

DER NACHWEIS VON PRÄHISTORISCHEN LAWINENEREIGNISSEN IM OBEREN ZEMMGRUND, ZILLERTALER ALPEN¹⁾

Peter PINDUR, Innsbruck*

mit 10 Abb. im Text

INHALT

<i>Abstract</i>	193
<i>Zusammenfassung</i>	194
1. Einleitung	195
2. Untersuchungsgebiet	197
3. Methodik	199
4. Ergebnisse und Diskussion	201
5. Literaturverzeichnis	211

Abstract

Evidence of prehistoric avalanche events in the 'Oberen Zemmgrund', Zillertal Alps (Austria)

The exact year natural phenomena having an effect on tree-ring growth occurred can be fixed over long periods of time by means of dendrochronology. In the Alpine timberline area, especially a lack of warmth in the vegetation period decreases the growth rate. The tree-rings of trees at high altitudes therefore clearly show the temperature variations of the summers. Trees at high-altitude locations thus are to be considered outstanding paleoclimatical archives.

1) Die dargestellten Ausführungen entstammen der am Institut für Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- und Forstwirtschaft durchgeführten und von Univ.-Prof. Dr. G. PATZELT betreuten Diplomarbeit: Dendrochronologische Untersuchungen im Oberen Zemmgrund, Zillertaler Alpen – Eine Analyse rezenter Zirben (*Pinus cembra* L.) und subfossiler Moorhölzer aus dem Waldgrenzbeich und deren klimageschichtliche Interpretation. Innsbruck 2000, 122 S.

* Ing. Mag. Peter PINDUR, Institut für Stadt- und Regionalforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, c/o Institut für Geographie der Universität Innsbruck, A-6020 Innsbruck, Innrain 52; e-mail: peter.pindur@uibk.ac.at; <http://www.oeaw.ac.at/isr/mitgliederseiten/pindur.htm>

The "Schwarzensteinmoor" (2150m a.s.l.) is situated in the area of holocene timberline variations. Although the potential timberline has, for more than 100 years, been definitely lying above the moor level (actual tree-line: 2250m a.s.l.), no dense forest land could develop in the surroundings of the moor so far. The reasons for this are both the morphological situation of the "Schwarzensteinalm" as well as the precipitation conditions during the winters of the 20th century, which led to frequent avalanche incidents which kept destroying the growth of young trees.

*Out of 95 gathered subfossil moor tree-trunks, all identified as stone pines (*Pinus cembra* L.), 56 could be dated. Even though they were located, without exception, near the surface, the logs show a temporal dispersion from 7000 BC to 800 AD. The evaluation of the growth periods proved an almost continuously high-altitude timberline and tree-line from 4900 to 1750 BC and from 600 BC to 800 AD.*

Through comparative analysis of the individual tree samples' growth periods and their spatial spreading in the moor area up to now, four prehistoric avalanche events could be recorded. Those occurred in 3800, 2850 and in the second century BC respectively, while the most recent and exactly dated avalanche events occurred in the winter of 505/506 AD. Dendrochronological analysis of the tree-ring series proved that the trees had good growth conditions. The high age of some of the avalanche-damaged woods, which ranges from 200 to 400 years, shows that disastrous avalanches – during the periods of observation – occurred at long intervals of time.

Zusammenfassung

Naturereignisse, die das Jahrringwachstum von Bäumen beeinflussen, können mit Hilfe der Dendrochronologie über lange Zeitreihen mit jahresscharfer zeitlicher Auflösung erfasst werden. Im alpinen Waldgrenzbereich wirkt vor allem Wärmemangel in der Vegetationsperiode wachstumslimitierend. Die schwankenden Temperaturverhältnisse des Sommerhalbjahres zeichnen sich daher im Jahrringbild der Bäume an hoch gelegenen Standorten deutlich ab. Hochlagenbäume stellen somit ein hervorragendes klimageschichtliches Archiv dar.

Das Schwarzensteinmoor (2.150 m) befindet sich im Bereich der holozänen Waldgrenzschwankungen. Obwohl die potentielle Waldgrenze seit mehr als 100 Jahren eindeutig über dem Moorniveau liegt (aktuelle Baumgrenze: 2.250 m), konnte sich bis heute im Moorumfeld kein geschlossener Waldbestand entwickeln. Die Ursachen dafür liegen zum einen in der morphologischen Situation der Schwarzensteinalm und zum anderen in den Winterniederschlagsverhältnissen des 20. Jahrhunderts, die zu häufigen Lawinereignissen führten und dadurch der Zirbenjungwuchs kontinuierlich vernicht wurde.

*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 erbrachte den Nachweis einer fast durchgehend hochgelegenen Baum- bzw. Waldgrenze von 4900 bis 1750 v. Chr. und von 600 v. Chr. bis 800 n. Chr.

Durch die Analyse der Wachstumszeiträume der Einzelbaumproben und deren räumlichen Verteilung im Moorbereich konnten bisher vier prähistorische Lawineneignisse festgestellt werden. Diese ereigneten sich um 3800, 2850 und im 2. Jahrhundert v. Chr. Der jüngste und absolut datierte Lawinenabgang fand im Winter 505/506 n. Chr. statt (PATZELT 1995). Die dendrochronologische Untersuchung der Jahrringserien erbrachte den Nachweis, dass die Bäume jeweils aus guten Wachstumsbedingungen gerissen wurden. Das zum Teil hohe Lebensalter der Lawinenschadhölzer, das sich zwischen 200 und 400 Jahren bewegt, ist als Hinweis dafür zu werten, dass sich die Katastrophen-Lawinen – während der betrachteten Zeiträume – in großen zeitlichen Abständen ereignet haben.

Abschließend ist noch anzumerken, dass dem Schwarzensteinmoor im Sommer 2000 zusätzlich 43 Stammscheiben entnommen wurden, um das prähistorische Lawinengeschehen weiter zu untersuchen. Zudem konnte zwischenzeitlich das relativ datierte Lawineneignis aus dem zweiten vorchristlichen Jahrhundert (130 cal BC) in das Winterhalbjahr 168/167 v. Chr. absolut datiert werden.

1. Einleitung

Kenntnisse über die postglaziale Klimaentwicklung stellen eine wesentliche Grundlage für die Einschätzung der aktuellen klimatischen Situation dar. Um die gegenwärtigen Veränderungen ("global warming", etc.) verstehen und beurteilen zu können, bedarf es dabei möglichst eines Betrachtungszeitraumes der das gesamte Holozän umfasst. Damit sich das Netz an Grundlagendaten aus der Ver-



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

gangenheit weiter verdichtet, wurden im Oberen Zemmgrund, dem traditionellen Forschungsgebiet der Erdwissenschaften in den Zillertaler Alpen (vgl. Abb. 1), klimageschichtliche Untersuchungen an Zirben (*Pinus cembra* L.) mit den indirekten Klimazeigern "Waldgrenze" und "Jahrringbreite" durchgeführt. Dabei wurden elf Proben von rezenten Bäumen aus dem Gebiet der Schwarzensteinalm und 95 Proben von subfossilen Hölzern aus dem Schwarzensteinmoor entnommen und einer Jahrring-Analyse unterzogen. Ein Teilergebnis dieser Untersuchung, der Nachweis von prähistorischen Lawineneignissen, stellt einen Beitrag zur Naturgefahrenforschung im Raum von Tirol dar, da anhand der Darstellung von bereits stattgefundenen

Prozessen die aktuellen theoretischen Konzepte der Gefahrenzonenplanung, die im Schatten der Lawinenkatastrophen von Galtür und Valzur im Februar 1999 (HEUMADER 2000, HÖLLER & SCHAFFHAUSER 2001) an Aktualität gewonnen haben, verifiziert werden können (EMBLETON-HAMANN 1997, FLIRI 1998, STÖTTER et al. 1999, NEUNER 2000).

Problemstellung und Zielsetzung

Bei der Lokalität "Schwarzensteinmoor" (PINDUR 2000) handelt es sich um einen großflächig vernässten Bereich, in dem viele oberflächennah eingebettete Baumstämme erhalten und leicht zugänglich sind. Im Umfeld des Moores existiert heute kein geschlossener Wald, es sind lediglich einzelne, weit gestreute und offensichtlich junge Zirben vorhanden (vgl. Abb. 2). 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 im aktuellen Waldgrenzbereich befindet und wahrscheinlich im klimabedingten Schwankungsbereich der postglazialen Waldgrenze liegt, ist anzunehmen, dass es sich bei den Moorhölzern um Zeugen aus vergangenen Klimagunstphasen handelt (HOLTMEIER 1993).

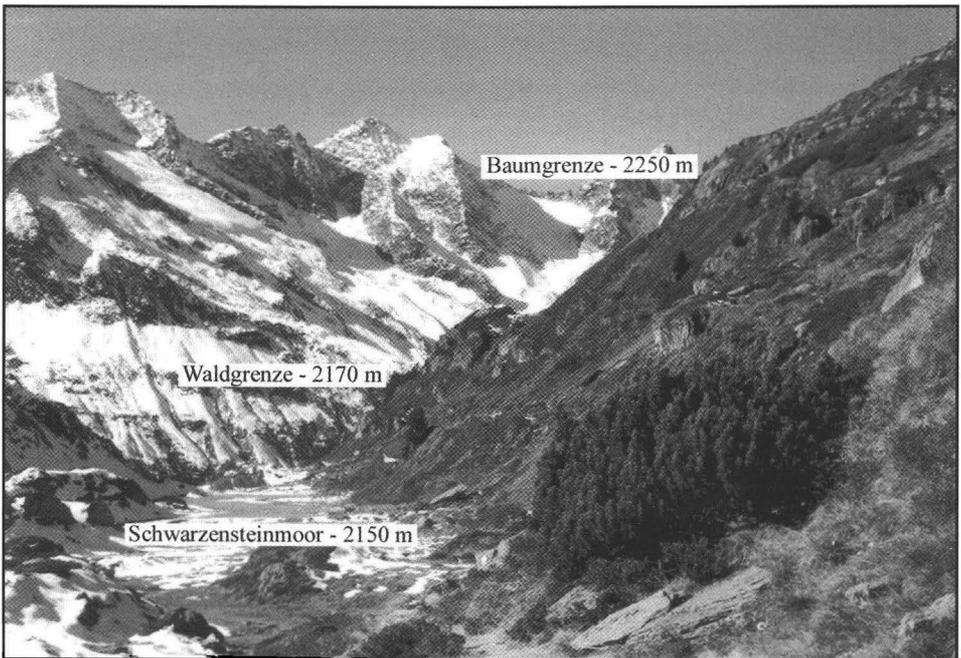


Abb. 2: Das Schwarzensteinmoor und der darüber liegende Waldgrenzbereich der Schwarzensteinalm. Blick nach Westen, im Hintergrund der Greinerkamm (Foto: PINDUR, Oktober 1999)

Im Zuge der durchgeführten Untersuchung ergaben sich dabei folgende Fragestellungen:

- Baumart, Alter und Wachstumszeitraum der Moorbölder?
- Gelingt es mit Hilfe der Stammfunde postglaziale Warmphasen zeitlich zu belegen?
- 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 Jahrring-Analyse zu erfassen bzw. zu rekonstruieren?

Stand der Forschung

Bei der vorliegenden Untersuchung wurde die Dendrochronologie erstmals als Arbeitsmethode im Oberen Zemmgrund eingesetzt. Studien zur Klimageschichte erfolgten im Untersuchungsgebiet bereits mehrfach. Dabei ist die Vegetationsgeschichte durch die palynologischen Dissertationen von WEIRICH & BORTENSCHLAGER (1980) und HÜTTEMANN & BORTENSCHLAGER (1987) erschlossen. Die Gletschergeschichte, insbesondere die Ergebnisse der umfangreichen Arbeiten von HEUBERGER (1977) aus den 1970er Jahren stehen leider nicht zur Verfügung bzw. sind unzureichend publiziert.

Dendrochronologische Untersuchungen über die Auswirkungen von Lawinenereignissen auf das Jahrringbild von Bäumen führten unter anderem POTTER (1969), CARRARA (1979), BUTLER & MALANSON (1985) in den USA und WAHL (1996) in der Schweiz durch. ALESTALO (1971), FRITTS (1976), SHRODER (1980), FRAZER (1985), BRYANT, BUTLER & VITEK (1989), HANSEN-BRISTOW & BIRKELAND (1989), STRUNK (1995) und IKEDA, NITTA & SEKINO (2000) beschäftigten sich ebenfalls mit Lawinenereignissen bzw. mit dendrogeomorphologischen Prozessen. Informationen über die Erfassung bzw. Datierung von prähistorischen Lawinenereignissen liegen dem Verfasser hingegen nicht vor.

2. Untersuchungsgebiet

Der Obere Zemmgrund, ein erweiterter und von drei großen Gletschern dominierter Talschluss, liegt in den Zillertaler Alpen auf der Nordabdachung des Alpenhauptkamms. Die untersuchte Lokalität, das Schwarzensteinmoor (47°01'40"N, 11°49'00"O), befindet sich am südexponierten Hang der Schwarzensteinalm oberhalb der Berliner Hütte auf 2.150 m ü.d.M. (vgl. Abb. 3, DEUTSCHER ALPENVEREIN 1999/00).

Die geologischen Verhältnisse des westlichen Tauernfensters, insbesondere die parallel zum Hauptkamm verlaufende Streichrichtung der Greiner Schieferserie (LAMMERER 1986), stellen die Grundlage für die im Pleistozän erfolgte Modellierung der Schwarzensteinalm dar. Dabei wurde die bis zu 30 m hohe Rückfallkuppe mit den übertieften Hohlformen geschaffen, in denen sich das Schwarzensteinmoor entwickeln konnte.

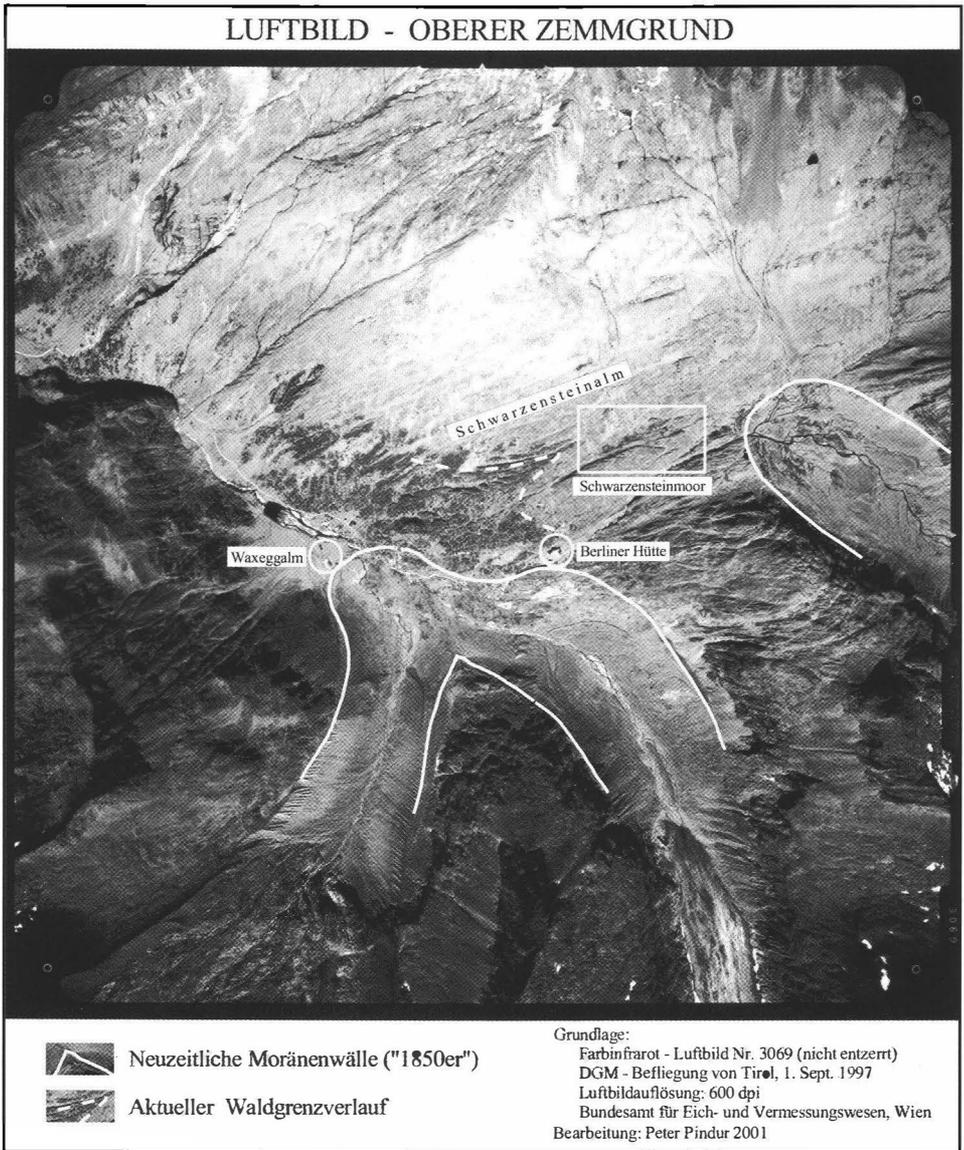


Abb. 3: Das Untersuchungsgebiet im Infrarot – Luftbild vom 1.9.1997 (BEV 1997, modifiziert)

Die durch Nordstaulagen gekennzeichneten Zillertaler Alpen präsentieren sich wesentlich niederschlagsreicher als die westlich des Brenners gelegenen Zentralalpen (FLIRI 1975). Im Oberen Zemmgrund muss jedoch aufgrund der kreisförmigen, ca. 270° umfassenden Kammumrahmung mit einer lokalen Klimagunst gerechnet werden. Dies gilt insbesondere für den südexponierten und durch den Ochsner (3.107 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 1931/32) von 45-50° zu erwarten.

Das kristalline Substrat bildet relativ saure Böden als Basis für die Vegetation, die durch die subalpine und alpine Höhenstufe geprägt wird. Nach MAYER (1974) erstreckt sich die hochsubalpine Stufe, in welcher der Lärchen-Zirbenwald (*Larici-Cembretum*) die Waldkrone der zentralen Ostalpen dominiert, im hinteren Zillertal von 1.800-2.200 m. Durch die natürliche Sukzession dieser Waldgesellschaft bildet heute die Zirbe (*Pinus cembra* L.) 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. Abb. 3, SCHIECHTL & STERN 1983).

Mit Hilfe von pollenanalytischen Untersuchungen im Bereich der Waxeggalm (1.871 m) konnten die frühesten Spuren menschlicher Aktivitäten mit dem erstmaligen Auftreten von Kulturzeigern um 3200 BP in der mittleren Bronzezeit datiert werden. Die Pollenprofile zeigen überdies eine Nutzungskontinuität an, die, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, bis heute andauert (WEIRICH & BORTENSCHLAGER 1980, HÜTTEMANN & BORTENSCHLAGER 1987).

Obwohl die erste urkundliche Erwähnung der im Oberen Zemmgrund gelegenen Almen – Schwarzenstein und Waxegg – nach STOLZ (1930) bereits im Urbar des Erzstiftes Salzburg aus dem Jahre 1607 erfolgte, sind bis heute keine schriftlichen Aufzeichnungen über Lawinenereignisse im Gebiet der Schwarzensteinalm bekannt.

3. Methodik

3.1 Feldarbeit

Die Probenentnahme für die dendrochronologische Analyse (SCHWEINGRUBER 1983) erfolgte während mehrerer Geländeaufenthalte im Sommer 1999. An den rezenten Zirben im Bereich der Schwarzensteinalm wurden Bohrkerne mit einem händischen Zuwachsbohrer gezogen. Die Stämme aus dem Schwarzensteinmoor mussten, wenn diese nicht oberflächennah lagen und dadurch sichtbar waren, zuerst sondiert und mit der Schaufel freigelegt werden. Anschließend konnten die erforderlichen, ca. 10 cm dicken Stammscheiben unter Zuhilfenahme einer Motorsäge entnommen werden.

Um eine Antwort auf die eingangs gestellte Frage nach der Art des Holzeintrages zu bekommen bzw. um mögliche Zusammenhänge zwischen den Wachstumszeiträumen der Bäume und deren Verteilung im Raum herstellen zu können, bedurfte es neben der Datierung der Hölzer auch einer exakten Lagebeschreibung jedes einzelnen Stammes. Dazu wurde das Schwarzensteinmoor in seine natürlichen Teilbereiche (A - G) gegliedert und der über 300 m lange "Hauptmoorbereich" B in weitere 20 Segmente (B10 - B29) unterteilt (vgl. Abb. 4). Neben der Position der Stämme im angelegten Gitternetz wurde deren Orientierung und Lagetiefe (Stamm-Unterkante) festgehalten (PINDUR 2000, S. 67).

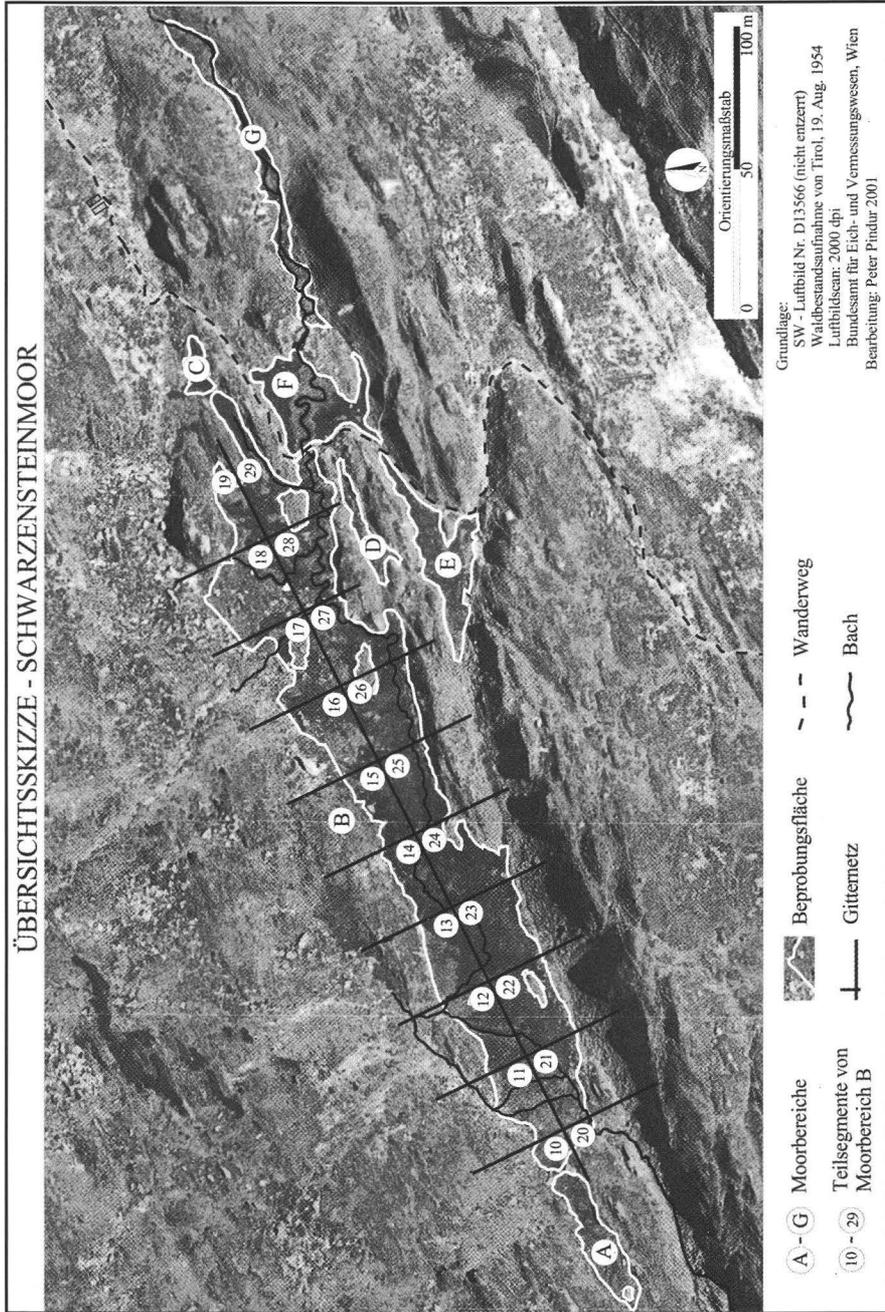


Abb. 4: Das Schwarzensteinmoor im SW – Luftbild vom 1.8.1954 (BEV 1954, modifiziert)

3.2 Laborarbeit

Im dendrochronologischen Labor des Instituts für Hochgebirgsforschung und Alpenländische Land- und Forstwirtschaft an der Universität Innsbruck wurde das Probenmaterial vermessen und die erzeugten Jahrringserien mit Hilfe der Software *TSAP 3.5* (RINN 1996) weiterverarbeitet.

Die dendrochronologische Datierung der Baumproben erfolgte unter Verwendung der im Entstehen befindlichen Hochlagen-Jahrring-Chronologie für den zentralen Ostalpenraum. Diese umfasst derzeit die letzten 2000 Jahre und ermöglicht absolute und jahresscharfe Datierungen für diesen Zeitraum. Für den Abschnitt vor der Zeitenwende standen mehrere "schwimmende", d.h. nicht absolut datierte, sondern mittels ^{14}C -Datierung in die Zeitskala eingeordnete Chronologien zur Verfügung (NICOLUSSI et al. 2001).

Von den nicht eindeutig datierten Hölzern wurden 15 Proben ausgewählt und deren Alter nach der konventionellen ^{14}C -Methode am Centrum voor Isotopen Onderzoek der Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen an der Rijksuniversität Groningen in den Niederlanden bestimmt (vgl. Abb. 7). Die Umrechnung der ^{14}C -Daten [BP] in kalibrierte Kalenderjahre [cal BC/AD] mit einem Zufallsstreuungsbereich von 68% (einfache Standardabweichung, 1σ) erfolgte mit der Software *OxCal 3.4* (BRONK RAMSEY 1995). Da für eine graphische Darstellung der Datierungsergebnisse in chronologischer Form ein eindeutiger Zahlenwert benötigt wird, wurde aus dem ermittelten 1σ -Streuungsbereich und der entnommenen Jahrringsequenz durch arithmetische Mittelbildung ein, wenn auch nur für diese Arbeit geltendes, eindeutiges Datierungsergebnis berechnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Aktuelle und potentielle Waldgrenze

Der Waldgrenzbereich auf dem Hang der Schwarzensteinalm erstreckt sich heute vom geschlossenen Altbaumbestand bei 2.170 m (aktuelle Waldgrenze) bis zu einer Baumgrenze auf etwa 2.250 m (potentielle Waldgrenze). Das Waldgrenzökoton ist durch Zirbenjungwuchs und einzelne, relativ kleine Bäume, die ausschließlich im Schutz von Geländekanten in größere Höhen steigen, gekennzeichnet. Auf dem freien Almgelände vermag sich kein geschlossener Jungwald auszubilden, hier dominiert die Legföhre (*Pinus mugo*). Obwohl der geschlossene Waldbestand etwa 150 m westlich (talwärts) vor dem Schwarzensteinmoor endet, liegt heute der gesamte Moorbereich im potentiellen Zirbenwuchsgebiet (vgl. Abb. 2, Abb. 3).

Da es sich beim Hang oberhalb des Schwarzensteinmoores, aufgrund der Neigung von rund 30° , um ein potentielles Lawinenanbruchgebiet handelt (LAND TIROL 2000), ist der beinahe baumlose Waldgrenzbereich mit großer Wahrscheinlichkeit nicht anthropogen beeinflusst. Abbildung 5 verdeutlicht die Geländesituation des untersuchten Bereichs der Schwarzensteinalm und zeigt, dass es sich beim Moor um

ein "Auffangbecken" für alle abgehenden Lawinen handelt. Der aufkommende Jungwuchs wird von kurzfristig wiederkehrenden Lawinenereignissen zerstört. Dies bezeugt ein Lawinenschadholz aus dem bekannten Katastrophenwinter 1998/99, das während der Feldarbeiten an der Mooroberfläche liegend aufgefunden wurde. Es handelte sich dabei um einen Zirbenjungwuchs (Probebezeichnung: SSM 41) mit 33 gezählten Jahrringen.

4.2 Waldgrenzentwicklung seit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts

Aus der Alters- und Höhenverteilung der beprobten Bäume im Nahbereich des Schwarzensteinmoores kann geschlossen werden, dass der Waldgrenzverlauf während der Temperaturdepression und Gletscherhochstandsphase in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts unter das Moorniveau von 2.150 m abgesunken war und somit eine weitgehend klimatisch bedingte Entwaldung des Moorumsfelds erfolgte (SCHRANK & MOLL 1785, S. 86). Mit dem Überschreiten des Höhepunkts der Periode ungünstiger Sommertemperaturen um 1820 stieg die potentielle Waldgrenze, dem allgemeinen Klimatrend folgend, im Oberen Zemmgrund um mindestens 100 bis 150 m an. Sie erreichte in den 1960er Jahren, als das Wachstum der höchstgelegenen beobachteten Zirben einsetzte, die aktuelle Baumgrenze auf 2.250 m.

Daraus lässt sich folgern, dass es bei allen postglazialen Klimadepressionen, die eine Sommertemperaturabsenkung in ähnlicher Größenordnung wie im 19. Jahrhundert zu verzeichnen hatten (PATZELT 2000, S. 122), zu einer Waldgrenzabsenkung unter das Moorniveau gekommen sein dürfte. Demzufolge können die Moorhölzer nur aus Klimagunstphasen stammen. Für Moorholzfunde mit großen Jahrringzahlen kann weiters angenommen werden, dass zum einen diese 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 Moorhölzer dar. Von den 95 entnommenen Stammscheiben, die ausnahmslos als Zirben (*Pinus*

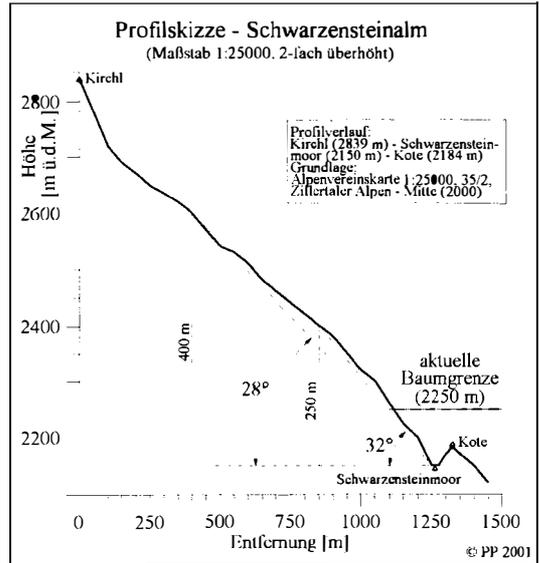


Abb. 5: Profilskizze der Schwarzensteinalm

cembra L.) identifiziert wurden, konnten 41 Proben mit Hilfe der Dendrochronologie und weitere 15 mittels ¹⁴C-Datierung altersmäßig bestimmt werden. Die Jahringbreitenkurven der Einzelbäume wurden untereinander synchronisiert und 15 Standortmittelkurven gebildet. Durch die chronologische Darstellung der Wachstumszeiträume war es möglich, ein weitgehend geschlossenes Bild der Waldverhältnisse im Moorumfeld für die letzten 9000 Jahre zu erhalten. Dabei weisen die Stämme trotz durchwegs oberflächennaher Lage eine zeitliche Streuung von 7000 v.Chr. bis 800 n.Chr. auf (vgl. Abb. 6).

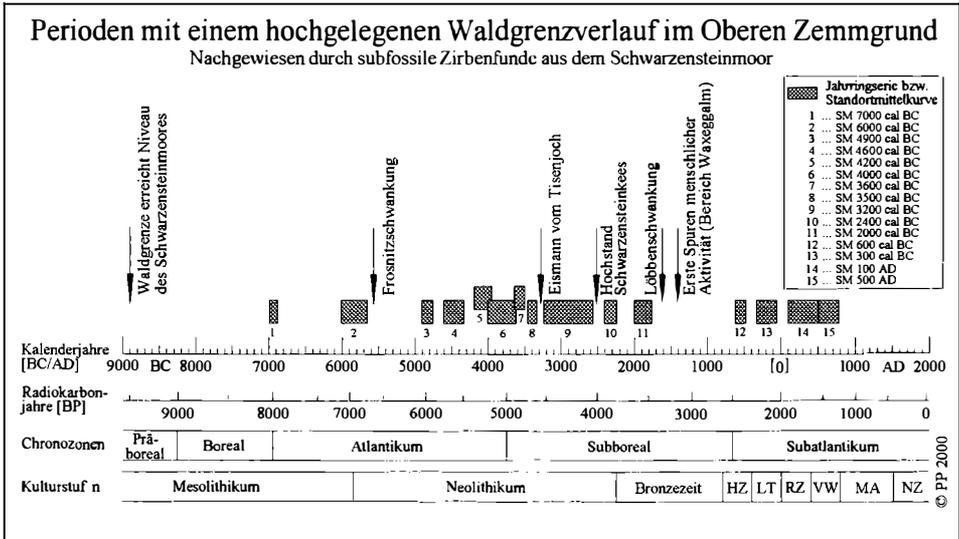


Abb. 6: Nachweis einer hochgelegenen Waldgrenze im Oberen Zemmgrund durch subfossile Zirbenfunde aus dem Schwarzensteinmoor (PINDUR 2001)

Die Auswertung der Wachstumszeiträume brachte den Nachweis für eine fast durchgehend hochgelegene Baum- bzw. Waldgrenze von 4900 bis 1750 v.Chr. und von 600 v.Chr. bis 800 n.Chr. Für die Zeiträume von 1750 bis 600 v.Chr. und von 800 n.Chr. bis heute konnte hingegen kein einziges Moorholz datiert werden. Diese "baumlose" Zeit im Nahbereich des Schwarzensteinmoores ist sowohl auf Klimadepressionen als auch auf den nachgewiesenen Eingriff des Menschen im Untersuchungsgebiet seit der mittleren Bronzezeit zurückzuführen (HÜTTEMANN & BORTENSCHLAGER 1987).

4.4 Analyse der Wachstumszeiträume der synchronisierten Einzelbaumproben

Bei näherer Betrachtung der erzeugten Standortmittelkurven zeigte sich in vier Fällen ein plötzliches Absterben mehrerer relativ junger Bäume unterschiedlichen Lebensalters um einen bestimmten Zeitpunkt. In Anbetracht der Streuung des Proben-

materials von 8000 Jahren und dem bekannten Lawinenschadholz *SSM 41* ist dieser Sachverhalt als erster Anhaltspunkt dafür zu werten, dass sich unter den geborgenen Moorhölzern möglicherweise prähistorisches Lawinenschadholz befinden könnte.

In Abbildung 7 ist die zeitliche Verteilung der synchronisierten Einzelbaumproben der angesprochenen Standortmittelkurven (*SM 4000 cal BC*, *SM 3200 cal BC*, *SM 300 cal BC* und *SM 100 AD*) dargestellt. Für die postulierten Lawinenereignisse konnte der Ereigniszeitpunkt durch jeweils zumindest eine Stammscheibe mit erhaltener Waldkante – diese markiert eindeutig das Wachstumsende des Baumes – fixiert werden. Dabei handelt es sich um die relativ datierten Absterbezeitpunkte von 3777 cal BC, 2858 cal BC, 130 cal BC und um den absolut datierten von 505 n.Chr. Das letztgenannte und am besten abgesicherte "plötzliche Baumsterben" wird durch drei Stammfunde mit Waldkante belegt, wobei zwei von diesen Proben (*SSM 43*, *SSM 44*) mit erhaltener Rinde vorgefunden wurden.

Der weitgehende Mangel an Waldkanten bei den dargestellten Einzelbaumproben begründet sich im Umstand, dass jegliches Totholz dem natürlichen Abbau unterliegt und somit die Moorhölzer zum Teil nur mehr fragmentarisch erhalten geblieben sind. Trotzdem fehlen bei den Lawinenschadhölzern ohne Waldkante lediglich wenige Jahrringe (JR) zur einwandfreien Bestätigung der Absterbejahre (vgl. Abb. 7: z.B. *SSM 60*: 2 JR, *SSM 62*: 13 JR, *SSM 50*: 1 JR, *SSM 37*: 2 JR).

Ein weiteres Indiz zur Absicherung der prähistorischen Lawinenereignisse brachte die dendrochronologische Analyse der Ereignis-Jahrringe. Diese ergab für die untersuchten Stammscheiben den zweifelsfreien Nachweis ausgebildeter Spätholzzellen. Da diese erst am Ende der Vegetationsperiode, also im Spätsommer bzw. Herbst ausgebildet werden, kann der Absterbezeitpunkt der Bäume folglich nur im Winterhalbjahr liegen und die oben genannten Datierungsergebnisse verschieben sich somit in Richtung Jahreswechsel. Demnach kann sich zum Beispiel das jüngste festgestellte "plötzliche Baumsterben" nur im Winterhalbjahr 505/506 n.Chr. ereignet haben.

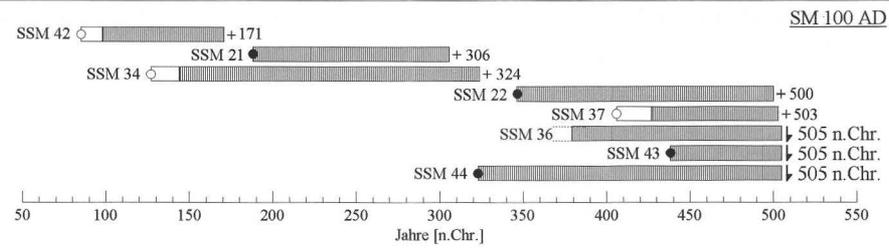
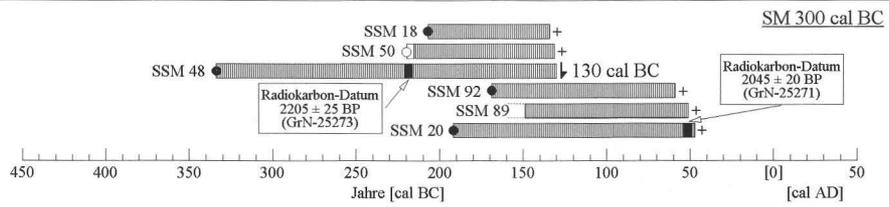
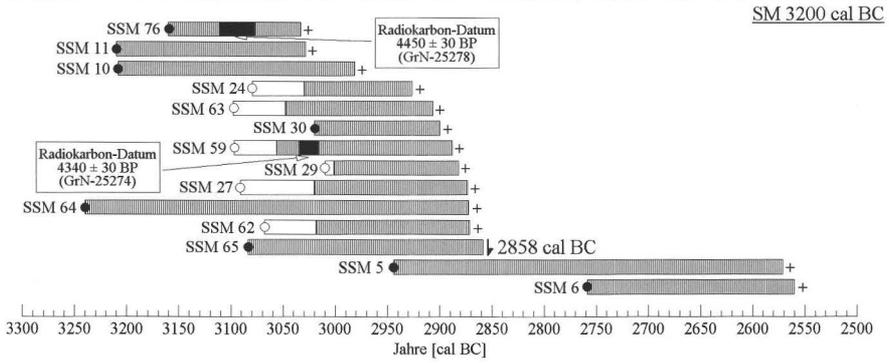
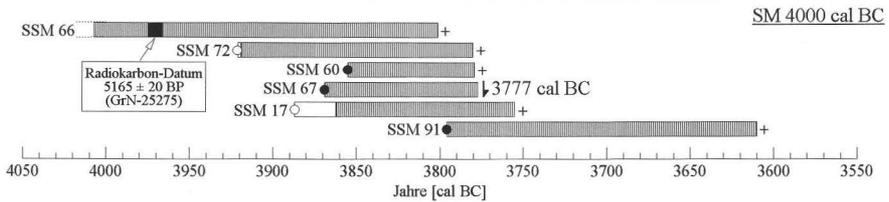
An dieser Stelle ist noch anzumerken, dass im Zuge der Untersuchung 16 Zirbenstämme mit erhaltener Waldkante geborgen wurden und diese ausnahmslos ausgebildete Spätholzzellen aufweisen. Ungeachtet der Tatsache, dass der Großteil dieser Proben wegen einer zu geringen Jahrringzahl dendrochronologisch nicht datiert bzw. synchronisiert werden konnte, erscheint ein verstärkter Holzeintrag in das Schwarzensteinmoor durch Lawinen gegeben.

Aus dem Lebensalter der ältesten Lawinenschadhölzer, das sich zwischen 182 (*SSM 44*) und 382 (*SSM 64*) gezählten Jahrringen bewegt, kann auf eine Wiederkehrdauer der prähistorischen Lawinenereignisse in der Größenordnung von 200 bis 400 Jahren – während der betrachteten Zeiträume – geschlossen werden.

Dieses Ergebnis zeigt, dass sich die Schadens-Lawinen auf dem Gebiet der Schwarzensteinalm in großen zeitlichen Abständen ereignet haben. Offenbar wurden die erforderlichen Schneemengen, die bei einem Lawinenabgang zu einer Zerstörung des Waldbestandes führten, selten erreicht. Daraus lässt sich ableiten, dass die Winterniederschlagsverhältnisse in den Zeiträumen, die den datierten Lawinenabgängen vorausgegangen sind, in keiner Weise jenen des 20. Jahrhunderts entsprechen können, da diese ein Aufkommen des Baum- bzw. Waldbestands am Hang

Wachstumszeiträume der synchronisierten Einzelbaumproben

Standortmittelkurven SM 4000 cal BC, SM 3200 cal BC, SM 300 cal BC, SM 100 AD



SSM xx Probenbezeichnung
 [hatched bar] gemessene Jahringserie
 [solid black bar] Radiokarbon-Probe
 [hatched bar with dot] Mark vorhanden
 [hatched bar with circle] Kernbereich rekonstruiert
 [dotted bar] Kernbereich unsicher
 [arrow pointing right] Waldkante vorhanden
 [plus sign] Waldkante fehlt

© PP 2001

Abb. 7: Wachstumszeiträume der synchronisierten Einzelbaumproben

oberhalb des Schwarzensteinmoores bis heute gänzlich verhindert haben (vgl. Abb. 2). Durch die Ermittlung der für die Zerstörung des Waldbestandes erforderlichen Schneemächtigkeiten im Lawinenanbruchgebiet eröffnet sich erstmals die Möglichkeit, quantitative Niederschlagsabschätzungen für prähistorische Zeiträume durchzuführen (LUZIAN & PINDUR 2000, S. 91).

4.5 Räumliche Verteilung der subfossilen Moorholzfunde

Um die Hypothese der prähistorischen Lawinenereignisse weiter abzusichern, wurde neben der zeitlichen Analyse eine Untersuchung der räumlichen Verteilung der Stammfunde im Moorbereich durchgeführt.

4.5.1 Lage und Orientierung der Stämme, stratigraphische Verhältnisse

Vorweg ist zu bemerken, dass die 95 beprobten Stämme über den gesamten Moorbereich gestreut, sowohl in Ufernähe als auch in Moormitte, vorgefunden wurden (vgl. Abb. 4). Abgestorbene und nicht gewaltsam geknickte Bäume fallen nach der Verrottung des Wurzelstockes um und bleiben an Ort und Stelle liegen. Das heißt, dass Bäume, die am Moorrand gewachsen sind, auch nur in Ufernähe des sie konservierenden Moores liegen dürften. Da Zirben zudem nicht an vermoorten bzw. versumpften Standorten wachsen, müssen die in der Moormitte gelegenen Stämme nach deren Absterben durch exogene Krafteinwirkung (z.B. Lawine, Wind etc.) dorthin transportiert worden sein.

Bei einem alters- bzw. klimabedingten Absterben der Bäume wäre infolge der Morphologie des Schwarzensteinmoores neben der Lage in Ufernähe auch eine dominante Lagerichtung der Stämme normal zur "Hauptachse" des längsgestreckten Moores zu erwarten (PINDUR 2000, S. 58). Die Analyse der Orientierung der Stämme erbrachte jedoch ein vollkommen anderes Bild. Die Bäume sind ohne signifikante Häufung nach allen Himmelsrichtungen orientiert.

Das im Zentrum des Moorsegments B22 (vgl. Abb. 4) vorgefundene Lawinenschadholz *SSM 41* (Winter 1998/99), die räumliche Verteilung der subfossilen Stammfunde sowie deren wahllose Orientierung bestätigen die im Kapitel 4.4 angeestellte Überlegung hinsichtlich eines verstärkten Lawinengeschehens im Bereich der Schwarzensteinalm.

Im Zuge der Probenentnahme wurde auch die Lagetiefe der Stämme (Stamm-Unterkante) festgehalten. Eine stratigraphische Interpretation der Moorhölzer ist jedoch, wie folgendes Beispiel zeigen soll, weitestgehend unmöglich:

Die unterschiedliche Lagetiefe von 5 bis 50 cm der in räumlicher Nähe vorgefundenen Lawinenhölzer *SSM 60*, *SSM 66*, *SSM 67* und *SSM 72* der Standortmittelkurve *SM 4000 cal BC* (vgl. Abb. 6) zeigt, dass die Oberfläche des heute ebenen Moores zu diesem Zeitpunkt inhomogen war und dass das Moor nach dem Lawinenereignis mit kleinräumig unterschiedlichen Geschwindigkeiten gewachsen sein muss. Demzufolge erscheint eine stratigraphische Interpretation der Hölzer aus dem Schwarzensteinmoor nicht zielführend, da keine befriedigende Korrelation zwischen Lagetiefe und Moorholzaltes hergestellt werden kann (PINDUR 2000, S. 67).

4.5.2 Lage der potentiellen Lawinhölzer

Grundsätzlich gliedert sich das Moor in zwei große Areale, die unterschiedlichen Einflussbedingungen ausgesetzt sind. Die Moorbereiche A, B, und C befinden sich direkt am Hangfuß der Schwarzensteinalm und erfahren dadurch verstärkten Eintrag von gravitativ und fluviatil bewegten Massen. Die Bereiche D, E, F und G liegen hingegen auf der hangabgewandten Seite der Verebnungsfläche und sind durch Rundhöcker vor langsam bewegtem Hangeintrag besser geschützt (vgl. Abb. 4).

Abbildung 8 zeigt die Position der subfossilen Stammfunde der diskutierten Standortmittelkurven. Dabei wird auf einen Blick ersichtlich, dass alle Lawinhölzer in den hangnahen Moorbereichen A und B aufgefunden wurden. Jene Stämme hingegen, welche die Lawinenereignisse unbeschadet überdauern konnten, stammen aus den "geschützten" Bereichen D, E und F.

Der Fundort des Zirbenstammes *SSM 76 (SM 3200 cal BC)*, der mit 175 fehlenden Jahrringen bis zum Lawinenereignis von 2858 cal BC als weitgehend abgebautes Fragment dem Moorsegment B19 entnommen wurde, erlaubt diesen Baum mit dem angesprochenen Ereignis in direkten Zusammenhang zu bringen. Weiters lässt die räumliche Verteilung der Lawinhölzer der Standortmittelkurve *SM 3200 cal BC* die Vermutung zu, dass im Lawinenwinter von 2858/57 cal BC der gesamte Waldbestand über dem Schwarzensteinmoor vernichtet wurde.

Obwohl die Probe *SSM 20 (SM 300 cal BC)* in räumlicher Nähe des Lawinenschadholzes *SSM 18* lag, überstand diese den Lawinenabgang von 130 cal BC unbeschadet (vgl. Abb. 7). Abbildung 10 zeigt weiters, dass die Zirbe auf das Ereignis mit überaus starken Zuwachsraten reagierte. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die Wachstumsbedingungen für den Baum infolge einer lawinenbedingten Freistellung entscheidend verbessert haben dürften. Ob das Wachstumsende der Zirbe *SSM 20* ebenfalls von einem Lawinenabgang hervorgerufen wurde oder eine andere Ursache (z.B. natürliches Wachstumsende, Klimadepression, anthropogener Einfluss etc.) dafür verantwortlich war, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Die Proben *SSM 21*, *SSM 34* und *SSM 42*, die zum Zeitpunkt des Lawinenereignisses von 505/506 n.Chr. bereits abgestorben waren, wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in Abbildung 8 nicht berücksichtigt.

4.6 Darstellung der klimatischen Verhältnisse um den Zeitraum der Lawinenereignisse mit Hilfe des indirekten Klimazeigers "Jahrringbreite"

Für die alpine Waldgrenze ist der Temperaturgang als limitierender Faktor gegeben (MÜLLER 1980), da nach TRANQUILLINI (1979) der Niederschlag in diesem ökologischen Grenzbereich für das Baumwachstum in ausreichendem Maße vorhanden ist. Die Jahrringbreite, die dem kumulierten Breitenzuwachs des Baumes während einer Wachstumsperiode entspricht, wird durch die Wärmesumme dieser Vegetationsperiode bestimmt. Dendroklimatische Analysen an subfossilen Bäumen können somit, nach FURRER & HOLZHAUSER (1984, S. 117), "einen Eindruck der Sommertemperaturen von Juli bis September über längere Abschnitte des Postglazials" vermit-

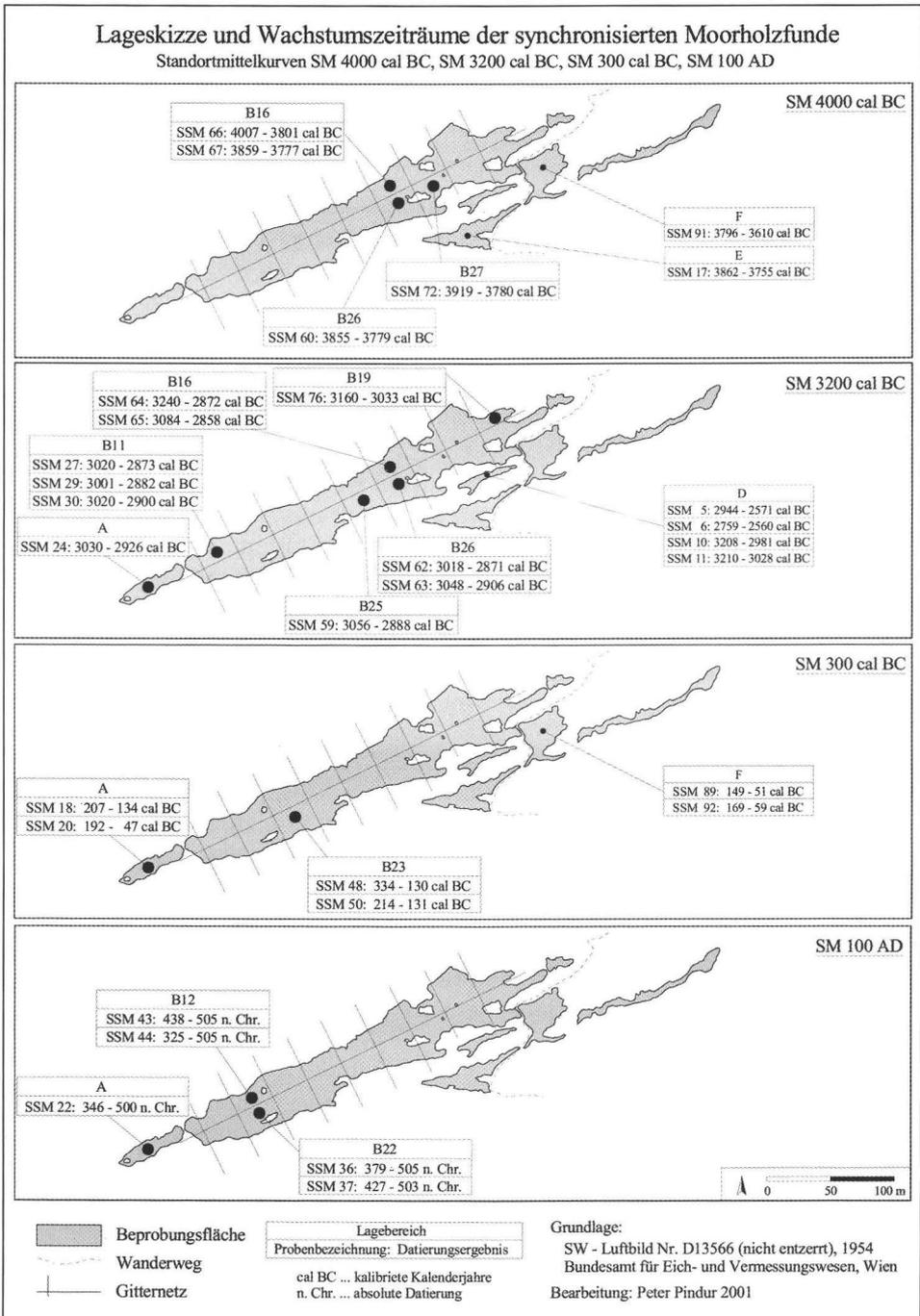


Abb. 8: Lageskizze und Wachstumszeiträume der synchronisierten subfossilen Stammfunde

teln. Demzufolge sind die klimatischen Verhältnisse der Wachstumsperioden um den Zeitpunkt der Lawineneignisse mit Hilfe der Jahrringbreitenkurven der synchronisierten Hölzer visualisierbar.

4.6.1 Wachstumskurve der Zirbenbestockung im Bereich der Schwarzensteinalm

Eine Wachstumskurve beschreibt den Jahrringbreitenzuwachs eines Baumes, den dieser im Laufe seines Lebens durch endogene Faktoren bedingt verändert (vgl. BRÄKER 1981, S. 77). Diesem so genannten "Alterstrend" sind die exogenen Faktoren, die auf den Baum einwirken, in Form von Störungen überlagert.

Bei der in Abbildung 9 dargestellten Kurve handelt es sich um eine regionale Zirben-Wachstumskurve für den Bereich der Schwarzensteinalm. Zur Erzeugung dieser Kurve wurden ausschließlich die subfossilen Zirbenstämme aus dem Schwarzensteinmoor verwendet (vgl. NICOLUSSI & LUMASSEGER 1998, S. 49). Diese Wachstumskurve wird für die Interpretation der in Abbildung 8 dargestellten Jahrringbreitenkurven benötigt.

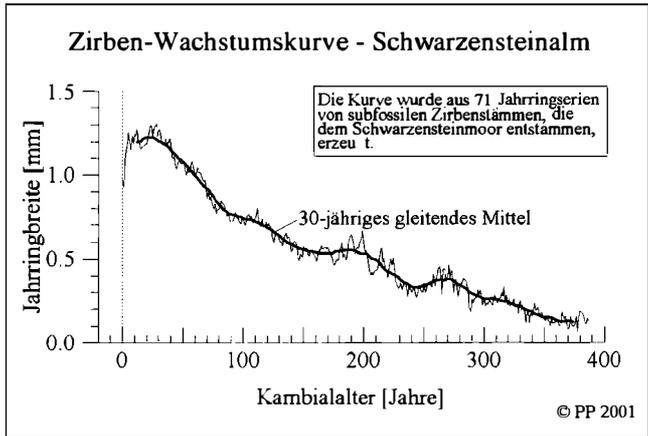


Abb. 9: Alterstrend der Zirben im Bereich der Schwarzensteinalm

4.6.2 Die Lawineneignisse im Jahrringbild ausgewählter Einzelbaumkurven

In Abbildung 10 sind die Jahrringbreitenkurven von ausgewählten Bäumen für den Zeitraum von ± 30 Jahren um die datierten Lawineneignisse dargestellt. Da die Standortmittelkurve SM 100 AD mit dem Lawineneignis von 505/506 n.Chr. endet, wurde die Jahrringserie des Zirbenstammes ZAR 9, der aus dem etwa 300 m tiefer gelegenen "Alpenrosemoor" stammt (PINDUR 2000, S. 95f.), als Klimazeiger für den Zeitraum nach dem Lawineneignis gewählt.

Die Jahrringserien zeigen konstant gute Wachstumsbedingungen an. Insbesondere zum Zeitpunkt der Lawineneignisse sind keine Abnormitäten erkennbar, die zum gehäuften Absterben der Bäume führen hätten können. Die jährlichen Zuwachsraten bewegen sich in der Größenordnung von 0,5 bis 2,5 mm (vgl. Abb. 9). Die Bäume wurden also jeweils aus ausgezeichneten Wachstumsbedingungen gerissen und demzufolge kann ein Klimasturz als mögliche Absterbeursache für diese Zirben deziert ausgeschlossen werden.

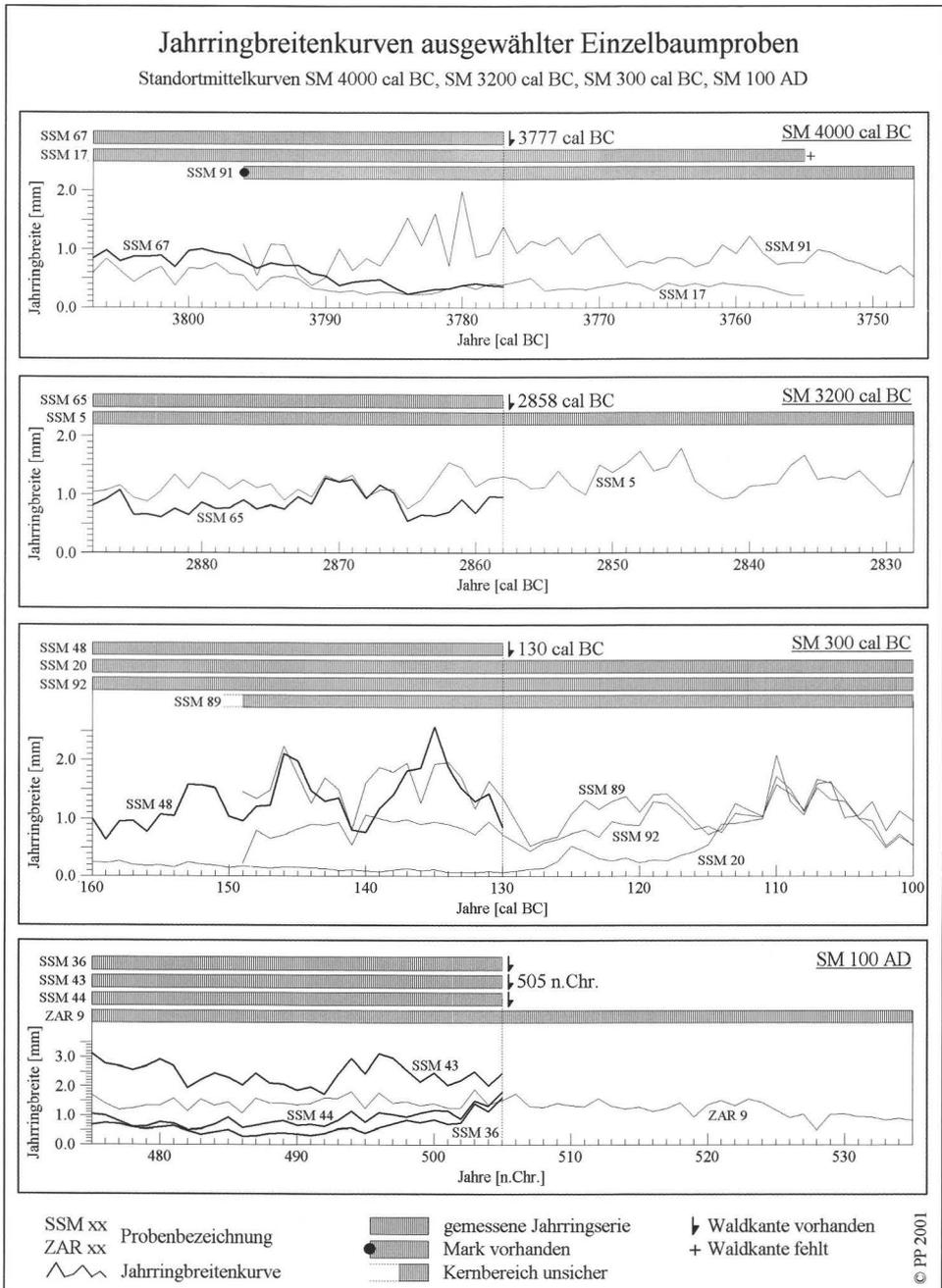


Abb. 10: Die Lawinenereignisse im Jahringbild ausgewählter Einzelbaumproben

Das "plötzliche Baumsterben" auf dem Hang der Schwarzensteinalm lässt sich somit nur durch mehrhundertjährige Lawinenereignisse, die durch außergewöhnliche Niederschlagsereignisse mit großen Schneemengen induziert wurden, erklären.

5. Literaturverzeichnis

- ALESTALO J. (1971), Dendrochronological Interpretation of Geomorphic Processes (= Fennia, 105). Helsinki.
- BRÄKER O.U. (1981), Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. In: FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT (Hrsg.), Dickenwachstum der Bäume (= Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 142/1), S. 75-102.
- BRONK RAMSEY C. (1995), Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. In: Radiocarbon, 37, 2, S. 425-430.
- BRYANT C.L., BUTLER D.R., VITEK J.D. (1989), A statistical analysis of tree-ring dating in conjunction with snow avalanches: Comparison of on-path versus off-path responses. In: Environmental Geology and Water Sciences, 14, 1, S. 53-59.
- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (Hrsg.) (1954), Waldbestandsaufnahme, 1.8.1954. SW-Luftbild Nr. D13566. Wien.
- BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (Hrsg.) (1997), DGM Befliegung von Tirol, 1.9.1997. IR-Luftbild Nr. 3069. Wien.
- BUTLER D.R., MALANSON G.P. (1985), A Reconstruction of Snow-Avalanche Characteristics in Montana, U.S.A., using vegetative indicators. In: Journal of Glaciology, 31, 108, S. 185-187.
- CARRARA P.E. (1979), The determination of snow avalanche frequency through tree-ring analysis and historical records at Ophir, Colorado. In: Geological Society of America Bulletin, 90, S. 773-780.
- DEUTSCHER ALPENVEREIN (Hrsg.) (1999/00), Alpenvereinskarte – Zillertaler Alpen 1:25.000, 35/1: West (1999); 35/2: Mitte (2000). München.
- EMBLETON-HAMANN Chr. (1997), Naturgefahren in Österreich. Ursachen, Verbreitung, Schäden und Schutzmaßnahmen. In: Mitt. d. Österr. Geogr. Ges., 139, S. 197-230.
- FLIRI F. (1975), Das Klima der Alpen im Raume von Tirol (= Monographien zur Landeskunde Tirols, 1). Innsbruck, München.
- FLIRI F. (1998), Naturchronik von Tirol. Tirol-Oberpinzgau-Vorarlberg-Trentino (= Beiträge z. Klimatographie von Tirol). Innsbruck.
- FRAZER G.W. (1985), Dendrogeomorphic evaluation of snow avalanche history at two sites in Banff National Park. London, Univ. of Western Ontario, Diss.
- FRITTS H.C. (1976), Tree Rings and Climate. London, New York, San Francisco.
- FURRER G., HOLZHAUSER H. (1984), Gletscher- und klimageschichtliche Auswertung fossiler Hölzer. In: Zeitschrift f. Geomorphologie N.F., S.B. 50, S. 117-136.
- GAMS H. (1931/32), Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. In: Zeitschrift d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 9/10, S. 321-346 (1931); 1/2, S. 52-68 (1932); 5/6, S. 178-198 (1932).
- HANSEN-BRISTOW K., BIRKELAND K. (1989), Applications of dendrochronology in avalanche studies. In: The Avalanche Review, 7, 4, S. 3-7.

- HEUBERGER H. (1977), Gletscher- und klimageschichtliche Untersuchungen im Zemmgrund. In: Alpenvereinsjahrbuch, 102, S. 39-50.
- HEUMADER J. (2000), Die Katastrophenlawinen von Galtür und Valzur am 23. und 24.2.1999 im Paznauntal/Tirol. In: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR VORBEUGENDE HOCHWASSERBEKÄMPFUNG (Hrsg.), Veränderungen im Natur- und Kulturhaushalt und ihre Auswirkungen (= Int. Symp. INTERPRAEVENT 2000, 1), S. 397-409. Villach.
- HÖLLER P., SCHAFFHAUSER H. (2001), The Avalanches of Galtür and Valzur in February 1999. In: Int. Snow Science Workshop 2000. A Merging of Theory and Practice. Proc., S. 514-518. Big Sky.
- HOLTMEIER F.-K. (1993), Timberlines as indicators of climatic changes: problems and research needs. In: FRENZEL B. (Hrsg.), Oscillations of the Alpine and Polar Tree Limits in the Holocene (= Paläoklimaforschung, Palaeoclimate Research, 9). Stuttgart, Jena, New York.
- HÜTTEMANN H., BORTENSCHLAGER S. (1987), Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols VI: Riesengebirge, Hohe Tatra – Zillertal, Kühtai. Ein Vergleich der postglazialen Vegetationsentwicklung und Waldgrenzschwankungen. In: Ber. d. Naturwiss.-Med. Vereins in Innsbruck, 74, S. 81-112.
- IKEDA S., NITTA R., SEKINO K. (2000), The fir trees surviving surface avalanches. In: INTERNATIONAL GLACIOLOGICAL SOCIETY (Hrsg.), Int. Symp. on Snow, Avalanches and Impact of the Forest cover. Innsbruck, Austria, 22-26 May 2000. Abstracts, S. 36. Innsbruck.
- LAMMERER B. (1986), Das Autochthon im westlichen Tauernfenster. In: Jahrbuch d. GBA, 129, 1, S. 51-67.
- LAND TIROL (Hrsg.) (2000), Lawinenhandbuch. 7. Aufl. Innsbruck, Wien.
- LUZIAN R., PINDUR P. (2000), Klimageschichtliche Forschung und Lawinengeschehen. In: Wildbach- u. Lawinenverbau, 64, 142, S. 85-92.
- MAYER H. (1974), Wälder des Ostalpenraumes. Standort, Aufbau und waldbauliche Bedeutung der wichtigsten Waldgesellschaften in den Ostalpen samt Vorland (= Ökologie d. Wälder u. Landschaften, 3). Stuttgart.
- MÜLLER H.-N. (1980), Jahrringwachstum und Klimafaktoren. Beziehungen zwischen Jahrringwachstum von Nadelholzarten und Klimafaktoren an verschiedenen Standorten im Gebiet des Simplonpasses (Wallis, Schweiz) (= Angew. Pflanzensoziologie, Veröffentlich. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 25).
- NEUNER J. (2000), Katastrophenlawinen in Tirol im Februar 1999. Erfahrungen und Krisenbewältigung aus der Sicht der Wildbach- und Lawinenverbauung. In: Wildbach- u. Lawinenverbau, 64, 141, S. 65-68.
- NICOLUSSI K., LUMASSEGGER G. (1998), Tree-ring growth of *Pinus cembra* at the timberline in the central Eastern Alps: preliminary results. In: INSTITUT FÜR HOCHGEBIRGSFORSCHUNG (Hrsg.), Jahresbericht 1997, S. 48-53. Innsbruck.
- NICOLUSSI K., LUMASSEGGER G., PATZELT G., PINDUR P., SCHIESSLING P. (2001), Aufbau einer holozänen Hochlagen-Jahrring-Chronologie für die zentralen Ostalpen: Erste Ergebnisse. In: INSTITUT FÜR HOCHGEBIRGSFORSCHUNG (Hrsg.), Jahresbericht 1999/00. Innsbruck. (im Druck)
- PATZELT G. (1995), Die klimatischen Verhältnisse im südlichen Mitteleuropa zur Römerzeit. In: BENDER H., WOLFF H. (Hrsg.), Ländliche Besiedlung und Landwirtschaft in den Rhein-Donau-Provinzen des Römischen Reiches (= Passauer Universitätsschriften z. Archäologie, 2), S. 7-20. Passau.

- PATZELT G. (2000), Natürliche und anthropogene Umweltveränderungen im Holozän der Alpen. In: KOMMISSION FÜR ÖKOLOGIE DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.), Entwicklung der Umwelt seit der letzten Eiszeit (= Rundgespräche d. Komm. f. Ökologie, 18), S. 119-125. München.
- PINDUR P. (2000), Dendrochronologische Untersuchungen im Oberen Zemmgrund, Zillertaler Alpen. Eine Analyse rezenter Zirben (*Pinus cembra* L.) und subfossiler Moorhölzer aus dem Waldgrenzbereich und deren klimageschichtliche Interpretation. Innsbruck, Univ. Innsbruck, Dipl.arb.
- PINDUR P. (2001), Dendrochronologische Untersuchungen an Zirben aus dem Waldgrenzbereich der Zillertaler Alpen. In: INNSBRUCKER GEOGRAPHISCHE GESELLSCHAFT (Hrsg.), Innsbrucker Jahresbericht 1999/00, S. 62-75.
- POTTER N. (1969), Tree-Ring Dating of Snow Avalanche Tracks and the Geomorphologic activity of avalanches, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. In: STANLEY A.S., BRADLEY W.C. (Hrsg.), United States contributions to Quaternary research: papers prepared on the occasion of the VIII Congress of the International Association for Quaternary Research, Paris, France (= Geological Society of America, Special Paper, 123), S. 141-165. Boulder.
- RINN F. (1996), TSAP Version 3.0. Reference Manual. Heidelberg.
- SCHIECHTL H.M., STERN R. (1983), Die Zirbe (*Pinus cembra* L.) in den Ostalpen. III. Teil. Stubaier Alpen, Wipptal, Zillertaler Alpen (= Angew. Pflanzensoziologie. Veröff. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 27).
- SCHRANK F.v.P., MOLL K.E.R.v. (Hrsg.) (1785), Naturhistorische Briefe über Oestereich, Salzburg, Passau und Berchtesgaden, Bd. 1. Salzburg.
- SCHWEINGRUBER F.H. (1983), Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern, Stuttgart.
- SHRODER J.F. (1980), Dendrogeomorphology: Review and new techniques of tree-ring dating. In: Progress in Physical Geography, 4, 2, S. 161-188.
- STÖTTER J., BELITZ K., FRISCH U., GEIST T., MAIER M., MAUKISCH M. (1999), Konzeptvorschlag zum Umgang mit Naturgefahren in der Gefahrenzonenplanung. Herausforderung an Praxis und Wissenschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit. In: INNSBRUCKER GEOGRAPHISCHE GESELLSCHAFT (Hrsg.), Innsbrucker Jahresbericht 1997/98, S. 30-59.
- STOLZ, O. (1930): Die Schwaighöfe in Tirol. Ein Beitrag zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte der Hochalpentäler (= Wiss. Veröff. d. Dt. u. Österr. Alpenvereins, 5). Innsbruck.
- STRUNK H. (1995), Dendrogeomorphologische Methoden zur Ermittlung der Murfrequenz und Beispiele ihrer Anwendung (= Theorie u. Forschung, 317, Geogr., 1) Regensburg.
- 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, Heidelberg, New York.
- WAHL H. (1996), Lawinenereignisse im Jahrringbild. Methodische Überlegungen und eine Rekonstruktion von Ereignissen im Umfeld des Riedgletschers (VS). Zürich, Univ. Zürich, Dipl.arb.
- WEIRICH J., BORTENSCHLAGER S. (1980), Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols III: Stubaier Alpen – Zillertaler Alpen. In: Ber. d. Naturwiss.-Med. Vereins in Innsbruck, 67, S. 7-30.

Danksagung

Besonderer Dank gilt Mag. Peter SCHIESSLING für die freundliche Hilfestellung bei der Bergung des Probenmaterials, Univ.-Ass. Dr. Kurt NICOLUSSI und Univ.-Prof. Dr. Gernot PATZELT 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), von der Eduard-Wallnöfer-Stiftung der Tiroler Industrie, vom Hochgebirgs-Naturpark Zillertaler Alpen und von der Berliner Hütte.