



*Mag.Ing. Peter Pindur, gelernter Nachrichtentechniker, absolvierte das Diplomstudium Geographie im zweiten Bildungsweg. Die Themenwahl für die hier vorgestellte Diplomarbeit resultiert aus seiner Vorliebe für den Hochgebirgsraum.*

# Dendrochronologische Untersuchungen an Zirben aus dem Waldgrenzbereich der Zillertaler Alpen

von Peter Pindur<sup>1</sup>

## *1 Einleitung*

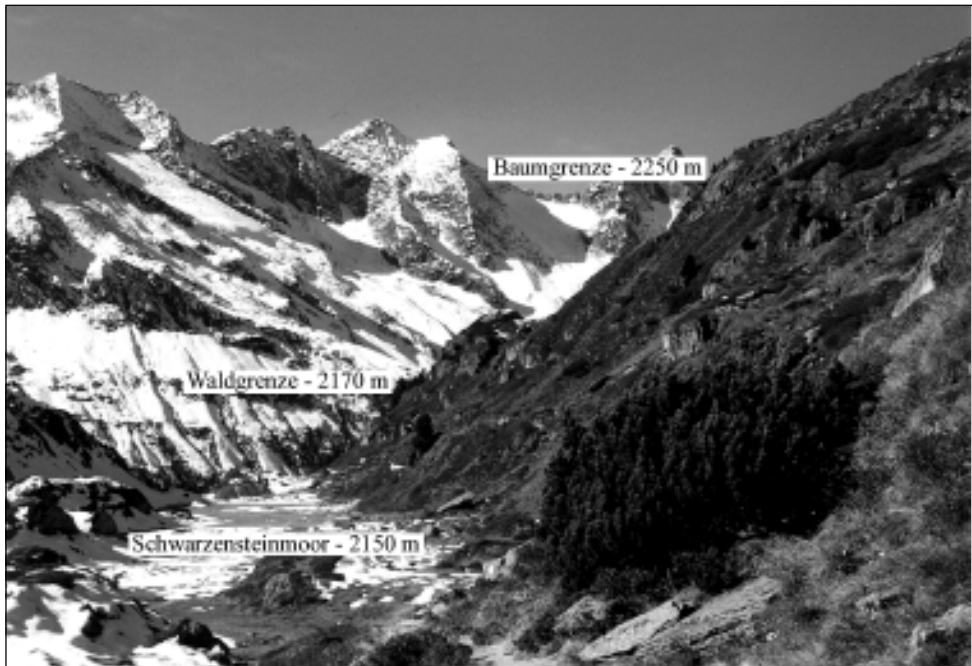
Kenntnisse über die vergangenen Klimaverhältnisse stellen eine wesentliche Grundlage für die Einschätzung der gegenwärtigen klimatischen Situation und die Prognose zukünftiger Entwicklungen dar. Um die Datenlage für den Zeitraum des Holozän zu verdichten wurden im Oberen Zemmgrund, dem traditionellen Forschungsgebiet der Erdwissenschaftler in den Zillertaler Alpen, klimageschichtliche Untersuchungen an Zirben (*Pinus cembra* L.) mit den indirekten Klimazeigern „Waldgrenze“ und „Jahringbreite“ durchgeführt. Dabei wurden 11 Proben von rezenten Bäumen aus dem Gebiet der Schwarzensteinalm und 95 Proben von subfossilen Hölzern aus dem Schwarzensteinmoor entnommen und einer Jahring-Analyse unterzogen.

## **Problemstellung und Zielsetzung**

Bei der Lokalität „Schwarzensteinmoor“ (Pindur, S. 60) handelt es sich um einen großflächig vernässten Bereich, in dem viele oberflächennah eingebettete Baumstämme erhalten und leicht zugänglich sind. Im Umfeld des Moores existiert kein geschlossener Wald, es sind nur einzelne, weit gestreute und offensichtlich junge Zirben vorhanden (vgl. Abb. 1).

Obwohl der anthropogene Einfluss auf die heutige Waldgrenzsituation schwer fassbar ist wird er vom Verfasser als gering eingestuft. Immer wiederkehrende Lawinenereignisse stören das Baumwachstum und verhindern somit eine Waldverdichtung auf natürliche Weise. Da sich das Moor zusätzlich im klimabedingten Schwankungsbereich der Waldgrenze befindet können die Moorchölzer als Zeugen vergangener Klimagunstphasen gewertet werden. Damit lassen sich die zentralen Fragestellungen dieser Untersuchung formulieren:

<sup>1</sup> Die dargestellten Ausführungen entstammen der von Prof. G. Patzelt betreuten Diplomarbeit: *Dendrochronologische Untersuchungen im Oberen Zemmgrund, Zillertaler Alpen - Eine Analyse rezenter Zirben (Pinus cembra L.) und subfossiler Moorchölzer aus dem Waldgrenzbereich und deren klimageschichtliche Interpretation*. Innsbruck 2000, 122 Bl.



*Abb. 1: Blick Richtung Westen auf das Schwarzensteinmoor und den darüberliegenden Waldgrenzbereich der Schwarzensteinalm. Im Hintergrund Schönbichler Horn, Talggenköpfe und Großer Greiner mit 3201 m*

Bild: Pindur, Oktober 1999

- Baumart, Alter und Wachstumszeitraum der Moorhölzer
- Können mit Hilfe der Stammfunde postglaziale Warmphasen zeitlich belegt werden?
- Sind die Bäume infolge des natürlichen Alterungsprozesses bzw. durch Klimadepressionen abgestorben und ins Moor gefallen oder kommen dafür noch andere Ursachen in Betracht?
- Besteht die Möglichkeit neben langfristigen Klimaschwankungen (Waldgrenzschwankungen) auch kurzfristige Klima- bzw. Witterungsereignisse aus der Vergangenheit mit Hilfe der Jahrringbreitenkurven zu rekonstruieren?

### ***Stand der Forschung***

Bei dieser Arbeit handelt es sich um die erste dendrochronologische Untersuchung im Oberen Zemmgrund. Studien zur Klimageschichte wurden hingegen mehrfach durchgeführt. Dabei ist die Vegetationsgeschichte durch die palynologischen Dissertationen von Weirich (1980) und Hüttemann (1987) erschlossen. Die Gletschergeschichte, insbesondere die Ergebnisse der umfangreichen Arbeiten von Heuberger aus den 1970er Jahren stehen leider nicht zur Verfügung bzw. sind unzureichend publiziert.

## 2 Untersuchungsgebiet

Der Obere Zemmgrund, eine erweiterter und von drei großen Gletschern (Schwarzenstein-, Horn-, Waxeggkees) dominierter Talschluss, liegt in den Zillertaler Alpen auf der Nordabdachung des Alpenhauptkammes und ist seit 1991 Teil des „Ruhegebietes Zillertaler Hauptkamm“. Die untersuchte Lokalität, das Schwarzensteinmoor (47° 01' 40" N, 11° 49' 00" E, 2150 m ü.d.M.), befindet sich außerhalb der neuzeitlichen Moränenwälle am südexponierten Hang der Schwarzensteinalm oberhalb der Berliner Hütte (vgl. Alpenvereinskarte). Da sich das Moor deutlich innerhalb der jüngsten spätglazialen Moränenreste befindet wurde das Untersuchungsgebiet erst mit dem Ende des Pleistozäns eisfrei.

Die geologischen Verhältnisse des westlichen Tauernfensters, insbesondere die parallel zum Hauptkamm verlaufende Streichrichtung der Greiner Schieferserie (Lammerer), stellen die Grundlage für die im Pleistozän erfolgte Modellierung der Schwarzensteinalm dar. Dabei wurden die übertieften Hohlformen geschaffen in denen sich das Schwarzensteinmoor entwickeln konnte.

Die durch Nordstaulagen gekennzeichneten Zillertaler Alpen präsentieren sich wesentlich niederschlagsreicher als die westlich des Brenners gelegenen Zentralalpen (Fliri). Im Oberen Zemmgrund muss jedoch durch die Abschirmung der kreisförmigen, ca. 270° umfassenden Kammumrahmung mit einer lokalen Klimagunst gerechnet werden. Dies gilt insbesondere für den südexponierten und durch den Ochsner (3107 m) abgeschirmten Hang der Schwarzensteinalm. Da sich keine Wetterstation im Untersuchungsgebiet befindet können die kleinräumigen Klimabedingungen nur abgeschätzt werden. Dabei sind Niederschlagsverhältnisse mit einer hygrischen Kontinentalität (Gams) von 45 – 50° zu erwarten (vgl. Pindur, S. 24).

Das hydrologische Einzugsgebiet „Oberer Zembbach“ umfasst 33,2 km<sup>2</sup> und ist durch ein dicht entwickeltes Gewässernetz mit ausgeprägtem Oberflächenabfluss gekennzeichnet. Die vergletscherte Fläche betrug im Jahre 1969 12,6 km<sup>2</sup> (38 %). Beim neuzeitlichen Gletscherhochstand um 1850/55 waren hingegen 19,4 km<sup>2</sup> (58 %) mit Eis bedeckt (Hoinkes/Lässer/Patzelt). Die ungünstigen Klimaverhältnisse, die zu den großen Eisausdehnungen geführt haben, beeinflussten auch die Wachstumsbedingungen für die Vegetation negativ.

Das kristalline Substrat bildet relativ saure Böden als Basis für die Vegetation, die durch die subalpine und alpine Höhenstufe geprägt wird. Nach Mayer erstreckt sich die hochsubalpine Stufe, in welcher der Lärchen-Zirbenwald (*Larici-Cembraetum*) die Waldkrone der zentralen Ostalpen dominiert, im hinteren Zillertal von 1800 – 2200 m. Durch die natürliche Sukzession dieser Waldgesellschaft bildet heute die Zirbe im Oberen Zemmgrund die Waldgrenze. In ihrer Verbreitung ist sie stark von den morphologischen Gegebenheiten beeinflusst und stockt auf größeren Flächen nur im Bereich der Schwarzensteinalm (vgl. Pindur, S. 40).

Durch pollenanalytische Untersuchungen im Bereich der Waxeggalm (1870 m) konnten die frühesten Spuren menschlicher Aktivitäten mit dem erstmaligen Auftreten von Kulturzeigern (u. a. *Cerealia*, *Secale*) um 3200 BP in die mittlere Bronzezeit

(2250 - 850 v. Chr.) datiert werden. Die Pollenprofile zeigen überdies eine Nutzungskontinuität an, die, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, bis heute andauert (Weirich/Bortenschlager, Hüttemann/Bortenschlager). Die erste urkundliche Erwähnung der im Untersuchungsgebiet gelegenen Almen - Schwarzenstein und Waxegg - erfolgte nach Stolz im Urbar des Erzstiftes Salzburg aus dem Jahre 1607 über dessen Besitz im Zillertal.

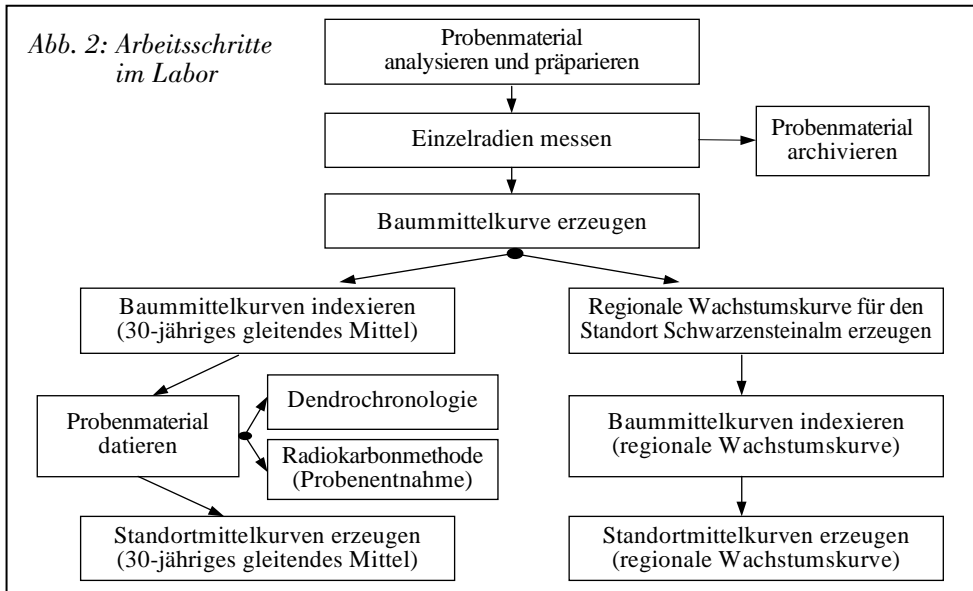
### 3 Methodik

#### 3.1 Feldarbeit

Die Probenentnahme für die dendrochronologische Analyse erfolgte während mehrerer Geländeaufenthalte im Sommer 1999. An den rezenten Zirben im Bereich der Schwarzensteinalm wurden mit einem händischen Zuwachsbohrer ein bis zwei Bohrerkerne pro Baum gezogen. Die subfossilen Hölzer aus dem Schwarzensteinmoor konnten, wenn diese nicht oberflächennah lagen und sichtbar waren, durch Sondierung aufgefunden werden. Die Stämme wurden in deren Mitte mit Schaufel und Spaten freigelegt und mit der Motorsäge eine Stammscheibe in der Dicke von ca. 10 cm entnommen.

#### 3.2 Laborarbeit

Im dendrochronologischen Labor des Institutes für Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- und Forstwirtschaft wurde das Probenmaterial ausgewertet und die erzeugten Jahrringserien weiterverarbeitet (vgl. Abb. 2).



### 3.3 Dendrochronologie

Unter der Dendrochronologie (Jahrring-Analyse) versteht man eine Methode mit der die jährlichen Zuwachsraten von Gehölzen datiert werden können. Ein vorrangiges Ziel der dendrochronologischen Forschung nimmt dabei die Erstellung von Jahrringchronologien ein (vgl. Schweingruber, S. 85, Nicolussi et al. 2001).

#### **Jahrring und Jahrringbreitenkurven**

Das Wachstum aller Gehölze in den gemäßigten und hohen Breiten unterliegt dem jahreszeitlich wechselnden Rhythmus des Klimas. Nach Beginn der Vegetationsperiode im Frühling und Frühsommer, bildet das Kambium das weitlumige Frühholz aus. Im Spätsommer und Herbst, wenn die Kambiumtätigkeit allmählich ausklingt, wird das englumige Spätholz erzeugt. Die Wachstumsunterbrechung im Winter verursacht in der Regel eine gut sichtbare und eindeutige Grenze zum Frühholz des folgenden Jahres. Dieser Zuwachs an Holzzellen während der Vegetationsperiode, der dem Dickenzuwachs der Bäume entspricht, wird Jahrring genannt.

Das Wachstum eines Baumes wird durch alle auf ihn einwirkenden, sowohl kurzfristigen als auch langfristigen, Umweltbedingungen gesteuert. Dabei werden die einzelnen Faktoren, insbesondere der Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode, vom Baum integriert und in Summe im Jahrringzuwachs chronologisch gespeichert. Im Laufe eines Baumlebens kommt es infolgedessen zu einer signifikanten Abfolge an Jahrringzuwachsen. Aufgrund der steuernden exogenen Einflüsse bilden sich in verschiedenen Baumindividuen ähnliche Jahrringmuster aus. Dieser Sachverhalt ermöglicht die Synchronisation einzelner Jahrringbreitenkurven und stellt somit die Basis der Dendrochronologie dar.

Befindet sich der Baum in einem Bereich wo einzelne Umweltbedingungen über die Existenz von mehrjährigen Pflanzen entscheiden, kommt das Prinzip der limitierenden Faktoren zum Tragen. Darunter ist zu verstehen, dass das Wachstum durch den vorherrschenden Minimumfaktor begrenzt wird und dieser die Jahrringbreitenkurve folglich dominiert. Für die alpine Waldgrenze, die eine Wärmemangelgrenze darstellt, ist der Temperaturgang als limitierender Faktor gegeben (Müller), da nach Tranquillini der Niederschlag für das Baumwachstum in diesen ökologischen Grenzbereichen in ausreichendem Maße vorhanden ist. Proben von solchen Standorten eignen sich deshalb besonders gut für dendroklimatologische Analysen.

#### **Synchronisierung von Jahrringbreitenkurven**

Um Jahrringkurven verschiedener Bäume besser vergleichen zu können müssen zuerst die individuellen Wachstumsunterschiede eliminiert werden. Dies erfolgt mittels Indexierung (Standardisierung) der Kurven. Dabei wird der indexierte Wert durch Division eines Ausgleichswertes vom tatsächlichen Messwert gewonnen und zugleich die langwelligen Schwankungen des Jahrringbreitenwachstums (u. a. Alterstrend) herausgefiltert. Die indexierten Kurven werden anschließend mittels elektronischer Da-

tenverarbeitung - Software *TSAP* (Rinn) - verglichen. Die dabei verwendeten statistischen Auswerteverfahren liefern mehrere Positionen mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitswerten der Übereinstimmung der Kurven zueinander. Die endgültige Synchronisierung wird visuell durchgeführt.

### ***Zeitraumen und Qualität der Datierung***

Am Institut für Hochgebirgsforschung existiert derzeit eine Hochlagen-Jahrring-Chronologie, welche die letzten 2000 Jahre umfasst und folglich absolute und jahres-scharfe Datierungen für diesen Zeitraum ermöglicht. Für den Abschnitt vor der Zeite-nwende sind mehrere „schwimmende“, d. h. nicht absolut datierte, sondern mittels  $^{14}\text{C}$ -Datierung in die Zeitskala eingeordnete Chronologien vorhanden. Die neu gewon-nenen Jahrringserien aus den Zillertaler Alpen wurden in die bestehenden Chronologien eingearbeitet und stellen somit einen Beitrag zum Projekt „*Aufbau einer holozänen Hochlagen-Jahrring-Chronologie für die zentralen Ostalpen*“ dar (Nicolussi et al. 2001).

Um nicht nur den Wachstumszeitraum eines Baumes festzuhalten, sondern auch seinen Absterbezeitpunkt exakt zu fixieren, muss die Waldkante, die den letzten gebil-deten Jahrring abschließt – zur zweifelsfreien Identifikation am besten mit Rinde – erhalten sein. Eine zusätzlichen Frühholz/Spätholz - Analyse kann die Auflösung der Datierung im Jahresgang noch steigern.

### ***3.4 Radiokarbondatierung***

Von den nicht eindeutig dendrochronologisch datierten Hölzern wurden 15 Proben ausgewählt und mittels Radiokarbonmethode zeitlich eingeordnet. Die Altersbestimmung erfolgte nach der konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Methode am *Centrum voor Isotopen Onderzoek der Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen* an der *Rijksuniversiteit Groningen* in den Niederlanden. Dieses Messverfahren fordert 20 - 30 g Holzmaterial als unteren Grenzwert für eine Standardabweichung von etwa 30 Jahren.

Damit die Holzproben mit den Messradien für spätere Untersuchungen erhalten bleiben, wurde das  $^{14}\text{C}$ -Probenmaterial in Form eines Kreisringsegments mit Hilfe von Handsäge und Stemmeisen aus den Holzscheiben herausgearbeitet. Um den Unschär-febereich der  $^{14}\text{C}$ -Datierung nicht zusätzlich zu erhöhen, konzentrierte sich die Ent-nahme des Probenmaterials auf Bereiche mit breiten Jahrringen (geringe Jahrringzahl) an einer klar definierten Stelle der erarbeiteten Jahrringserie (vgl. Abb. 4).

Mit Hilfe der Software *OxCal 3.4* (Bronk Ramsey, [www.rlaha.ox.ac.uk/orau/06\\_ind.htm](http://www.rlaha.ox.ac.uk/orau/06_ind.htm)) konnten die  $^{14}\text{C}$ -Datierungsergebnisse [BP] in kalibrierte Kalenderjahre [cal BC/AD] mit einem Zufallsstreuungsbereich von 68 % (einfache Standardabweichung,  $1\sigma$ ) umgerechnet werden. Da für eine graphische Darstellung der Datierungsergebnisse in chronologischer Form ein eindeutiger Zahlenwert benötigt wird, wurde aus dem er-mittelten  $1\sigma$  - Streubereich und der entnommenen Jahrringsequenz durch arithmeti-sche Mittelbildung ein, wenn auch nur für diese Arbeit geltendes, eindeutiges Datierungsergebnis errechnet.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Aktuelle und potentielle Waldgrenze

Der Waldgrenzbereich auf dem Hang der Schwarzensteinalm erstreckt sich heute vom geschlossenen Altbaubestand bei 2170 m (aktuelle Waldgrenze) bis zu einer Baumgrenze auf etwa 2250 m (potentielle Waldgrenze). Das Waldgrenzökoton ist durch Zirbenjungwuchs und einzelne relativ kleine Bäume, die ausschließlich im Schutze von Geländekanten in größere Höhen steigen, gekennzeichnet. Auf dem freien Almgelände vermag sich kein geschlossener Jungwald auszubilden und es dominiert die Legföhre (*Pinus mugo*). Obwohl der geschlossene Waldbestand in etwa 150 m westlich (talauswärts) vom Schwarzensteinmoor endet, liegt heute der gesamte untersuchte Moorbereich im potentiellen Zirbenwuchsgebiet (vgl. Abb. 1).

Da es sich beim Hang oberhalb des Schwarzensteinmoores eindeutig um ein potentiell Lawinenanbruchgebiet handelt (Hangneigung  $>30^\circ$ ), ist der beinahe baumlose Waldgrenzbereich mit großer Wahrscheinlichkeit nicht anthropogen beeinflusst. Der aufkommende Jungwuchs wird von kurzfristig wiederkehrenden Lawineneignissen zerstört. Während der Feldarbeit wurde ein Lawinenschadholz aus dem Katastrophenwinter 1998/99 im Moorbereich aufgefunden. Es handelte sich dabei um einen Zirbenjungwuchs mit 33 gezählten Jahrringen (Probe: SSM 41).

### 4.2 Waldgrenzentwicklung seit der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts

Aus der Alters- und Höhenverteilung der beprobten Bäume im Nahbereich des Schwarzensteinmoores, das heute 100 m unterhalb der aktuellen Baumgrenze liegt, kann angenommen werden, dass der Waldgrenzverlauf während der Temperaturdepression und Gletscherhochstandsphase in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts unter das Moorniveau von 2150 m abgesunken war und somit eine weitgehend klimatisch bedingte Entwaldung des Moorumfeldes erfolgte (vgl. Schrank/Moll, S. 86). Mit der Überschreitung der Periode ungünstiger Sommertemperaturen um 1820 stieg die potentielle Waldgrenze, dem allgemeinen Klimatrend folgend, im Oberen Zemmgrund um mindestens 100 – 150 m an. Sie erreichte in den 1960er Jahren, als das Wachstum der höchstgelegenen beobachteten Zirben einsetzte, die aktuelle Baumgrenze auf 2250 m.

Daraus lässt sich schließen, dass es bei allen postglazialen Klimadepressionen, die eine Sommertemperaturabsenkung in ähnlicher Größenordnung wie im 19. Jahrhundert zu verzeichnen hatten (vgl. Patzelt, S. 403), zu einer Waldgrenzabsenkung unter das Moorniveau gekommen sein dürfte und demzufolge die Moorhölzer nur aus Klimagunstphasen stammen können. Für Moorholzfunde mit großen Jahrringzahlen kann weiters postuliert werden, dass zum einen die Warmphasen über einen längeren Zeitraum angedauert haben und zum anderen diese Bäume von Lawinenabgängen verschont geblieben sind bzw. die Lawinenabgänge in größeren Zeitabständen als im 20. Jahrhundert erfolgt sein müssen.

### 4.3 Nachweis einer hochgelegenen Waldgrenze durch subfossile Hölzer aus dem Schwarzensteinmoor

Die zentrale Aufgabe dieser Untersuchung stellte die Datierung der Moorchölzer dar. Von den 95 entnommenen Stammscheiben, die alle als Zirben (*Pinus cembra* L.) identifiziert wurden, konnten 41 Proben mit Hilfe der Dendrochronologie und weitere 15 Stämme mittels <sup>14</sup>C-Datierung altersmäßig bestimmt werden.

Die Jahrringkurven der Einzelbäume wurden untereinander synchronisiert und damit 15 Standortmittelkurven gebildet. Durch die chronologische Darstellung der Wachstumszeiträume, die Phasen mit einem hochgelegenen Waldgrenzverlauf entsprechen, war es möglich, ein weitgehend geschlossenes Bild über die Waldverhältnisse im Moorbereich für die letzten 9000 Jahre zu erhalten (vgl. Abb. 3).

Die Zeiträume von 4900 bis 1750 v. Chr. (36 Proben) und von 600 v. Chr. bis 800 n. Chr. (18 Proben) erscheinen besonders auffällig, da für diese Perioden von zusammen über 4500 Jahre ein zeitlich fast geschlossener hochgelegener Baum- bzw. Waldgrenzverlauf rekonstruiert werden konnte. Die kurzzeitigen, bis zu 200 Jahre dauernden Unterbrechungen resultieren höchst wahrscheinlich aus nicht gefundenem Probenmaterial. Einzige Ausnahme bildet der fehlende Bestandsnachweis um 2500 v. Chr., der mit einem Hochstand des Schwarzensteinkeeses um 4100 BP (Mitteilung Patzelt) parallelisiert werden kann und somit als Folge einer Klimadepression zu werten ist.

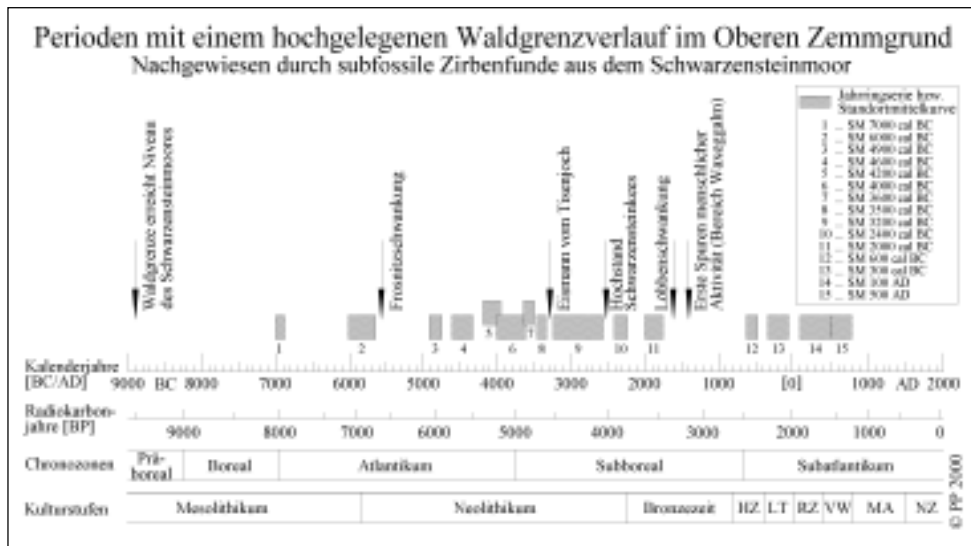


Abb. 3: Nachweis einer hochgelegenen Waldgrenze im Oberen Zemmgrund durch subfossile Zirbenstammfunde aus dem Schwarzsteinmoor (Hüttemann/Bortenschlager, Patzelt)



Im Gegensatz dazu konnte für die Zeiträume von 1750 bis 600 v. Chr. und von 800 n. Chr. bis heute kein einziges Moorholz datiert werden. Als Ursachen kommen neben den im Untersuchungsgebiet nachgewiesenen längerfristigen Kaltphasen (z.B. Lössschwankung, neuzeitliche Klimadepression) auch anthropogen bedingte Waldgrenzabsenkungen in Frage. Leider sind beide waldgrenzsenkenden Ursachen ohne pollenanalytische Untersuchung nicht zu trennen. Zudem besteht auch noch die Möglichkeit, dass zufällig keine Bäume in diesen Zeiträumen ins Moor gelangt sind und dadurch konserviert wurden bzw. die Proben nicht datiert werden konnten. Demzufolge stehen für die letzten 7000 Jahre etwa 4500 Jahre mit einer nachgewiesenen hochgelegenen Waldgrenze (65 %) nur 2500 Jahre (35 %) ohne jegliche datierte Baumfunde gegenüber. An dieser Stelle wird noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das belegte Baumwachstum direkt mit günstigen Klimaverhältnissen in Verbindung gebracht werden kann, die fehlenden Baumbefunde hingegen vielschichtige Ursachen haben können.

4.4 Die Standortmittelkurve „SM 3200 cal BC“

Abb. 4 zeigt die zeitliche Verteilung der synchronisierten Einzelbäume der am stärksten belegten Standortmittelkurve dieser Untersuchung. Die „SM 3200 cal BC“

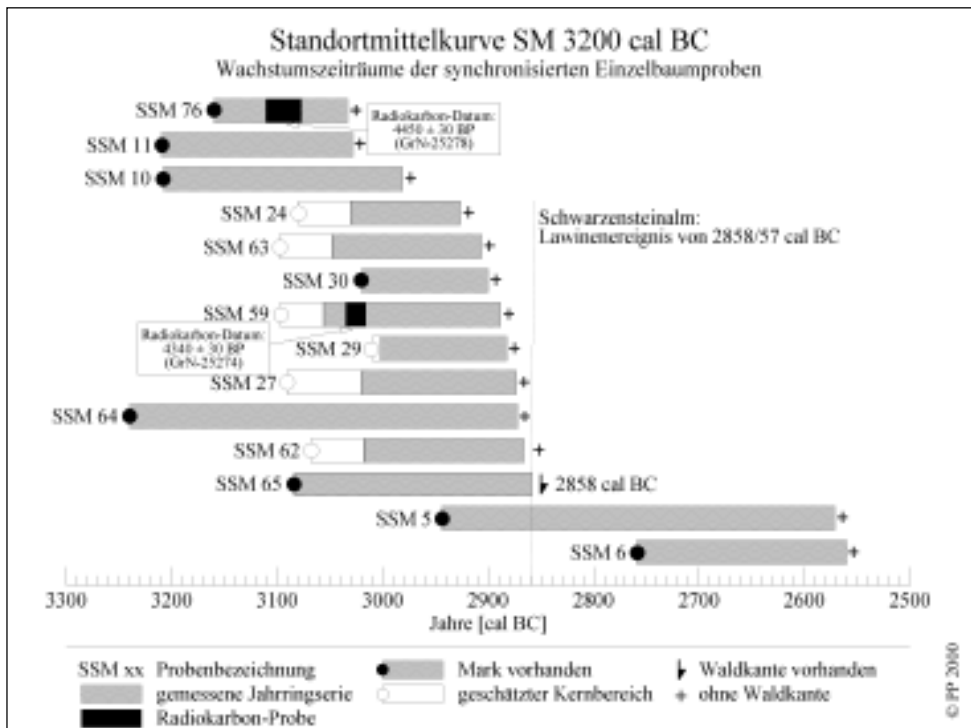


Abb. 4: Belegung und zeitliche Verteilung der synchronisierten Einzelbaumproben der Standortmittelkurve SM 3200 cal BC

(Nr. 9 in Abb. 3), die durch zwei  $^{14}\text{C}$ -Datierungen zeitlich eingeordnet wurde, erstreckt sich über 700 Jahre und ist im Zeitraum von 3050 bis 2900 cal BC mit bis zu zehn verschiedenen Jahrringserien abgesichert.

Ab 3250 v. Chr. konnte nach einer 50-jährigen Unterbrechung (vgl. Abb. 3) wieder Baumbestand in Moornähe nachgewiesen werden. Dieser ist durch ein stark einsetzendes Baumwachstum um 3100 v. Chr. gekennzeichnet. Auffällig erscheint das kollektive Absterben der relativ jungen, etwa 150 – 200 Jahre alten Zirben nach 2900 v. Chr. Der Absterbezeitpunkt des „ältesten“ Baumes dieser Gruppe, der Probe *SSM 65*, konnte mit ausgebildetem Spätholz und Waldkante (inklusive Rinde!) in das Winterhalbjahr 2858/57 cal BC datiert werden. Durch die Lage der Bäume und deren Verteilung im Moor scheint das abrupte Ende des Waldbestandes oberhalb des Moores durch ein großes Lawinenereignis verursacht. Die Probe *SSM 5*, die das Lawinenereignis unbeschadet überstanden hat, wurde aus einem lawinengeschützten Moorbereich entnommen (vgl. Pindur, S. 67).

Die Baumstämme *SSM 64* mit 366 und *SSM 65* mit 226 gemessenen Jahrringen liefern einen Hinweis auf die Wiederkehrdauer dieses prähistorischen Lawinenereignisses in der Größenordnung von 250 – 400 Jahre.

Das Ende des Baumbestandsnachweises um etwa 2550 v. Chr., das durch die Proben *SSM 5* mit über 370 und *SSM 6* mit über 200 gemessenen Jahrringen belegt ist, könnte durch die oben angesprochene Klimadepression mit dem nachgewiesenen Gletscherhochstand im Untersuchungsgebiet verursacht worden sein. Diese Vermutung wird durch die relativ schmalen Jahrringe, die im äußersten erfassten Zentimeter - leider ohne Waldkante - gemessen wurden (*SSM 5* < 0,2 mm, *SSM 6* < 0,5 mm), wesentlich erhärtet (vgl. Nicolussi/Lumassegger 1998, S. 49, Pindur, S. 91).

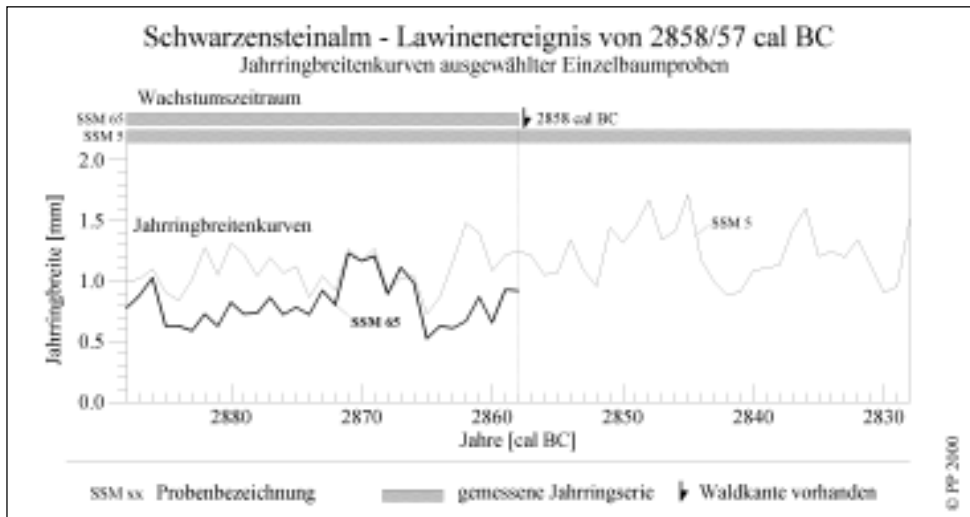


Abb. 5: Das Lawinenereignis von 2858/57 cal BC im Jahrringbild ausgewählter Einzelbaumproben

#### 4.5 Das Lawinenergebnis von 2858/57 cal BC im Jahrringbild ausgewählter Einzelbaumkurven der SM 3200 cal BC

Nach Furrer/Holzhauser (S. 117) vermitteln uns dendroklimatische Analysen an subfossilen Bäumen „einen Eindruck der Sommertemperaturen von Juli bis September über längere Abschnitte des Postglazials.“ Demzufolge können die klimatischen Verhältnisse der Wachstumsperioden um den Zeitpunkt des Lawinenergebnisses mit Hilfe der Jahrringbreitenkurven der datierten Hölzer visualisiert werden.

Die in Abb. 5 dargestellten Jahrringserien des Lawinenschadholzes SSM 65 und des unbeschadeten Baumes SSM 5 zeigen für den Zeitraum von 60 Jahren um das Lawinenergebnis von 2858/57 cal BC beste Wachstumsbedingungen mit einer durchschnittlichen Jahrringbreite von ca. 1,0 mm an (vgl. Pindur, S. 91). Aus diesem Grunde kann ein Klimasturz als Ursache für das gehäufte Absterben der Bäume um diesen Zeitpunkt dezidiert ausgeschlossen werden.

#### 4.6 Vergleich der Zirben-Standortmittelkurve SM 3200 cal BC mit einer Lärchen-Standortmittelkurve aus dem Waldgrenzbereich der Westalpen

Die Zirben-Standortmittelkurve SM 3200 cal BC aus den Zillertaler Alpen wurde der Lärchen-Standortmittelkurve HB 5, die von Bircher und Renner in den Westalpen erarbeitet wurde, gegenübergestellt.

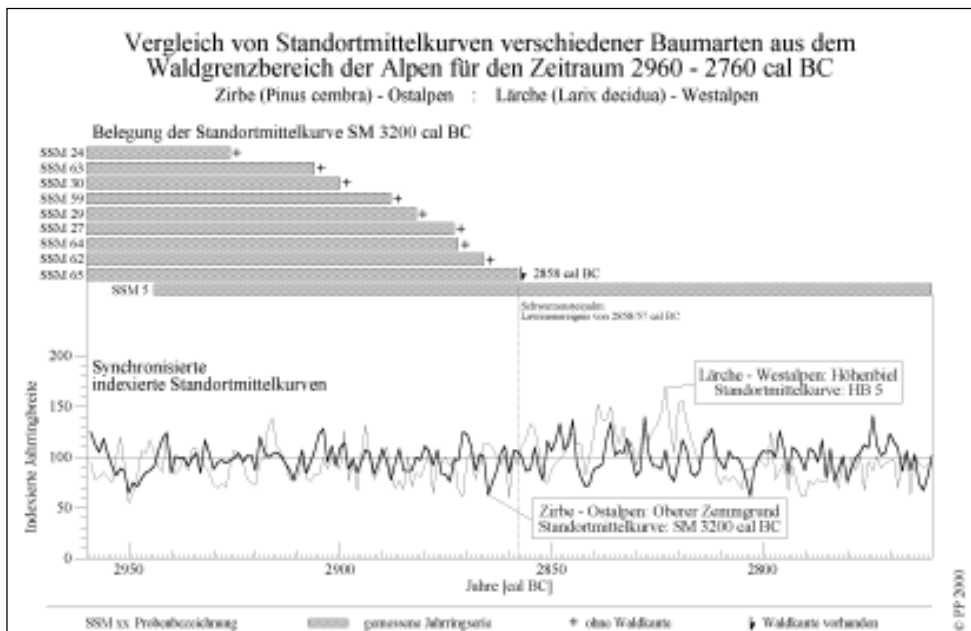


Abb. 6: Vergleich einer Zirben-Standortmittelkurve aus den Zillertaler Alpen (Tirol) mit einer Lärchen-Standortmittelkurve aus dem Gotthardgebiet (Uri) (Renner)

	Ostalpen	Westalpen
Lokalität	Schwarzensteinmoor Oberer Zemmgrund - Tirol (A)	Höhenbiel Witenwasserental - Uri (CH)
Standorthöhe	2150 m (Waldgrenzbereich)	1970 m (Waldgrenzbereich)
Hygrische Kontinentalität	45 - 50 °	~ 45 °
Baumart	Zirbe ( <i>Pinus cembra</i> )	Lärche ( <i>Larix decidua</i> )
Standortmittelkurve	SM 3200 cal BC	HB 5
Reihenlänge	3240 - 2560 cal BC	4180 - 3500 BP
Überlappungszeitraum	400 Jahre (2959 - 2560 cal BC bzw. 4180 - 3781 BP)	
CDI (CrossDateIndex)	162	
Gleichläufigkeit	64 %	
t-Wert (Baillie & Pilcher)	5,8	
t-Wert (Hollstein)	5,3	

Tab. 1: Statistische Parameter der synchronisierten Standortmittelkurven aus dem Waldgrenzbereich der Ostalpen (Zirbe, Oberer Zemmgrund) und der Westalpen (Lärche, Höhenbiel) für den Zeitraum 2959-2560 cal BC (Renner)

Die subfossilen Hölzer der *HB 5* entstammen ebenfalls einem im Waldgrenzbereich gelegenen Moor. Der etwa 250 km Luftlinie entfernte Standort „Höhenbiel“ liegt im Witenwasserental, einem Seitental des Urseren, auf der Nordabdachung des Gotthardgebietes. Da sich das Witenwasserental im Alpennordstau befindet kann mit ähnlichen Niederschlagsverhältnissen wie in den Zillertaler Alpen gerechnet werden.

Obwohl die Standortmittelkurve *HB 5* im dargestellten Zeitraum von 200 Jahren nur mit zwei bzw. drei Jahrringserien belegt ist zeigen beide Kurven, bis zum Zeitpunkt des Lawinereignisses im Oberen Zemmgrund, eine ausgezeichnete Übereinstimmung. Ab 2858 cal BC weichen die Kurven durch die schwache Belegung der *SM 3200 cal BC* stärker ab. Trotzdem ist eine eindeutige visuelle Synchronisierung möglich, wie insbesondere die Zeitabschnitte um 2950, 2900, 2820 und 2765 cal BC zeigen (vgl. Abb. 6). Die Synchronlage beider Kurven wird zudem durch gute statistische Parameter bestätigt (vgl. Tab. 1).

Insgesamt zeigten die Kurven bei einer Überlappung von 400 Jahren, trotz unterschiedlicher Baumart, eine hohe Gleichläufigkeit bezüglich des Änderungstrends der Jahrringbreiten von 64 %. Lediglich in der Amplitude sind größere Divergenzen infolge der schwachen Belegung und der großen räumlichen Distanz festzustellen. Dieses Ergebnis bestätigt das überregional klimagesteuerte Wachstum im alpinen Waldgrenzbereich.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Naturereignisse, die das Jahrringwachstum von Bäumen beeinflussen, können mit Hilfe der Dendrochronologie über lange Zeitreihen mit jahresscharfer zeitlicher Auflö-

sung erfasst werden. Im alpinen Waldgrenzbereich wirkt vor allem der Wärmemangel der Vegetationsperiode wachstumslimitierend, die schwankenden Temperaturverhältnisse des Sommerhalbjahres zeichnen sich daher im Jahrringbild der Bäume von hoch gelegenen Standorten deutlich ab. Hochlagenbäume stellen deshalb ein hervorragendes klimageschichtliches Archiv dar.

Für den Nahbereich des Schwarzensteinmoores (2150 m) konnte durch die Analyse des rezenten Zirbenwaldbestandes eine klimatisch bedingte Waldfreiheit für den Höhepunkt der neuzeitlichen Klimadepression in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts nachgewiesen werden. Heute liegt die aktuelle Baumgrenze auf etwa 2250 m. Das Moor befindet sich somit im Bereich der holozänen Waldgrenzschwankungen. Obwohl die potentielle Waldgrenze seit etwa 1820 im Oberen Zemmgrund um mindestens 100 bis 150 m anstieg, konnte sich im letzten Jahrhundert kein geschlossener Waldbestand im Umfeld des Moores entwickeln. Die Ursachen dafür findet man zum einen in der morphologischen Situation und zum anderen in den Winterniederschlagsverhältnissen, die zu häufigen Lawinenereignissen führten und dadurch den Zirbenjungwuchs kontinuierlich vernichtet haben.

Von den 95 geborgenen subfossilen Moorhölzern, die alle als Zirben (*Pinus cembra* L.) identifiziert wurden, konnten 56 Proben datiert werden. Die Stämme weisen, trotz durchwegs oberflächennaher Lage, eine zeitliche Streuung von 7000 v. Chr. bis 800 n. Chr. auf. Die Auswertung der Wachstumszeiträume brachte den Nachweis einer fast durchgehend hochgelegenen Baum- bzw. Waldgrenze von 4900 – 1750 v. Chr. und von 600 v. Chr. – 800 n. Chr. Für die Zeiträume von 1750 – 600 v. Chr. und von 800 n. Chr. bis heute konnte hingegen kein einziges Moorholz datiert werden. Diese „baumlose“ Zeit im Nahbereich des untersuchten Moores ist sowohl auf Klimadepressionen als auch auf den nachgewiesenen Eingriff des Menschen im Untersuchungsgebiet seit der mittleren Bronzezeit zurückzuführen.

Neben dem Waldbestandsnachweis konnten vier prähistorische Lawinenereignisse im Bereich der Schwarzensteinalm festgestellt werden. Diese ereigneten sich um 3800, 2850 und im zweiten Jahrhundert v. Chr. Der jüngste und absolut datierte Lawinenabgang fand im Winter 505/506 n. Chr. statt. Die Lawinenereignisse weisen allesamt eine Wiederkehrdauer von 200 – 400 Jahre auf. Damit eröffnet sich erstmals die Möglichkeit, quantitative Niederschlagsabschätzungen für diese Zeiträume durchzuführen (vgl. Luzian/Pindur, S. 91).

Der Vergleich der Zirben-Standortmittelkurven aus dem Oberen Zemmgrund mit Lärchen-Standortmittelkurven aus dem 250 km Luftlinie entfernten Standort Höhenbiel in den Westalpen bestätigt eindrucksvoll, dass Jahrringbreitenkurven von unterschiedlichen Baumarten aus dem alpinen Waldgrenzbereich auch für prähistorische Zeiträume über große räumliche Distanzen miteinander synchronisierbar sind.

Abschließend ist noch anzumerken, dass im Sommer 2000 weitere 43 Proben dem Schwarzensteinmoor unter dem Blickwinkel der prähistorischen Lawinenerfassung entnommen wurden.

## 6 Literatur

- Bronk Ramsey, C. (1995): Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. – In: Radiocarbon 37, 2, S. 425 – 430, Tucson, Arizona.
- Deutscher Alpenverein (Hg.) (1999/00): Alpenvereinskarte - Zillertaler Alpen 1 : 25.000, 35/1: West (1999); 35/2: Mitte (2000), München.
- Fliri, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols 1, Innsbruck.
- Furrer, G. u. H. Holzhauser (1984): Gletscher- und klimageschichtliche Auswertung fossiler Hölzer. – In: Zeitschrift für Geomorphologie N.E., Suppl. Bd. 50, S. 117 – 136, Berlin/Stuttgart.
- Gams, H. (1931/32): Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. – In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 9/10, S. 321 – 346 (1931); 1/2, S. 52 – 68 (1932); 5/6, S. 178 – 198 (1932).
- Heuberger, H. (1977): Gletscher- und klimageschichtliche Untersuchungen im Zemmgrund. – In: Alpenvereinsjahrbuch 102, S. 39 – 50, München/Innsbruck.
- Hoinkes, H., Lässer, A. u. G. Patzelt (1975): Die Vergletscherung der Zillertaler Alpen, ihre Veränderungen und ihr Einfluss auf die Hydrologie. – In: Land Tirol (Hg.): Hochwasser- und Lawinenschutz in Tirol, S. 321 – 334, Innsbruck.
- Hüttemann, H. u. S. Bortenschlager (1987): Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols VI: Riesengebirge, Hohe Tatra - Zillertal, Kühltai. Ein Vergleich der postglazialen Vegetationsentwicklung und Waldgrenzschwankungen. – In: Berichte des Naturwiss.-Medizin. Vereins in Innsbruck 74, S. 81 – 112.
- lammerer, B. (1986): Das Autochthon im westlichen Tauernfenster. – In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 129, 1, S. 51 – 67, Wien.
- Luzian, R. u. P. Pindur (2000): Klimageschichtliche Forschung und Lawinengeschehen. – In: Wildbach- und Lawinerverbau 64, 142, S. 85 – 92, Villach.
- Mayer, H. (1974): Wälder des Ostalpenraumes. Standort, Aufbau und waldbauliche Bedeutung der wichtigsten Waldgesellschaften in den Ostalpen samt Vorland. Ökologie der Wälder und Landschaften 3, Stuttgart.
- Müller, H.-N. (1980): Jahrringwachstum und Klimafaktoren. Angewandte Pflanzensoziologie. Veröffentlichungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 25, Wien.
- Nicolussi, K. u. G. Lumassegger (1998): Tree-ring growth of *Pinus cembra* at the timberline in the central Eastern Alps: preliminary results. – In: Institut für Hochgebirgsforschung (Hg.): Jahresbericht 1997, S. 48 – 53, Innsbruck.
- Nicolussi, K., Lumassegger, G., Patzelt, G., Pindur, P. u. P. Schiessling (2001): Aufbau einer holozänen Hochlagen-Jahring-Chronologie für die zentralen Ostalpen: Erste Ergebnisse. – In: Institut für Hochgebirgsforschung (Hg.): Jahresbericht 1999, Innsbruck (im Druck).
- Patzelt, G. (1999): „Global warming“ - im Lichte der Klimageschichte. – In: Löffler, H. u. E.W. Streissler (Hg.): Sozialpolitik und Ökologieprobleme der Zukunft, S. 395 – 406, Wien.
- Pindur, P. (2000): Dendrochronologische Untersuchungen im Oberem Zemmgrund, Zillertaler Alpen. Eine Analyse rezenter Zirben (*Pinus cembra* L.) und subfossiler Moorhölzer aus dem Waldgrenzbereich und deren klimageschichtliche Interpretation. Diplomarbeit, 122 Bl., Innsbruck.
- Renner, F. (1982): Beiträge zur Gletschergeschichte des Gotthardgebietes und dendroklimatische Analysen an fossilen Hölzern. Physische Geographie 8, Zürich.
- Rinn, F. (1996): TSAP Version 3.0. Reference Manual. Heidelberg.
- Schrank, F.v.P. u. K.E.R.v. Moll (Hg.) (1785): Naturhistorische Briefe über Oesterreich, Salzburg, Passau und Berchtesgaden, Band 1. Salzburg.
- Schweingruber, F.H. (1983): Der Jahring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern.
- Stolz, O. (1930): Die Schwaighöfe in Tirol. Ein Beitrag zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte der Hochalpentäler. Wissenschaftliche Veröffentl. des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins 5, Innsbruck.
- Tranquillini, W. (1979): Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps. Ecological Studies. Analysis and Synthesis 31, Berlin.
- Weirich, J. u. S. Bortenschlager (1980): Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols III: Stubai-er Alpen - Zillertaler Alpen. – In: Berichte des Naturwiss.-Medizin. Vereins in Innsbruck 67, S. 7 – 30.

---

Besonderer Dank gilt Mag. P. Schiessling für die freundliche Hilfestellung bei der Bergung des Probenmaterials, Dr. K. Nicolussi für die fachliche Beratung, und dem Institut für Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- und Forstwirtschaft für die zur Verfügung gestellte technische Ausrüstung. Finanzielle Unterstützung kam vom österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF - Projekt: P 13065-GEO).