendung, in erster Linie aus den alten Tonablagerungen zu sammeln, da die Torfbildung in spätglazialer Zeit gering gewesen ist. Die Bändertone erhalten also eine durchaus zentrale Stellung bei der Behandlung des hier in Frage stehenden Problems.

In Finnland sind seit mehr als 20 Jahren Bändertone untersucht worden; anfangs unter Berücksichtigung des Gletscherrückzuges und seiner Chronologie von seiten des Vortragenden, in den letzten Jahren auch vom paläontologischen Standpunkt aus, im Zusammenhang mit der Moorforschung. Diese Arbeit wurde von mir, zusammen mit einer großen Schar junger Gelehrter, ausgeführt. Das Material geht gewiß am besten aus der Tabellentafel hervor. Sie ist aus neun Vertikalspalten zusammengesetzt. Die Tabelle zeigt 1. (linke) Spalte die Zeitrechnung, die 2000 Jahre nach und vor dem Jahre 0, dem Ende des Zweiten Salpausselkästadiums, umfaßt. In der 2. Spalte ist die jährliche Rückzugsgeschwindigkeit des Gletscherrandes wiedergegeben: auffallend sind die Stillstände während der Salpausselkästadien I, II und III, vor diesen ein verhältnismäßig langsames, nach diesen ein rasches Schwinden des Eises. Nach der allgemeinen Auffassung setzt die Entstehung der Salpausselkämoränen eine besondere Klimaverschlechterung am Ende der gotiglazialen Zeit voraus. Nach ihnen tritt die sogenannte finiglaziale Klimaverbesserung ein. Viele Forscher halten die Veränderung für so groß, daß sie die Grenze zwischen spät- und postglazialer Zeit an diese Stelle verlegen.

Die 3. Spalte zeigt die Dickenvariation der Jahreswarwen; diesen Schwankungen hat insbesondere De Geer große Bedeutung beigelegt, indem er sie als Maß der Sonnenstrahlung, als Thermograph, angesehen hat. Von den beiden Maximas entspricht das erste zeitlich dem Zweiten Salpausselkä, das zweite beginnt 500 Jahre später; beide sind durch ganz Finnland allgemein und lassen sich nicht mit der durch die Elektrolyten des Meeres verursachten Koagulation erklären. Sie müssen ein besonders weitgehendes Abschmelzen des Eises gerade zur Zeit des Zweiten Salpausselkästadiums bedeuten. Zwischen den beiden Höchstständen und besonders gegen das Ende der Eiszeit werden die Warwen, offenbar infolge des geringen Abschmelzens des Eises, immer dünner, und dieses geschieht gerade zu einer Zeit, als das Klima, nach der Rückzugsgeschwindigkeit, sehr viel besser

hätte werden müssen. Unsere zweite Kurve steht also in Widerspruch mit der Auffassung, zu der man nach der Rückzugsgeschwindigkeit des Gletschers gekommen ist.

Die 4. Spalte zeigt die Niveauverschiebungen: die stärkere Linie die Abwärtswanderung der Grenze zwischen Land und Meer, die dünnere die Lage des Ufers in jenen Phasen, als der Baltik ein See (Ancyclussee) war. Unter dem Gesichtspunkt des Klimas verdient nur die stärkere Linie Beachtung, da sie eben die eustatischen Bewegungen des Meeres als Komponente einbegreift. Besonders ein langandauernder Stillstand des Meeres ist interessant, da er auf einem Anstieg des Meeresspiegels beruhen und also ein besseres Klima (eine Regression dagegen ein schlechteres Klima) bedeuten kann. Unsere Kurve steht also mit der 2. Spalte eher in Einklang, denn sie setzt eine andauernde und große Transgression gegen Ende der Eiszeit voraus.

Die 5. Spalte gibt die Geschichte der Ostsee in der Weise wieder, wie ich sie vor zwei Jahren dargestellt habe. Von den Ostseephasen sind seit langem zuoberst der Ancyclussee und das Yoldiameer bekannt. Die beiden ältesten Phasen, zuunterst der Baltische Eissee, sind aus mehreren kleineren zusammengesetzt, wie bei Betrachtung der Uferverschiebungen leicht zu bemerken ist. Zunächst sind zur Zeit des Yoldiameeres mehrere Ufer in verschiedenen Niveaus entstanden, die als Yoldia I, II, III, Rho I, Rha I und Rha II bezeichnet worden sind.¹⁾ Der Baltische Eissee hat ebenfalls mancherlei Phasen durchgemacht; bald stieg sein Spiegel, bald senkte er sich wenigstens zweimal bis auf den Stand des Meeresspiegels vor seiner endgültigen Senkung. Jene kurzandauernden marinen Stadien sind Z vor dem Ende des Zweiten Salpausselkästadiums und Yoldia I a zwischen B III und B IV. Dieser Wechsel zwischen marinen und lakrusten Phasen ist nicht allein mit Hilfe der Vorzeitufer, sondern auch mit Hilfe der in den Sedimenten enthaltenen Diatomeen ermittelt worden. Die Zuverlässigkeit der Auffassung hat auch dadurch eine Kontrolle erfahren, daß mein Kollega Dr. Hyypä die von mir in Südfinnland nachgewiesenen Stadien auch in Nordfinnland festgestellt hat.

Klimatologisch ist diese genauere Geschichte der Ostsee nur von mittelbarer Bedeutung. Ganz besondere Wichtigkeit kommt ihr zu, wenn es sich um die Datierung der Ostseesedimente handelt, und diese ist notwendig bei der richtigen zeitlichen Einordnung der beiden folgenden Spalten der Tafel. In diesen sind Pollenanalysen dargestellt aus Südostfinnland (von der Karelischen Landenge) und aus Nordfinnland (aus dem Gebiet zwischen dem Bottnischen und dem Weißen Meer). Die Diagramme sind so ausgearbeitet, daß die ganze Spalte prozentual auf die verschiedenen Pollenarten verteilt ist und jede Holzart somit ihr eigenes vertikal verlaufendes Feld erhält.

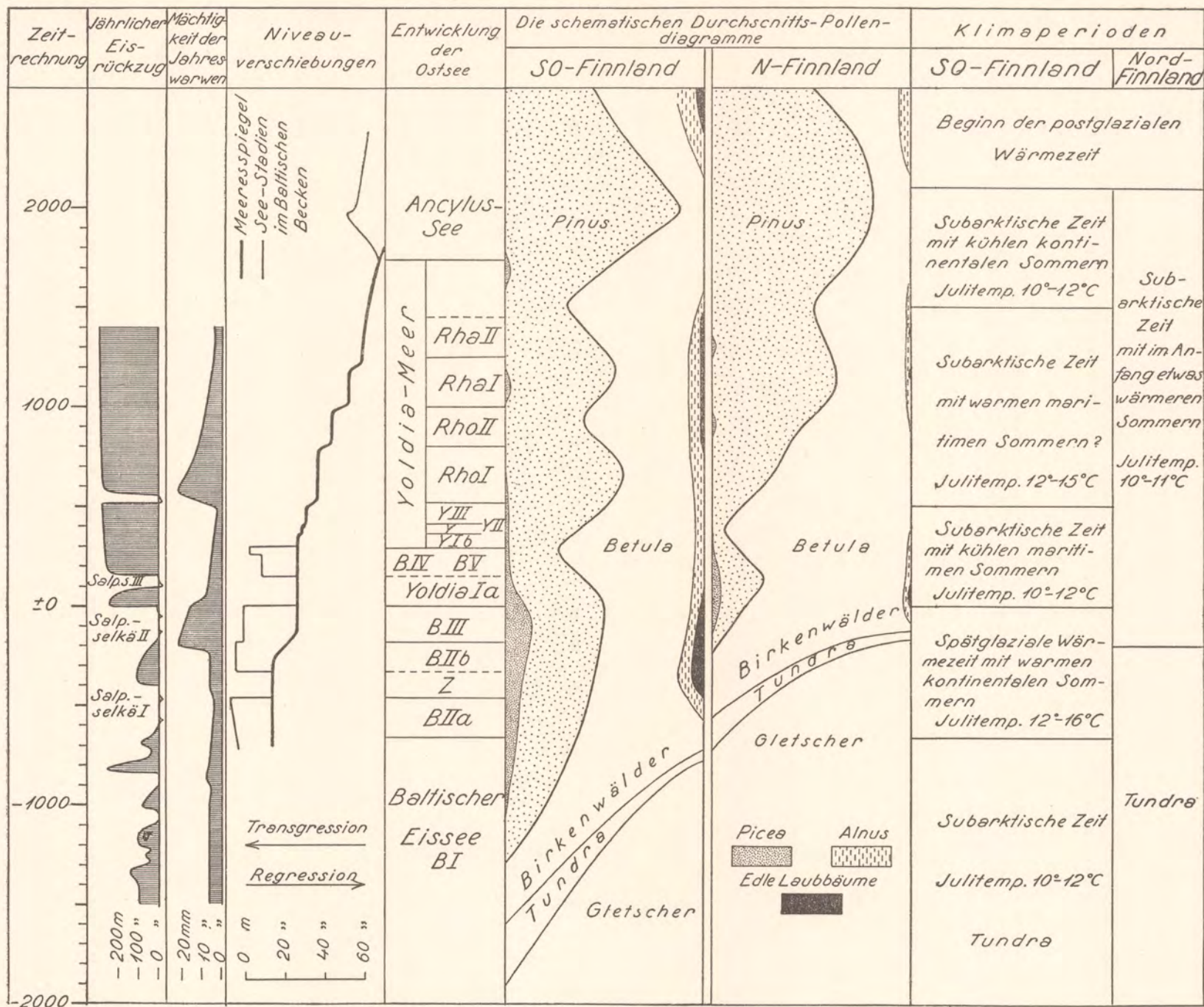
In den Diagrammen ist zuoberst das Kiefernmaximum aus der Ancycluszeit zu erkennen. Unter ihm liegt die durch vorherrschende Birke gekennzeichnete Zeit mit ihren verschiedenen Phasen, die zeitlich dem kollektiven Yoldia entsprechen. In den nächstälteren Sedimenten und Torfablagerungen steigt die Kiefernpollenmenge wieder an, und daneben erscheinen auch mehrere andere Arten, zunächst die Fichte in sehr beträchtlichen Mengen, stellenweise mit 10—20% sowie außerdem *Alnus* und edle Laubbäume, *Ulmus*, *Corylus*, *Quercus* und besonders *Tilia*. Diese treten regelmäßig auf und annähernd in denselben Prozentsätzen wie in den Litorinaablagerungen derselben Gegenden.

Dieses mag erstaunlich erscheinen. Weist doch die Pollenflora ganz überzeugend in die Richtung, daß das Klima in der Gotiglazialzeit viel vorteilhafter als in der Finiglazialzeit gewesen ist. Das Ergebnis steht also in Widerspruch mit der herrschenden Anschauung, die sich auf die Rückzugsgeschwindigkeit des Gletschers gründet.

Gewiß möchte mancher den Pollenanalysen in diesem Fall die Beweiskraft absprechen:

¹⁾ Rho I, Rho II, Rha I und Rha II sind jüngere Stadien des finiglazialen Yoldiameeres; Z bedeutet das Niveau des gotiglazialen Meeres während der Bildung des Ersten Salpausselkä.

Matti Sauramo, Helsinki: Über das spätglaziale Klima.



Umlagerungen alter fossilführender Schichten sagen einige. Solche ältere Ablagerungen kennen wir aber nicht in Finnland.¹⁾ Und die Grundmoräne ist im allgemeinen vollkommen fossilfrei. Als eine Ausnahme sei erwähnt die Moräne bei Kristiina S vom Quorcken, die mit den angenommenen interglazialen Bildungen bei Hernösand in Zusammenhang steht.

Ferntransport sagen andere. Doch dies erklärt nichts; denn jedenfalls setzen die Pollen voraus, daß die betreffenden Bäume in geringerer oder größerer Entfernung gerade zur Zeit der Salpausselkästadien, aber nicht später, am reichlichsten gewachsen sind. Außerdem ist die Behauptung nicht zutreffend, denn von den meisten Holzarten sind auch makroskopische Reste u. a. in der Umgebung von Leningrad anzutreffen.

Ein dritter Einwand mag lauten: die absolute Pollenmenge ist belanglos.

Zur Klärung dieses Sachverhalts haben wir nach Firbas Verfahren auch die Nichtbaumpollen bestimmt und die absolute Menge aller Pollen gezählt. Als Beispiel erwähne ich Dr. Hyypäs Profil aus Kämärä, vom südöstlichen Finnland. Im Diagramm treten dieselben Züge wie oben hervor. Neben dem unteren Teil des Diagrammes sind die Kurven gezeichnet, welche die Menge der Nichtbaumpollen darstellen. Der letztere Betrag macht höchstens etwa 30% aus, wodurch nach Firbas bezeugt ist, daß es sich um Wald und nicht um Tundra handelt. Ein anderes ähnliches Diagramm aus Nordfinnland zeigt dieselben Erscheinungen. Es ist offenbar, daß die Tundrazeit nur eine vorübergehende, kurze Phase hinter dem zurückweichenden Inlandeis bedeutet. Schon in gotiglazialer Zeit folgen ihr in nicht weiter Entfernung Bäume und Wälder.

So verhält es sich nicht nur in Finnland, sondern auch in der Umgebung von Leningrad, in Estland, und, wie Firbas erwiesen hat, ebenfalls in Norddeutschland und selbst in Skandinavien, wenn auch weniger deutlich, besonders mit Rücksicht auf die Fichte. Die Flora ist in Dänemark in der sogenannten Allerödzeit am reichsten, und diese ist, wie die Salpausselkästadien, von gotiglazialen Alter.

Im östlichen Teil von Fennoskandien ist es jedenfalls ganz unwiderleglich, daß die paläontologischen Befunde eine sehr günstige Wärmeperiode am Ende der Gotiglazialzeit, zur Zeit der Salpausselkästadien, voraussetzen; danach aber, in der Yoldiazeit, sind die Verhältnisse für die Vegetation ungünstiger geworden.

Der Charakter des Klimas in diesen Zeiten ist auf der Tabelle in den beiden letzten Spalten wiedergegeben. Die dort dargestellte Auffassung stimmt mit den Niveauverschiebungen, der Schwankung der Jahreswarwenstärke und auch mit der solaren Wärmekurve von Milankovitch überein. Nach dieser fällt ja das Wärmemaximum gerade zwischen 11.000 und 10.000 Jahre vor unserer Zeit. Ein Widerspruch besteht nur in bezug auf die Rückzugsgeschwindigkeit des Eises. Man fragt sich, worauf der Stillstand des Eisrandes in den Salpausselkärücken beruht, wenn er nicht seine Ursache in der Temperaturverminderung hat. Dr. Hyypä sucht ihn durch die Feuchtigkeitsmenge zu erklären, die zugenommen hat, weil sich die Zyklonenbahnen in dieser Zeit nordwärts an ihre jetzigen Stellen verlegt haben. Köppen hat sich dieser Auffassung angeschlossen. Nach Prof. Auer ist Feuerland ein gutes Beispiel dafür, wie die Temperatur die Feuchtigkeit reguliert hat. An der vor den Gebirgswinden geschützten Ostseite hat die Feuchtigkeit bei steigender Temperatur zugenommen und bei fallender abgenommen. In Finnland haben wir früher die Salpausselkärücken als örtliche Bildungen bezeichnet, indem besonders die Bedeutung topographischer Bedingungen, die Verteilung tiefen und flachen Wassers oder trockenen Bodens für den Betrag der mechanischen Abtragung, der Kalbung des Eises betont wurden. Diese Gesichtspunkte erlangen jetzt immer größere Bedeutung, da wir nun auch über den Rückzug des Eises in Nordfinnland Klarheit erlangt haben. Nach Dr. Hyypä

¹⁾ Später, im Jahre 1937, wurden im südöstlichen Finnland interglaziale oder interstadiale marine Tonablagerungen entdeckt. Die Pollenflora besteht hauptsächlich aus *Betula*, *Alnus* und *Corylus*, enthält aber außerordentlich spärlich oder gar keine *Picea* und *Tilia*. In den spätglazialen Ablagerungen der letzten Vereisung ist dagegen die Frequenz dieser letztgenannten Pollen viel größer und diese müssen darum hauptsächlich primär angesehen werden.

erfolgte er schon während der Salpausselkästadien, aber ohne Stillstände. Ebenso verhält es sich auch längs der ganzen Ostfront. Nur im Süden ist der Gletscher lebendig gewesen und hat bei seiner Oszillation Endmoränen aufzuschütten vermocht. Dieses beruht nach unserer Auffassung auf der von den Westwinden mitgebrachten größeren Feuchtigkeit, die als Schnee fiel, denn auch gegenwärtig wirkt das Minimum von Island am stärksten auf das Klima von Fennoskandien im Winter ein. Dagegen brachte das osteuropäische Maximum die heißen Sommer. So werden also das Haltstadium des Gletschers und die gleichzeitige warme Flora verständlich; beide sind auf das zur Zeit der Salpausselkästadien eingetretene Maximum der Sonnenstrahlung zurückzuführen. Doch wie wir auch den Sachverhalt erklären mögen, das Wichtigste ist, an den direkten Beobachtungen festzuhalten, in diesem Fall nämlich an der fossilen Flora, als bestem Indikator. Und nach dieser läßt sich nicht leugnen, daß das spätglaziale Wärmeoptimum wirklich mit den Salpausselkästadien zeitlich zusammenfällt.

Literatur.

Auer Väinö (1933), Verschiebung der Wald- und Steppengebiete Feuerlands in postglazialer Zeit. *Acta geographica* 5, Nr. 2, Helsinki.

Firbas F. (1935), Die Vegetationsentwicklung des mitteleuropäischen Spätglazials. *Bibl. Botanica*, Stuttgart.

Hyypä Esa (1933), Das Klima und die Wälder der spätglazialen Zeit der Karelischen Landenge. *Acta forestalia fennica* 39.

Hyypä Esa (1936), Über die spätquartäre Entwicklung Nordfinlands mit Ergänzungen zur Kenntnis des spätglazialen Klimas. Vorläufige Mitteilung. *Bull. Comm. géol. Finlande*, Nr. 115.

Markoff K. K. (1931), Development of the relief in the northwestern part of the Leningrad district. *Transactions of the geological and prospecting service of U. S. S. R.* Fasc. 117 (russisch, mit englischem Referat).

Sauramo Matti (1918), Geochronologische Studien über die spätglaziale Zeit in Südfinnland. *Bull. Comm. géol. de Finlande*, Nr. 50, *Fennia* 41, Nr. 1.

Sauramo Matti (1923), Studies on the Quaternary varve sediments in southern Finland. *Bull. Comm. géol. de Finlande*, Nr. 60.

Sauramo Matti (1934), Zur spätquartären Geschichte der Ostsee. *Bull. Comm. géol. de Finlande*, Nr. 104.

Thomson P. W. (1935), Vorläufige Mitteilung über die spätglaziale Waldgeschichte Estlands. *Geol. Fören. i Stockholm Förhandl.* Bd. 57.

Summary.

The ideas concerning the climate during late-Glacial times may be based on records from this period, as the annual rate of the retreat of the Fennoscandian ice-sheet, the variation of the thickness of the annual varves, and the fossil flora, especially the pollen of different tree species. The paleontological material proves that the land in the vicinity of the ice-margin was covered by forest and that the climate of this period arrived at its optimum little before and during the deposition of the great Salpausselkä moraines. The cause of these halts in the retreat of the ice-sheet lies, therefore, not in a lowering of temperature, but, according to Hyypä, in an increasing moisture at a time when the zone of the western cyclones withdrew from the south into its present position.