© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Ber. nat.-med. Verein Innsbruck	Band 85	S. 35 – 45	Innsbruck, Okt. 1998

Dendroklimatologische Untersuchung von Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.) auf Schuttmaterial des Tschirgant-Bergsturzes (Tirol)

von

Walter OBERHUBER & Stefan MAYR *)

Dendroclimatological Investigation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands growing on Calcareous Debris of the Tschirgant Landslide (Tyrol)

Synopsis: Dendrochronological and -ecological techniques are used to assess the impact of climatic factors on radial growth of stunted Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.) exposed to edaphic dryness and nutrient deficiency. The response of 8 scattered populations representing various habitats but influenced by the same regional climate are investigated. Total ring width and latewood width were dated, standardized and several chronology statistics (signal strength, confidence) determined. Results of response function analysis indicate that low water availability due to pronounced edaphic dryness causes a homogeneous relationship of radial tree growth to climate at all habitats, though topography (exposure, slope) and site characteristics (soil depth, vegetation cover) differ substantially. Wide rings at most sites are significantly associated with high precipitation in April to June and cool conditions in May of the current year, and high precipitation in August to September of the preceding year. Latewood widths might also be dependent on high precipitation in July. The results show that spatial analysis of several stands within a small area proves to be useful in elucidating intrinsic ecological site factors which hardly could be analyzed on the basis of a single tree-ring series only.

1. Einleitung:

Die dendroklimatologische Forschungsrichtung entwickelte sich aus der Dendrochronologie oder "Jahrring-Datierung". Dieser Methode kommt für die Datierung historischer und archäologischer Objekte große Bedeutung zu (STOKES & SMILEY 1968, FRITTS 1976, BAILLIE 1995). Die Dendroökologie umfaßt alle Teilgebiete der Dendrochronologie, die Umweltinformationen aus den Jahrringen herauslesen, um die lokalen und regionalen Umwelteinflüsse und -veränderungen zu ermitteln bzw. zu rekonstruieren und zeitlich weit zurückliegende Ereignisse jahrgenau zu datieren (FRITTS & SWETNAM 1989, SCHWEINGRUBER 1993). Im Rahmen von waldökologischen Untersuchungen können somit anhand von Jahrringparametern (Breite, Dichte, Struktur) abiotische Umwelteinflüsse wie Klimafaktoren (Temperatur, Niederschlag, Wind), mechanische Störungen (Lawinenabgänge, Erdbewegungen), Grundwasserschwankungen, Waldbrände etc. sowie biotische Einflüsse (Tierfraß, Pilzbefall) und anthropogene Eingriffe analysiert werden (SCHWEINGRUBER 1993).

Ein bevorzugter Standort für dendroklimatologische Untersuchungen ist die alpine Waldgrenze. Das Ausmaß der kambialen Aktivität ist an diesem Extremstandort eng mit den jährlichen Schwankungen der Temperatur während der kurzen Vegetationsperiode korreliert

*) Anschrift der Verfasser: Dr. W. Oberhuber und Dr. St. Mayr, Institut für Botanik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Sternwartestraße 15, A-6020 Innsbruck, Österreich.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

(SCHWEINGRUBER 1993).Niederschläge wirken sich hingegen in den gemäßigten Klimazonen mit humidem Klima (jährliche Niederschlagsmenge > Evapotranspiration) im allgemeinen nicht begrenzend auf das Baumwachstum aus. Da für das Pflanzenwachstum jedoch nicht die absolute Niederschlagsmenge, sondern das verfügbare Bodenwasser entscheidend ist, kann über skelettreichen, flachgründigen Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität vorübergehend Dürrestreß auftreten. So begünstigen die trockenen und nährstoffarmen Standorte, die sich über dolomit- und kalkreichem Gestein in vorwiegend südexponierten Hanglagen des kontinental geprägten Oberinntales ausbilden, das großflächige Auftreten der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), die nach ELLENBERG (1986) als die genügsamste Baumart in Mitteleuropa gilt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Ermittlung der für die Jahrringbildung der Kiefer maßgeblichen Klimafaktoren auf dem durch edaphisch bedingte Trockenheit und Nährstoffarmut geprägten Bergsturzgelände des Tschirgantmassivs. Ferner soll geklärt werden, inwieweit in Populationen unterschiedlich stark exponierter Standorte eine Differenzierung der Klima-Wachstums-Beziehung erfolgt.

2. Untersuchungsgebiet:

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1) ist Teil des postglazialen Tschirgant-Bergsturzes (datiert zwischen 2300 und 2900 Jahren BP; NIEDERBACHER 1982, PATZELT & POSCHER 1993) und befindet sich orographisch rechts des Inn am Eingang des Ötztales (etwa 750 m NN). Das Bergsturzmaterial setzt sich aus schwer verwitterbarem und mineralstoffarmem Wettersteinkalk und

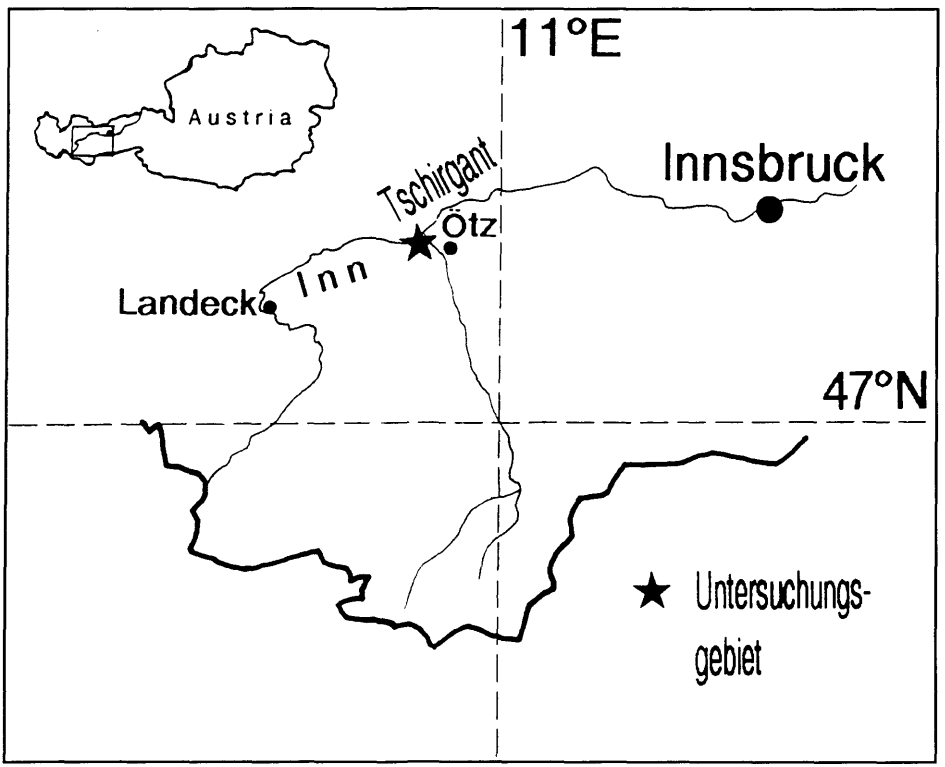

Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

-dolomit zusammen (KLEBELSBERG 1935). Der Klimacharakter in diesem Bereich kann als kontinental bezeichnet werden, wobei in der Periode 1921 - 1990 die mittlere jährliche Niederschlagsmenge 714 mm und die mittlere Jahrestemperatur 7.3°C betrug. Eine ausgeprägte Frühjahrstrockenheit tritt fast in jedem dritten Jahr auf (FLIRI 1975).

Das stark differenzierte, heterogene Gelände im Bereich des Bergsturzes ist reich an kleinflächigen Standorten wie Mulden, skelettreichen Hanglagen, Plateaus, Blockstandorten usw. Zur Erfassung der wachstumsrelevanten, standortabhängigen Klimafaktoren wurde ein möglichst großes Spektrum bestehender Habitate für die Untersuchung ausgewählt.

Insgesamt wurden 9 Bestände untersucht, die sich – mit Ausnahme des Standortes K135, welcher etwa 2.5 km entfernt liegt – innerhalb einer Fläche von nur 1 km^2 befinden. Jahrringreihen des Standortes K133 wurden aufgrund der unsicheren Datierung, bedingt durch eine hohe Anzahl von Jahrringausfällen, von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Die vorherrschende Pflanzengesellschaft im Untersuchungsgebiet bildet ein Schneeheide-Kiefernwald (*Erico-Pinetum typicum*) über Protorendzina (MAIR 1997). Schlecht- bis krüppelwüchsige Kiefernbestände, die eine mittlere Bestandeshöhe von etwa 8 m erreichen, herrschen vor. Während im Unterwuchs auf steilen, südexponierten Hängen Pionierarten geringe Dekkungsgrade erreichen, tritt bei feuchteren Standortsbedingungen in Muldenlagen eine dichte Moosschicht mit verbreitet Heidelbeere (*Erico-Pinetum vaccinietosum*) auf (MAIR 1997). Vereinzelt können Fichten (*Picea abies* Karst.) in diese Standorte eindringen, bleiben jedoch unter 10 % Kronendeckung.

3. Methodik:

3.1. Dendrochronologische Auswertung:

Die Entnahme von Bohrkernen (2 Kerne/Baum) erfolgte mit einem Zuwachsbohrer in Brusthöhe (1.4 m) jeweils von gegenüberliegenden Seiten und im rechten Winkel zur Fallinie. Nach der Präparierung der Bohrkerne (PILCHER 1990) wurde die Gesamtjahrringbreite sowie die Spätholzbreite mit Hilfe eines Linearmeßtisches und des Jahrringmeßprogrammes CATRAS (ANIOL 1983) auf 0.01 mm genau vermessen. Die Standortreihen wurden nach den üblichen dendrochronologischen Verfahren erstellt (COOK & KAIRIUKSTIS 1990) und die absolute Datierung mit dem Programm COFECHA (HOLMES 1994) überprüft. Jahrringreihen, die eine geringe Korrelation (< 0.5) mit der Master-Chronologie aufwiesen, wurden bei der Erstellung der Standortreihe nicht berücksichtigt.

Die Standardisierung der Jahrringreihen dient der Eliminierung langfristiger Schwankungen, die nicht klimabedingt, sondern in Zusammenhang mit Alterungsprozessen und der Bestandesentwicklung stehen (COOK 1987). Weiters werden Unterschiede in der Vitalität bzw. der Wachstumsrate individueller Bäume ausgeglichen. Die Standardisierung der einzelnen Jahrringreihen erfolgte mittels eines zweistufigen Trendeliminierungsverfahrens unter Einbeziehung einer autoregressiven Modellierung zur Maximierung des Klimasignals (Programm ARSTAN, HOLMES 1994).

Zur Charakterisierung der Standortchronologien wurden mehrere statistische Parameter berechnet. Die Standardabweichung (STD) als Streuungsmaß mißt die Variabilität aller Frequenzbereiche, wobei hohe Werte auf eine enge Beziehung zwischen Umweltfaktoren und Baumwachstum hindeuten. Die Autokorrelation gibt Auskunft über den Zusammenhang zwischen jeweils zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Werten. Eine hohe, positive Autokorrelation weist demnach auf einen starken Einfluß des Vorjahres auf das Nachjahr hin. Die mittlere Sensitivität gibt die durchschnittliche Änderung aufeinanderfolgender Reihenwerte, bezogen auf deren Mittelwert, an. Eine hohe Sensitivität ist ein Hinweis für eine starke Abhängigkeit des Baumwachstums von schwankenden Umwelteinflüssen (FRITTS 1976).

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Das klimainduzierte Signal in den Standortchronologien wurde nach Formeln in BRIFFA & JONES (1990) und WIGLEY et al. (1984) berechnet. Korrelationen der Jahrringreihen innerhalb eines Baumes bzw. der Jahrringreihen zwischen Bäumen eines Standortes ermöglichen die Abschätzung des standortspezifischen, effektiven Chronologiesignals. Das Bestandessignal (expressed population signal, EPS) quantifiziert den Grad, mit welchem eine Jahrringreihe eine hypothetisch perfekte Chronologie, welche als das potentielle Klimasignal angesehen werden kann, wiedergibt. Für eine ausreichende statistische Qualität des Bestandessignales wird ein Schwellenwert von 0.85 angegeben (WIGLEY et al. 1984). Das Signal-/Rausch-Verhältnis ist wiederum definiert als $SNR = N\,r/(1-r)$, wobei r die durchschnittliche Korrelation der Jahrringreihen zwischen Bäumen und N die Anzahl an Bäumen innerhalb einer Standortchronologie angibt (WIGLEY et al. 1984).

3.2. Ermittlung der Klima-Wachstums-Beziehung:

Die dendroklimatologische Analyse erfolgte unter der Berechnung von sogenannten Response-Funktionen (FRITTS et al. 1971). Dabei werden Standortchronologien mit zeitlich entsprechenden klimatologischen Reihen in Beziehung gesetzt, um Aussagen über die statistische Beziehung zwischen monatlichen Klimadaten und Jahrringparametern zu erhalten. Grundlage dieser mit Hilfe des Programms PRECON (FRITTS & SHASHKIN 1995) berechneten Funktionen, bildeten die von Vorjahreseinflüssen bereinigten Residual-Chronologien (HOLMES 1994). Die Klimadaten der nahegelegenen Klimastation in Ötz (etwa 5 km vom Untersuchungsgebiet entfernt) umfassen Niederschlagssumme (mm) und durchschnittliche Mitteltemperatur (^{d}C) der Monate August bis Dezember des Vorjahres sowie Jänner bis September des Wachstumsjahres. Die Korrelationskoeffizienten wurden einheitlich für eine 70jährige Periode (1921 - 1990) berechnet und die signifikant ($p < 0.05$) das Wachstum beeinflussenden Monate bestimmt.

4. Ergebnisse:

Das Vorherrschen wachstumslimitierender Faktoren an allen Standorten wird durch die geringe Baumhöhe sowie die niedrigen Jahreszuwächse angezeigt. In Abhängigkeit von Exposition, Bodentiefe und Hangneigung der untersuchten Standorte variiert die Bestandeshöhe zwischen 5 und 13 m (Tab. 1) und die mittleren Jahrringbreiten zwischen 0.5 und 0.9 mm (Tab. 2). Unter optimalen Standortbedingungen erreicht die Kiefer hingegen Wachstumshöhen von bis zu 40 m (BARTELS 1993).

Tab. 1: Standortcharakteristika der ausgewählten Bestände (E = Exposition, N = Hangneigung, D = Kronendeckung; DBH = Durchmesser in Brusthöhe, Mittelwerte ± Standardabweichung).

Standort	E	N (°)	D (%)	Bodentiefe (cm)	DBH (cm)	Baumhöhe (m)	Anmerkungen
K130	SW	50	30	0-10	18.7±3.9	4-6	erosionsanfälliger Steilhang, geringe Vegetationsdeckung
K131	N	20	80	30	26.0±2.8	10	Mulde mit ausgeprägter Moosschicht
K132	–	–	70	15-20	20.2±2.7	8	Plateau, unruhiges Kleinrelief
K134	SSO	40	50	5-10	18.3±2.9	4-6	stabilisierter Steilhang
K135	–	–	80	15-20	23.3±2.0	10	Wacholder (*Juniperus communis*) verbreitet
K136	WNW	20	70	5-10	19.5±2.6	5	Standort durchsetzt mit Felsblöcken
K137	SSW	15	60	15-20	30.4±3.4	13	geradschaftiges Baumwachstum
K138	–	–	80	10-15	18.8±2.7	5	Plateau

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 2: Statistische Parameter der Standortchronologien (GJR = Gesamtjahrringbreite, SH = Spätholzbreite, M ± STD = Mittelwert ± Standardabweichung, Max = Maximalalter).

Standort	n Bäume[a]	Alter[b] (Jahre)	GJR (mm)	SH (mm)	Mittlere Sensitivität[c]		STD[c]		Autokorrelation[c]	
		M±STD/Max	M±STD	M±STD	GJR	SH	GJR	SH	GJR	SH
K130	13	138±39/205	0.54±0.23	0.13±0.05	0.210	0.230	0.243	0.257	0.346	0.286
K131	11	153±15/176	0.77±0.29	0.18±0.07	0.137	0.221	0.176	0.237	0.534	0.264
K132	18	126± 6/136	0.80±0.55	0.17±0.09	0.152	0.221	0.192	0.217	0.380	0.127
K134	20	118±14/139	0.54±0.29	0.11±0.06	0.160	0.223	0.177	0.217	0.347	0.087
K135	15	92± 9/104	0.89±0.24	0.25±0.09	0.146	0.227	0.156	0.215	0.272	0.095
K136	15	105±23/145	0.62±0.32	0.16±0.10	0.188	0.257	0.250	0.319	0.526	0.501
K137	16	144±12/161	0.67±0.28	0.17±0.06	0.176	0.262	0.206	0.288	0.474	0.269
K138	15	123±12/158	0.55±0.25	0.11±0.05	0.166	0.244	0.186	0.246	0.357	0.204

[a] 2 Radien/Baum
[b] Kambialalter in Brusthöhe
[c] berechnet anhand der allen standardisierten Jahrringreihen eines Standortes gemeinsamen Überlappungslänge (vgl. Tab. 3)

Alle Standortchronologien weisen die für Coniferen typische, im wesentlichen altersbedingte, exponentielle Abnahme der Jahrringbreitenwerte auf (BRÄKER 1981; Daten nicht dargestellt). Abrupte Zuwachsänderungen, bedingt durch lokale Standorteinflüsse (z.B. Waldbrand, Schlägerung) konnten für die Untersuchungsperiode von 1921-1990 nicht festgestellt werden. Die indexierten Standortchronologien der Gesamtjahrring- und Spätholzbreite dieser Periode sind in Abb. 2 dargestellt; die statistischen Parameter derselben sind in Tab. 2 angeführt.

Auf allen Standorten erreicht die mittlere Sensitivität sowie die Standardabweichung der Spätholz-Chronologien höhere Werte gegenüber den Gesamtjahrringbreiten-Chronologien (Tab. 2). Während die mittlere Sensitivität der Gesamtjahrringbreite zwischen 13.7% (K131) und 21% (K130) schwankt, erreichen jene der Spätholzbreite Werte zwischen 22.1% (K131, K132) und 26.2% (K137). Die Jahrringzuwächse der Standorte K131, K136 und K137 werden

Tab. 3: Kenngrößen der klimabedingten Signalstärke in den Standortchronologien (gÜ = gemeinsame Überlappungslänge aller Jahrringreihen; GJR = Gesamtjahrringbreite; SH = Spätholzbreite; EPS = Bestandessignal (vgl. Methoden); S/N = Signal-Rausch-Verhältnis).

Standort	gÜ (Jahre)	Mittlere Korrelationen[a]						EPS		S/N	
		r_{bt}		r_{wt}		r_{eff}					
		GJR	SH	GJR	SH	GJR	SH	GJR	SH	GJR	SH
K130	1907-1993 (87)	0.350	0.22	0.683	0.560	0.416	0.285	0.903	0.838	7.0	3.7
K131	1864-1994(131)	0.276	0.244	0.573	0.539	0.351	0.317	0.856	0.836	4.2	3.6
K132	1879-1994(116)	0.389	0.276	0.652	0.562	0.471	0.353	0.941	0.908	11.4	6.5
K134	1898-1992 695)	0.371	0.283	0.606	0.552	0.462	0.365	0.945	0.920	11.8	7.5
K135	1919-1993 (76)	0.350	0.276	0.667	0.571	0.420	0.351	0.916	0.890	8.1	5.7
K136	1918-1994 (77)	0.295	0.229	0.625	0.518	0.363	0.302	0.895	0.866	6.3	4.5
K137	1876-1995(120)	0.391	0.334	0.705	0.649	0.459	0.405	0.931	0.916	10.3	8.0
K138	1888-1993(106)	0.391	0.305	0.638	0.546	0.477	0.395	0.932	0.907	9.6	6.6

[a] berechnet nach Formeln in *BRIFFA & JONES (1990)*

r_{bt} = Korrelation zwischen den Bäumen eines Standortes
r_{wt} = Korrelation zwischen den Radien eines Baumes
r_{eff} = effektives Chronologiesignal

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

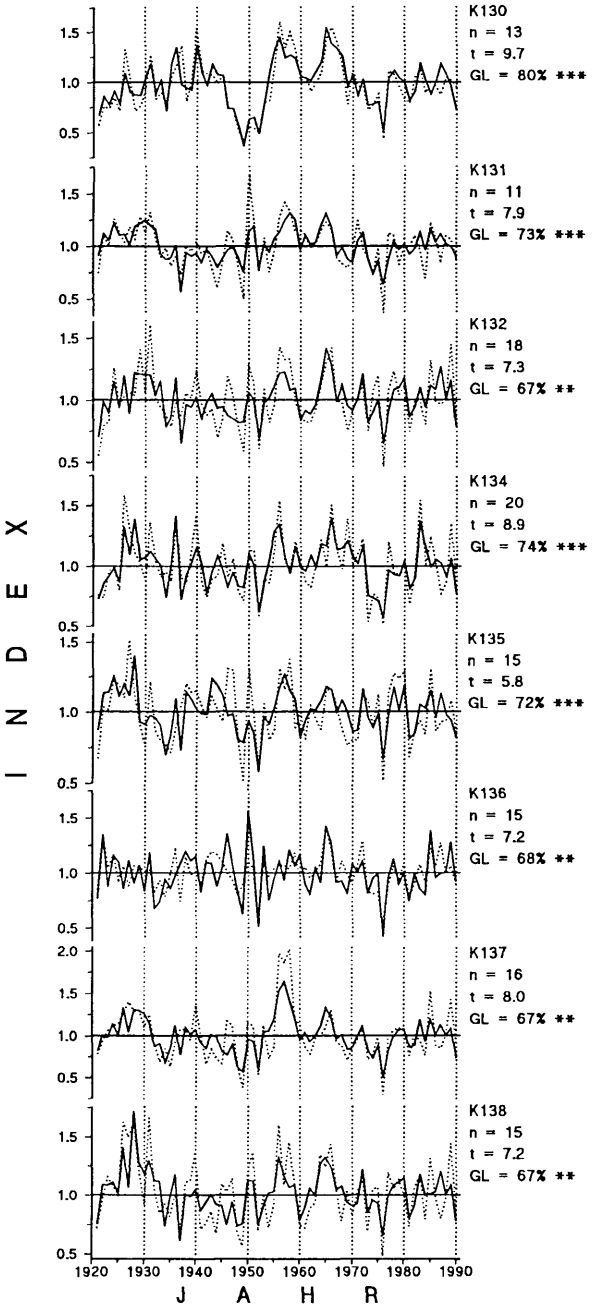

Abb. 2: Indexierte Standortchronologien der Gesamtjahrringbreite (durchgezogene Linie) und Spätholzbreite (punktierte Linie). Y-Achsen unterschiedlich skaliert. Als Maß für die Übereinstimmung zwischen den Jahrringreihen ist die Gleichläufigkeit GL (ECKSTEIN & BAUCH 1969; ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$) sowie der Korrelationskoeffizient t (BAILLIE & PILCHER 1973) angeführt. n = Anzahl der beprobten Bäume/Standort.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

durch die Wachstumsbedingungen des Vorjahres stärker beeinflußt (höhere Autokorrelation, siehe Tab. 2).

Die Signalstärke der Chronologien, welche die gemeinsame Variabilität in allen Jahrringreihen eines Standortes wiedergibt, wurde nach dem Verfahren der "mean correlation technique" (BRIFFA & JONES 1990) errechnet. Weiters werden in Tab. 3 die statistischen Größen EPS (expressed population signal) und das Signal-Rausch-Verhältnis (S/N) angeführt, die den Grad des Klimasignals nach Mittelung der Einzelbaumserien quantifizieren. Ein starkes Klimasignal in den Gesamtjahrringbreiten-Chronologien wird durch das Überschreiten des Schwellenwertes von 0.850 in den EPS-Werten sowie hohe S/N-Verhältnisse angezeigt. Aufgrund dieser Parameter ist für Spätholz-Chronologien aller Standorte ein geringerer klimatologischer Informationsgehalt anzunehmen.

4.1. Response-Funktionen:

Mithilfe der Response-Funktionen wird der relative Effekt einzelner Klimafaktoren auf die Jahrringzuwächse ermittelt. Die Klimafaktoren umfassen die monatliche Niederschlagssumme und Durchschnittstemperatur zwischen August des Vorjahres und September der Vegetationsperiode. Die errechneten Koeffizienten drücken den relativen monatlichen Einfluß des jeweiligen Klimaparameters auf das Baumwachstum aus. Dieses Klima-Wachstums-Modell, welches für den Zeitabschnitt von 1921-1990 für beide Jahrringgrößen errechnet wurde, ist in Abb. 3 wiedergegeben.

An allen Standorten wird das Dickenwachstum der Bäume durch hohe Niederschläge in den Monaten April - Juni begünstigt. An einzelnen Standorten (K131 und K136) führen auch hohe Niederschläge im Spätsommer des Vorjahres (August und September) sowie unterdurchschnittliche Temperaturen im Monat Mai der Vegetationsperiode zu signifikanten Zusammenhängen. Spätholzbreiten sind demgegenüber weniger deutlich mit Niederschlag und Temperatur korreliert.

Die Variabilität der jährlichen Radialzuwächse (Gesamtjahrringbreite) läßt sich anhand der jährlichen Schwankungen der untersuchten Klimaparameter in einem Ausmaß von 39 % (K131) bis 65 % (K130) erklären. Spätholzbreiten weisen in diesem Modell eine deutlich geringere, klimainduzierte Varianz auf.

5. Diskussion:

5.1. Bestandes- und Chronologieparameter als Indikator wachstumslimitierender Umweltfaktoren:

Böden über dolomitischem Ausgangsgestein sind gekennzeichnet durch eine unausgewogene Nährstoffverfügbarkeit: Während Magnesium in sehr hohen Anteilen vorhanden ist, treten Kalium und Phosphor nur in geringen Mengen auf (KRAPFENBAUER 1969). Aus diesem Grund dürfte Nährstoff- neben Wassermangel wesentlich das schlechte bis krüppelige Wachstum der Kiefern im gesamten Felssturzgebiet des Tschirgant bedingen.

Ein Vergleich der mittleren Jahrringbreite, des Brusthöhendurchmessers sowie der Bestandeshöhe spiegelt nicht nur Standortsunterschiede wieder, sondern diese Größen werden auch durch das Bestandesalter beeinflußt (Tab. 2). Innerhalb derselben Altersklasse schwankt die mittlere Baumhöhe zwischen 5 m (K130) und 13 m (K137), die mittlere Jahrringbreite zwischen 0.54 mm (K134) und 0.80 mm (K132). Diese deutlichen Unterschiede sind auf die lokalen Standortbedingungen zurückzuführen, die im wesentlichen durch die Topographie festgelegt werden.

FRITTS et al. (1965) berichtet, daß die mittlere Sensitivität und die Standardabweichung einer Jahrringreihe an Standorten, die das Baumwachstum zunehmend limitieren, stark anstei-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

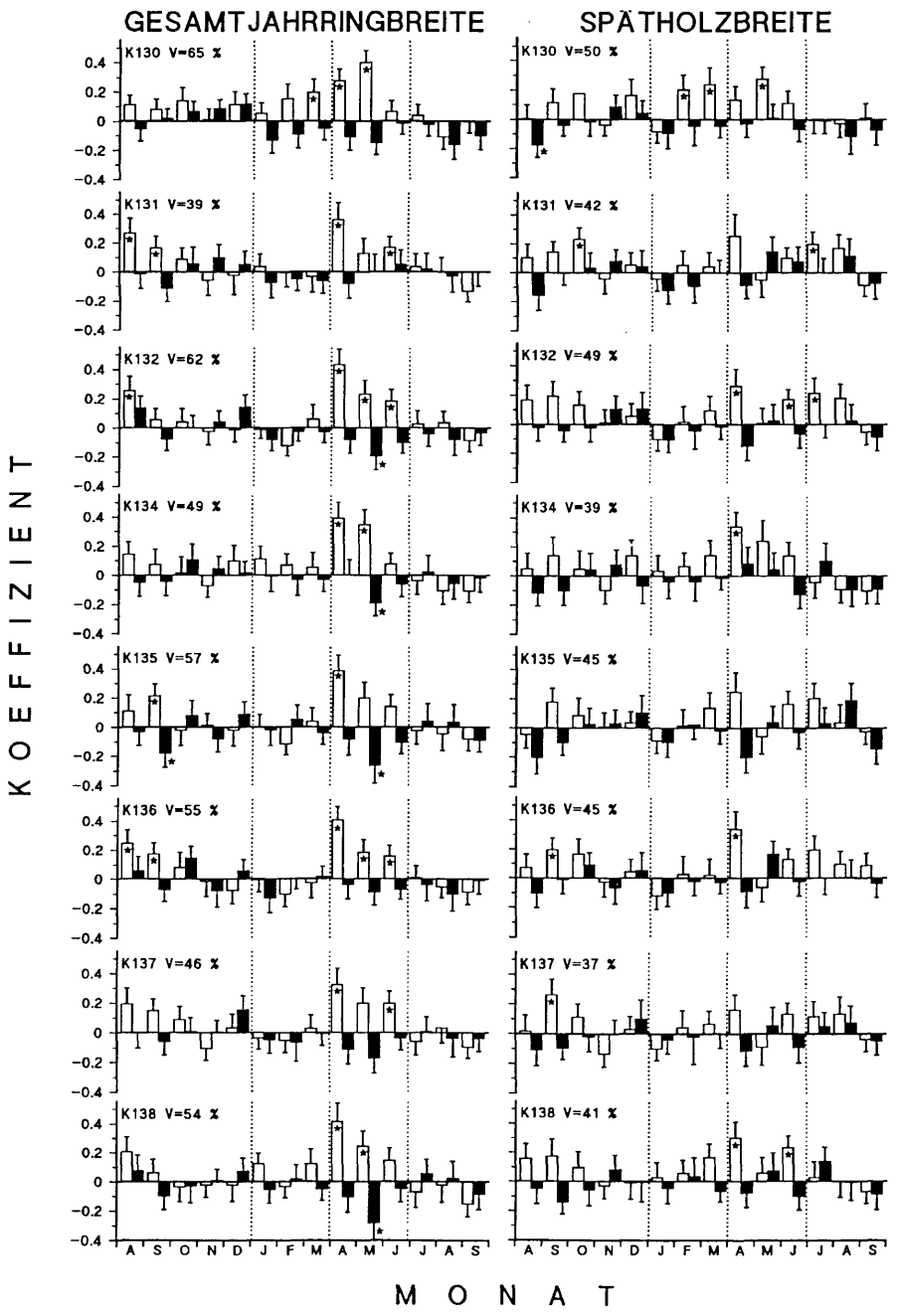

Abb. 3: Klima-Wachstums-Modell (Response-Funktionen) für die Zeitperiode 1921-1990. Offene Balken zeigen die Beziehung der Jahrringparameter mit der mittleren Niederschlagssumme, geschlossene Balken jene mit der durchschnittlichen Tagesmitteltemperatur an (* = $p < 0.05$). V = Anteil der klimainduzierten Jahrringvariabilität. Jahreszeiten in der Vegetationsperiode sind durch vertikale, punktierte Linien getrennt.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

gen. Aufgrunddessen können die Standorte K130 und K131 als die von Umweltfaktoren am stärksten bzw. geringsten beeinflußten Standorte angesehen werden (Tab. 2). Diese, anhand statistischer Parameter getroffene Aussage deckt sich sehr gut mit den lokalen Standortbedingungen wie Topographie, Exposition und Bodentiefe (Tab. 1).

Die Stärke des Klimasignals in den Standortchronologien (vgl. Methoden) wird durch hohe EPS-Werte (expressed population signal) sowie ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis (S/N) ausgedrückt (Tab. 3). Insbesondere an den Standorten K132, K134, K137 und K138 wird das Baumwachstum von den jährlich variierenden, regionalen Klimabedingungen entscheidend geprägt, obwohl die lokalen Standortverhältnisse innerhalb dieser Gruppe beträchtlich divergieren (Tab. 1). In den übrigen Beständen scheint ein individuelleres, standortspezifisches Reaktionsverhalten, in dem Klimaeinfluß durch lokale Faktoren (Erosion, Konkurrenz) überlagert wird, vorzuherrschen.

Das überwiegend schwächere Klimasignal in den Spätholz-Chronologien (Tab. 3) dürfte z.T. auf den oftmals gleitenden Übergang der Frühholz- in Spätholzzellen und der dadurch ungenauen Festlegung der Spätholzbreite mitverursacht sein. Andererseits zeigt die hohe Übereinstimmung (Synchronität) zwischen Gesamtjahrring- und Spätholz-Chronologien eines Standortes (Abb. 2), daß die jährliche Variabilität beider Parameter durch dieselben Umweltfaktoren bestimmt wird.

5.2. Klima-Wachstums-Modell:

Die Analyse der Response-Funktionen weist daraufhin, daß die Frühjahrsniederschläge (April - Juni) die primären, wachstumslimitierenden Klimafaktoren an allen Standorten darstellen (Abb. 3). Einzig am Standort K130, ein stark geneigter, SW-exponierter Hang, kann ein signifikanter Niederschlagseinfluß bereits für den Monat März festgestellt werden. Die lokalen Standortbedingungen sowie das Störungsregime scheinen somit die durchschnittliche Beziehung zwischen kambialer Aktivität und Klimaverhältnissen nicht wesentlich zu beeinflussen. Diese Ergebnisse sprechen dafür, daß alle Standorte – unabhängig von der durch die lokalen Faktoren bedingten Bodenentwicklung – durch Wassermangel während des Knospenaustriebs geprägt sind. Die Intensität der Winterniederschläge dürfte die Wasserverfügbarkeit während der Austriebsphase und in der Folge den Jahrringzuwachs ebenso beeinflussen, obwohl dies im angewandten Klima-Wachstums-Modell nicht zur Geltung kommt (vgl. LINGG 1986). Auch VOEGELI & REINHART (1956) fanden in gleichaltrigen Föhrenbeständen eines Trockenstandortes, daß ein niederschlagsarmer Herbst und Winter eine Verringerung der Frühholzbreiten bedingt.

Die physiologisch empfindlichsten Reaktionen auf Belastung durch Dürrestreß sind ein Rückgang des Turgors und eine Beeinträchtigung des Proteinstoffwechsels. Während die Abnahme des Zellturgors das Elongationswachstum vermindert, wird durch die Störung des Proteinstoffwechsels die Zellteilung durch Hemmung der Mitose unterdrückt (LARCHER 1995). Signifikante Korrelationen zwischen Frühjahrsniederschlägen und Jahrringbreiten dürften deshalb auf indirekte Effekte des verminderten Sproß- und Nadelelongationswachstums (Assimilatproduktion vermindert) sowie auf eine direkte Hemmung der kambialen Aktivität zurückzuführen sein. Eine Verminderung der Photosyntheseleistung durch Regulation der Spaltöffnungen als Reaktion auf Dürrestreß spielt nach Untersuchungen von KÖRNER (1989) bei Kiefern an ähnlich exponierten Standorten eine unbedeutende Rolle.

Die Modellberechnungen deuten auch darauf hin, daß hohe Niederschläge im August und September des Vorjahres ebenso einen Effekt auf die Intensität des Jahrringzuwachses ausüben. Ist nämlich die Photosynthese unter feucht-kühleren Bedingungen im Spätsommer erhöht, so stehen Assimilate vermehrt als Reservestoffe für die kommende Vegetationsperiode zur Verfügung, da die energieverbrauchenden Wachstumsprozesse zu diesem Zeitpunkt weitgehend abgeschlossen sind. Mit beginnender Kambiumaktivität im Frühjahr fördern eingelagerte Reservestof-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

fe das Sproßwachstum als auch die Nadelausbildung, wodurch die potentielle Biomasseproduktion festgelegt wird (FRITTS 1976). Nach KOZLOWSKI et al. (1991) dürfte die Wasserversorgung während der Knospenanlage für die nächstjährige Photosyntheseleistung ebenso bedeutend sein.

Die signifikant negative Beziehung zwischen Mai-Temperatur und Jahrringbreitenzuwachs an mehreren Standorten (Abb. 3) ist ebenfalls ein Indiz dafür, daß eine eingeschränkte Wasserversorgung die kambiale Aktivität reduziert. Da das Sproßwachstum der Kiefer in einem einzelnen Schub im Frühjahr erfolgt, kommt dem Wasserhaushalt während der Austriebsphase eine besondere Bedeutung zu. Hohe Temperaturen bei gleichzeitig starker Sonneneinstrahlung sowie Föhneinfluß (FLIRI 1975) bewirken über gesteigerte Evapotranspirationsraten eine Abnahme der Bodenfeuchte besonders in den oberen Bodenschichten. In der Folge wird auch die Nährstoffversorgung über das oberflächennahe Wurzelsystem beeinträchtigt.

Der Anteil der durch Klimaschwankungen erklärbaren Jahrringvariabilität (Abb. 3) reicht von 46 % (K137) bis zu 62 % (K132). Der letztere Wert entspricht jenen, die auf Trockenstandorten im Rheintal für dieselbe Art gefundenen wurden (KIENAST 1985).

6. Zusammenfassung:

Der ausgeprägte, schlechtwüchsige Habitus der untersuchten Kiefernbestände im Bereich des Tschirgant-Bergsturzes weist auf die generell vorherrschenden, extremen Umweltbedingungen (Nährstoffarmut, Bodentrockenheit) hin. Mit Hilfe eines auf Jahrringanalysen basierenden Klima-Wachstums-Modells konnte gezeigt werden, daß unabhängig von den z.T. stark unterschiedlichen, standörtlichen Gegebenheiten (Exposition, Neigung, Bodentiefe etc.) v.a. geringe Niederschläge zu Beginn der Vegetationsperiode das radiale Baumwachstum signifikant limitieren. Dieser verbreitete Wassermangelstreß wird durch geringe Niederschläge im Frühjahr sowie dem niedrigen Wasserspeicherungsvermögen der skelettreichen, meist flachgründigen Böden induziert.

Die Ergebnisse dieser dendroökologischen Untersuchung zeigen, daß die Analyse mehrerer Waldbestände aus verschiedenen, eng beieinander liegenden Habitaten eine weitergehende Interpretierung ökosystemarer Zusammenhänge erlaubt, als es anhand einer einzelnen Jahrringserie (Standortchronologie) möglich wäre.

Dank: Die Autoren danken Herrn Ass.-Prof. Dr. Helmut Bauer für die hilfreiche Diskussion bei der Ausarbeitung des Manuskripts.

7. Literatur:

ANIOL, R.W. (1983): Tree-ring analysis using CATRAS. – Dendrochronologia **1:** 45 - 53.

BAILLIE, M.G.L. (1995): A slice through time. Dendrochronology and precision dating. – B.T. Batsford Ltd, London, 176 pp.

BAILLIE, M.G.L. & J.R. PILCHER (1973): A simple cross-dating program for tree-ring research. – Tree-Ring Bulletin **38:** 35 - 43.

BARTELS, H. (1993): Gehölzkunde. Einführung in die Dendrologie. – Verlag E. Ulmer, Stuttgart, 336 pp.

BRÄKER, O.U. (1981): Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. – Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien **142:** 75 - 102.

BRIFFA, K. & P.D. JONES (1990): Basic chronology statistics and assessment. – In: COOK E.R. & L.A. KAIRIUKSTIS (Hrsg.): Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 137 - 152.

COOK, E.R. (1987): The decomposition of tree-ring series for environmental studies. – Tree-Ring Bulletin **47:** 37 - 59.

COOK, E.R. & L.A. KAIRIUKSTIS (Hrsg.) (1990): Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 394 pp.

ECKSTEIN, D. & J. BAUCH (1969): Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. – Forstwissenschaftliches Centralblatt **88:** 230 - 250.

ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. – Eugen Ulmer Verlag, 989 pp.

FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols, Folge I. – Universitätsverlag Wagner, Innsbruck-München, 454 pp.

FRITTS, H.C. (1974): Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. – Ecological Monographs **44:** 411 - 440.

– (1976): Tree rings and climate. – Academic Press, London, 567 pp.

FRITTS, H.C., T.J. BLASING, B.P. HAYDEN & J.E. KUTZBACH (1971): Multivariate Techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. – Journal of Applied Meteorology **10:** 845 - 864.

FRITTS, H.C. & A.V. SHASHKIN (1995): Modeling tree-ring structure as related to temperature, precipitation, and day length. – In: LEWIS, T.E. (Hrsg.): Tree rings as indicators of ecosystem health. CRC Press, Boca Raton: 17 - 57.

FRITTS, H.C., D.G. SMITH, J.W. CARDIS & C.A. BUDELSKY (1965): Tree-ring characteristics along a vegetation gradient in northern Arizona. – Ecology **46**(4): 393 - 401.

FRITTS, H.C. & T.W. SWETNAM (1989): Dendroecology: A tool for evaluating variations in past and present forest environments. – Advances in Ecological Research **19:** 111 - 188.

HOLMES, R.L. (1994): Dendrochronology program library user's manual. – Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson.

KIENAST, F. (1985): Dendroökologische Untersuchungen an Höhenprofilen aus verschiedenen Klimabereichen. – PhD dissertation University of Zürich. Switzerland. Juris Verlag, Zürich, 129 pp.

KLEBELSBERG, v. R. (1935): Geologie von Tirol. – Verl. von Gebr. Borntraeger, Berlin, 872 pp.

KÖRNER, Ch. (1989): Die Bedeutung von Wassermangel und winterlicher Schadgasbelastung für das Waldsterben. – In: FÜHRER, E. & F. NEUHUBER (Hrsg.): FIW-Symposium 1988. Waldsterben in Österreich. Theorien, Tendenzen, Therapien. 27. - 28. Oktober 1988, Universität für Bodenkultur, Wien: 127 - 138.

KOZLOWSKI, T.T., P.J. KRAMER & S.G. PALLARDY (1991): The physiological ecology of woody plants. – Academic Press, San Diego, 657 pp.

KRAPFENBAUER, A. (1969). Böden auf Dolomit und Serpentin in ihrer Auswirkung auf die Waldernährung. – Cbl. ges. Forstwesen **86**(4): 189 - 219.

LARCHER, W. (1995): Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups. – Springer Verlag, Berlin, 506 pp.

LINGG, W. (1986): Dendroökologische Studien an Nadelbäumen im alpinen Trockental Wallis (Schweiz). – Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, Berichte Nr. **287.** 81 pp.

MAIR, P. (1997): Die Föhrenwälder der Bergsturzgebiete Tschirgant und Köfels (Tirol). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Botanik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 138 pp.

NIEDERBACHER, P. (1982): Geologisch-tektonische Untersuchungen in den südöstlichen Lechtaler Alpen (Nördliche Kalkalpen, Tirol). – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, Bd. **12**(7): 123 - 154.

PATZELT, G. & G. POSCHER (1993): Der Tschirgant-Bergsturz. Geologie des Oberinntaler Raumes. – Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, Mieming, Tirol: 208 - 213.

PILCHER, J.R. (1990): Sample preparation, cross-dating and measurement. – In: COOK, E.R. & L.A. KAIRIUKSTIS (Hrsg.): Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 40 - 51.

SCHWEINGRUBER, F.H. (1993): Jahrringe und Umwelt – Dendroökologie. – Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf. Schweiz, 474 pp.

STOKES, M.A. & T.L. SMILEY (1968): An introduction to tree-ring dating. – The University of Chicago Press, Chicago, London, 73 pp.

VOEGELI, H. & O. REINHART (1956): Ergebnisse von Jahrringmessungen aus gleichaltrigen Föhrenbeständen. – Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen **107**(7): 407 - 415.

WIGLEY, T.M., K.R. BRIFFA & P.D. JONES (1984): On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. – Journal of Climate and Applied Meteorology **23:** 201 - 213.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: 85

Autor(en)/Author(s): Oberhuber Walter, Mayr Stefan

Artikel/Article: Dendroklimatische Untersuchung von Kiefernbeständen (Pinus sylvestreis) auf Schuttmaterial des Tschirgant-Bergsturzes (Tirol). 35-45