

Die Waldgrenze im Postglazial

Sigmar BORTENSCHLAGER

Institut für Botanik, Sternwartestr. 15, 6020 - Innsbruck, Österreich

mit 1 Figur

Einleitung

Die Abhängigkeit der Vegetation vom Klima ist evident und kann jederzeit deutlich vor Augen geführt werden, denken wir nur an die Vegetationszonen - tropisch bis arktisch oder von montan bis alpin. Schwieriger wird jedoch die Ursachenanalyse und meist sind es multivariable Abhängigkeiten von Temperatur, Boden, Wasser, Luftfeuchte, Wind u.a.m. Lineare Abhängigkeiten hingegen oder besser quasilineare Abhängigkeiten sind eher selten. Solche treten in den Trockengebieten einerseits durch die Feuchtigkeit oder bei uns in den Alpen an der Waldgrenze als Temperaturabhängigkeit auf. Und gerade diese Temperaturabhängigkeit hat in den letzten Jahren große Bedeutung erreicht, weil man hier, in der Paläobotanik einen Schlüssel hat, um frühere Temperaturänderungen nach Ausmaß, Zeit und Wirkung abzuschätzen und eventuell auf künftige Zeiträume extrapolieren kann.

Abhängigkeit der Waldgrenze von der Temperatursumme während der Vegetationsperiode

Die Temperaturabhängigkeit der Waldgrenze wurde erstmals dezidiert von MICHAELIS (1934 a/b) ausgesprochen und durch neue Untersuchungen von BAIG et al. (1974) und TRANQUILLINI (1967, 1979) an der Waldgrenze bestätigt und genauer definiert. Die Temperatur wirkt über das Phänomen der Frosttrocknis limitierend auf das Leben der Bäume an der Waldgrenze. In einem zu kühlen Sommer - die Temperatursumme ist zu niedrig, nicht die Extremwerte sind ausschlaggebend - können die Nadeln nicht voll ausreifen, es können die Gefäße nicht richtig ausgebildet werden, vor allem aber sind die Epidermis und die Kutikula zu dünn und der Verdunstungsschutz ist nicht mehr gegeben. Im nächsten Winter vertrocknen die Nadeln und sterben ab. Ein einzelnes solches Jahr spielt für einen Baum keine Rolle, mehrere aufeinanderfolgende Jahre aber bringen den Baum in eine negative Stoffbilanz und er stirbt ab. Wenn also die Temperatursumme während der Vegetationsperiode um etwa $0,7^{\circ}\text{C}$ niedriger ist, sinkt die Baumgrenze um etwa 100 m ab. Im umgekehrten Fall steigen die Bedingungen für das Wachstum entsprechend an.

Wie Untersuchungen von KRAL (1971), WELTEN (1950 a, b) und eigene ergeben haben, sinkt der Baumpollengehalt in waldfreien Gebieten im Relativdiagramm um etwa 20-30 % und im Konzentrationsdiagramm um etwa 1-2 Zehnerpotenzen ab. Es kann also in Pollenprofilen mit großer Zuverlässigkeit festgestellt werden, ob Wald vorhanden war oder nicht.

Unsere ersten Untersuchungen im Venediger Gebiet (BORTENSCHLAGER & PATZELT 1969) haben ein Profil erbracht, in dem sehr deutlich Schwankungen der BP/NBP Kurve ersichtlich sind, und diese wurden als Waldgrenzschwankungen interpretiert. Diese Erstbefunde wurden durch weitere, sowohl aus dem Venediger Gebiet, als auch dem Ötztal statistisch abgesichert. In Verbindung mit C-14 Daten hat sich eine Abfolge von gün-

stigen und ungünstigen Phasen ergeben, die auch mit Ergebnissen aus den Westalpen parallelisiert werden konnten.

Voraussetzungen für die Parallelisierung von Pollenprofilen

Es hat sich dabei aber herausgestellt, daß in manchen Gebieten die Parallelität sehr gut war, in anderen wieder nicht. Die Voraussetzungen für guten Gleichlauf sind folgende:

Das Profil muß unbedingt innerhalb des Schwankungsbereiches der Waldgrenze oder ganz knapp - weniger als 50 m darüber oder darunter liegen. Weder in Tieflagen noch in Lagen weit über der Waldgrenze sind Auswirkungen festzustellen, es dominieren dort entweder die Lokal-, der Regional- oder der Fernflugpollen.

Der Wald, d.h. die ihn bildenden Arten, müssen schnell reagieren können. Es muß nicht nur die Absenkung rasch erfolgen, das ist ja durch die direkte Temperaturabhängigkeit des Absterbemechanismus gegeben, sondern sie müssen auch ebenso rasch wieder Höhe gewinnen können. Dieses Höhegewinnen, das Hinaufsteigen ist aber von der Samenausbreitungsmöglichkeit abhängig, und die ist z.B. bei der Fichte, wie KUOCH (1965) gezeigt hat, sehr eingeschränkt. Das Ansteigen von Fichtenwäldern dauert sehr lange, mehrere Baumgenerationen, und damit kommen wir in einen Zeitbereich, der die Dauer von Klimaschwankungen teils übersteigt.

Beste Voraussetzungen im Hinblick auf Samenausbreitungsmöglichkeit bietet die Zirbe, deren Zapfen durch den Zirbenhäher in Depots über der Waldgrenze gesammelt werden. Da der Zirbenhäher mehr Depots anlegt, als er benötigt, keimen immer wieder Zirben aus und können überleben, wenn die Bedingungen entsprechend sind. Die Zirbe ist also potentiell überall vorhanden, wo sie Lebensmöglichkeiten hat. Paßt das Klima - wächst die Zirbe. Dieses Faktum war für die Ergebnisse bei den Untersuchungen in den zentralalpinen Zirbengebieten ausschlaggebend.

Auswirkungen der Temperatursumme während der Vegetationsperiode auf die Gletscher

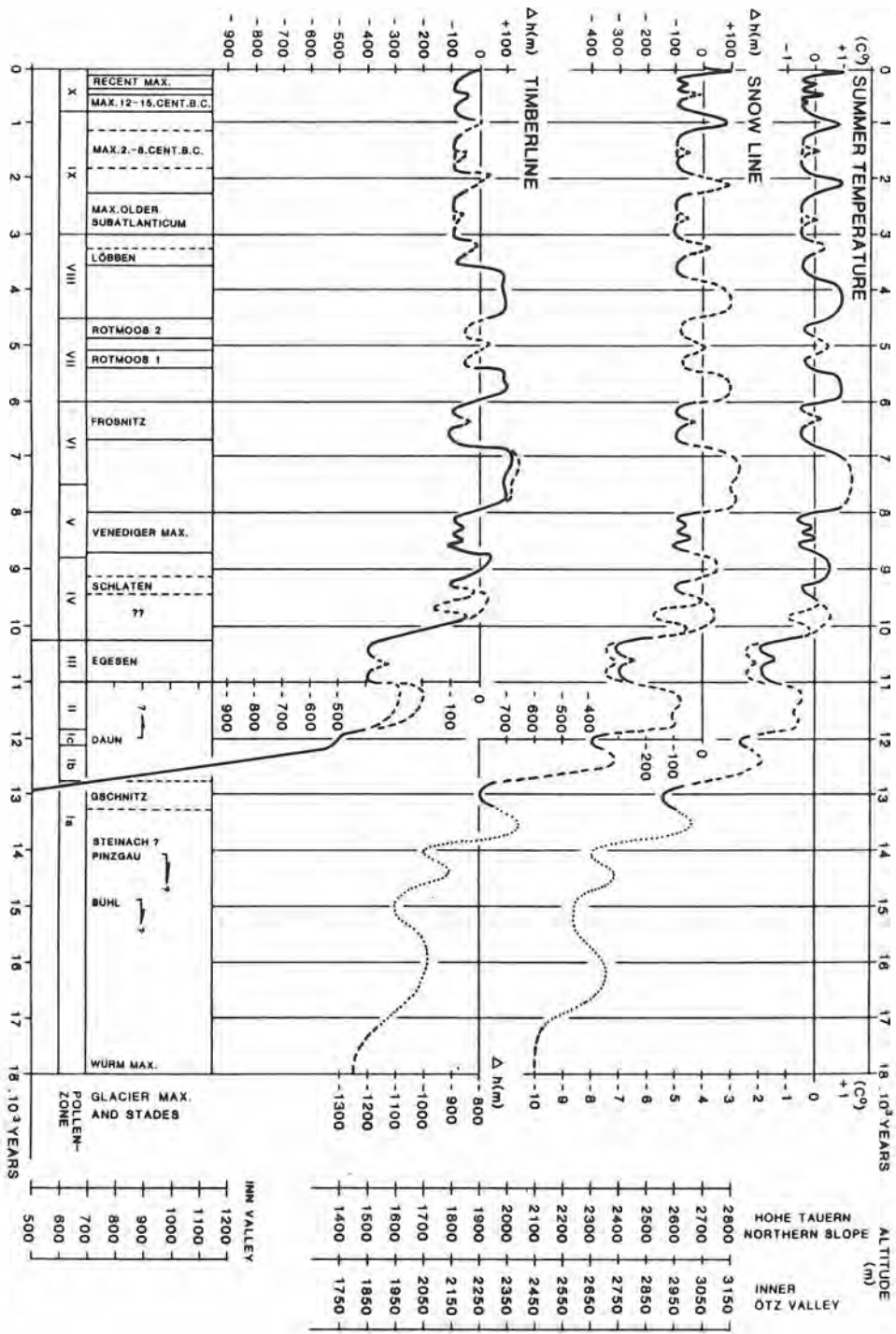
Auf die gleiche Ursache - Temperatursumme während der Vegetationsperiode - aber mit umgekehrtem Effekt, reagieren die Gletscher. Kühle Sommer lassen die Gletscher wachsen, warme Sommer bringen sie zum Abschmelzen. Ein Gletscherhochstand kann somit mit einer tiefen Waldgrenze bzw. umgekehrt gleichgesetzt werden (PATZELT 1976).

In günstigen Fällen konnte sogar ein direkter Zusammenhang zwischen Moräne - Auswaschungen - Bodenbildung und Einwaschung ins Moor festgestellt werden.

Die End- und Seitenmoränen erlauben eine eindeutige Fixierung der Gletschergröße und aus dem Teilungsverhältnis Zehr- zu Nährgebiet kann die Gleichgewichtslinie, das ist die Schneegrenze, rekonstruiert werden.

Dieser dreifache Parallelgang - Waldgrenze - Schneegrenze - Temperatur wurde nun in einem Schema zusammengestellt, das uns die Änderung eines Klimaparameters - Temperatur - und seine Auswirkung auf die Umwelt zeigt (Fig. 1).

Fig. 1: Verlauf der Waldgrenze, der Schneegrenze und der sie verursachende Gang der Sommertemperatur während der letzten 18.000 Jahre im Bereich der Zentralalpen in Österreich.



Einfluß des Niederschlags auf die Waldgrenze

Bisher wurde nur die Temperatur als Faktor berücksichtigt. Wahrscheinlich geht aber bei manchen "Klimaoscillationen" auch noch der Niederschlag mit ein. Sicher muß dies bei den Staulagen in den nördlichen Randalpen mitberücksichtigt werden.

Erste Anhaltspunkte für den Einfluß des Niederschlags haben sich aus den Untersuchungen von PATZELT an den Schwemmkegeln im Inntal und aus der Murentätigkeit im Ötztal ergeben. Aber auch in Sedimentsäulen von Pollenprofilen zeigen sich tonig-schluffige Ablagerungen, die auf erhöhte Niederschläge hinweisen, wie z.B. in einem Profil aus der Schwemm (OEGGL 1988). Hier müssen die Untersuchungen noch fortgesetzt werden.

Die Waldgrenze im Postglazial

Eindeutig aber geht aus den bisherigen Untersuchungen hervor, daß im gesamten Postglazial das Klima und damit die Waldgrenze um einen Mittelwert gependelt hat, der 1-1,5°C während der Vegetationsperiode nicht überschritten und Waldgrenzenschwankungen im Ausmaß von etwa 200 m verursacht hat.

Dramatische Ereignisse mit Temperaturänderungen von 2° bis 4°C, wie sie jetzt vorausgesagt werden, gab es in den letzten 10.000 Jahren nicht. Wollen wir solche Phänomene untersuchen, müssen wir ins Spätglazial gehen, dort fanden solche Sprünge statt, entweder bei der Wiederbewaldung oder am Übergang Jüngere Dryas/Präboreal.

Literatur

- BAIG, M.N., TRANQUILLINI, W. & HAVRANEK, W.M. 1974. Cuticuläre Transpiration von *Picea abies*- und *Pinus cembra*-Zweigen aus verschiedener Seehöhe und ihre Bedeutung für die winterliche Austrocknung an der alpinen Waldgrenze.- Centralbl. ges. Forstwesen, **91**: 195-211.- Wien.
- BORTENSCHLAGER, S. & PATZELT, G. 1969. Wärmezeitliche Klima- und Gletscherschwankungen im Pollenprofil eines hochgelegenen Moores - 2.270 m - der Venedigergruppe.- Eiszeitalter und Gegenwart, **20**: 116-122.- Stuttgart.
- KRAL, F. 1971. Pollenanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte des Dachsteinmassivs. Rekonstruktionsversuch der Waldgrenzodynamik.- Veröff. Inst. f. Waldbau, Hochsch. f. Bodenkultur Wien, 145 pp.- Wien.
- KUOCH, R. 1965. Der Samenfall 1962/63 an der oberen Fichtenwaldgrenze im Sertigtal.- Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswesen, **41** (3): 65-85.- Birmensdorf.
- MICHAELIS, P. 1934 a. Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze IV. Zur Kenntnis des winterlichen Wasserhaushaltes.- Jb. wiss. Bot. **80**: 169-247.- Berlin.
- MICHAELIS, P. 1934 b. Ökologische Studien an der alpinen Baumgruppe V. Osmotischer Wert und Wassergehalt während des Winters in den verschiedenen Höhenlagen.- Jb. wiss. Bot. **80**: 337-362.- Berlin.

- OEGGL, K. 1988. Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols VII: Das Hochmoor Schwemm bei Walchsee.- Ber. nat. med. Ver. Innsbruck, **75**: 37-60.- Innsbruck.
- PATZELT, G. 1976. Änderungen der Höhenlage der Gleichgewichtslinie als Indikator für Klimaschwankungen.- Dt. Ges. Polarforsch. 10. Intern. Polartagung Zürich.
- TRANQUILLINI, W. 1967. Über die physiologischen Ursachen von Wald- und Baumgrenze.- Mitt. Forst. Bundesvers.-Anst. Wien, **75**: 457-481.- Wien.
- " - . 1979. Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps.- 137 pp.- Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- WELTEN, N. 1950 a. Beobachtungen über den rezenten Pollenniederschlag in alpiner Vegetation.- Ber. Geob. Forsch. Inst. Rübel, Zürich, 1949: 48-57.- Zürich.
- " - . 1950 b. Die Alpweiderodung im Pollendiagramm.- Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, 1949: 57-67- Zürich.