

CO₂-Anstieg und Jahrringbreitentrends bei *Pinus cembra* in den westlichen Zentralalpen Tirols (Österreich)

von

Kurt NICOLUSSI und Sigmar BORTENSCHLAGER *)

CO₂-Increase and Trends of Tree ring widths of *Pinus cembra* in the western central Alps of Tirol (Austria)

Summary: The trends of tree ring widths since the beginning of the industrialization have been investigated by using tree ring material from the Stubai and Oetztal Alps, Tirol. For these studies only series of *Pinus cembra* from locations near the timberline have been used.

It could be observed, that on average the tree ring and early wood widths respectively late wood widths of *Pinus cembra* are about 60 % respectively not quite 25 % larger in the period 1980-1988 than the width values of the period before the middle of the 19th century. This acceleration is mainly caused by the well known increase of temperature. The comparison of periods from the last 120 years, which have had similar temperatures, shows, that the non-climatic caused increase of the means of tree ring and early wood widths respectively late wood widths is about 25 % respectively about 10 %. Thus nearly two thirds of the observed increase of widths values of *Pinus cembra* are produced by the increase of temperature. The non-climatic caused increase of the means of tree ring, early wood and late wood widths can be explained with the antropogenic caused increase of CO₂ in the atmosphere.

1. Einleitung:

Die Diskussion um den CO₂-Anstieg in der Erdatmosphäre, seine Ursachen und dessen mögliche klimatische Konsequenzen werden als bekannt vorausgesetzt. Im Rahmen der CO₂-Problematik (KÖRNER 1993) sind Untersuchungen an Baumjahrenringen reizvoll, da in diesen auch die ökologischen Verhältnisse der vorindustriellen Zeit und damit der Zeit vor dem anthropogen verursachten CO₂-Anstieg gespeichert sind. Die möglichen Auswirkungen der CO₂-Zunahme auf das Jahrringwachstum von Bäumen werden seit der Publikation von LAMARCHE et al. (1984) kontroversiell diskutiert (COOPER 1986, GALE 1986, WIGLEY et al. 1984). Inzwischen liegt, wie eine Zusammenstellung von INNES (1991) zeigt, eine Reihe von Untersuchungen vor, die eine Zunahme der Jahrringbreiten an Bäumen belegen. Die Ergebnisse der bisher publizierten Jahrring-Studien weisen große Diskrepanzen auf: so werden beobachtete Wachstumszunahmen zwischen 20 % und 120 % (BLUM 1991) auf den erhöhten atmosphärischen CO₂-Gehalt zurückgeführt.

*) Anschrift der Verfasser: Dr. K. Nicolussi, Institut für Hochgebirgsforschung der Universität Innsbruck, A-6020 Innsbruck, Innrain 52 und Univ.-Prof. Dr. S. Bortenschlager, Institut für Botanik der Universität Innsbruck, A-6020 Innsbruck, Sternwartestraße 15, Österreich.

Eine rein CO₂-bezogene Erklärung der Jahrringvergrößerungen erscheint schwierig, kommen doch neben der atmosphärischen CO₂-Zunahme auch noch andere Ursachen für mögliche Wachstumszunahmen in Betracht. Zu beachten sind zum einen mögliche Düngungseffekte durch den ebenfalls anthropogen verursachten Stickstoffeintrag und zum anderen vor allem klimatische Änderungen (INNES 1991).

Die Isolierung eines möglichen, durch die CO₂-Zunahme induzierten wachstumsstimulierenden Effektes wird bei den Jahrringuntersuchungen vor allem durch zwei Phänomene erschwert: Einerseits weisen Bäume, abhängig von ihrem Alter, einen Wachstumstrend auf. Nach einer Jugendphase mit zunehmenden Jahrringbreiten nehmen diese im weiteren Verlauf altersbedingt ab (BRÄKER 1981). Andererseits wird die Jahrringbreite wesentlich durch die variablen klimatischen Verhältnisse bestimmt. Diese klimatische Abhängigkeit des Baumwachstums wird von der Dendrochronologie genutzt. Wirksam sind in der Regel verschiedene Klimafaktoren. Der das Jahrringwachstum jeweils bestimmende klimatische Faktor ist abhängig vom ökologischen Umfeld.

Diese beiden Probleme werden in der vorliegenden Studie durch folgenden Ansatz zu bewältigen versucht:

1. Das Problem des Alterstrends wird dadurch gelöst, daß bezüglich des Kambialalters (BRÄKER 1981) etwa gleichaltrige Jahrringe miteinander verglichen werden. Zweitens werden nur Bäume aus dem Waldgrenzbereich untersucht.
2. Da die Waldgrenze in den Alpen eine auf die Vegetationszeit bezogene Wärmemangelgrenze (TRANQUILLINI 1979) ist, kann die Sommertemperatur als der das Jahrringwachstum eindeutig steuernde klimatische Faktor angesehen werden. Bei einem Vergleich temperaturmäßig ähnlicher Perioden können nicht-klimatische Einflüsse auf das Jahrringwachstum isoliert werden.

Eine Untersuchung anhand von Waldgrenzbäumen trägt auch zur Lösung der Frage nach dem möglichen Düngungseffekt durch den in den letzten Jahrzehnten anthropogen verursachten Stickstoffeintrag bei, da an der Waldgrenze das Stickstoffangebot für das Wachstum nicht als limitierender Faktor (TRANQUILLINI 1979) anzunehmen ist.

Durchgeführt wurden die Untersuchungen an *Pinus cembra*, da die potentielle Waldgrenze in den Zentralalpen im allgemeinen von der Zirbe gebildet wird. Der bestimmende klimatische Wachstumsfaktor für *Pinus cembra* an Waldgrenzstandorten ist die Temperatursumme während der Vegetationszeit (GRABHERR 1981).

2. Methodik:

2.1. Feldarbeiten:

In den Öztaler und Stubai Alpen wurden im Sommer und Frühherbst 1989 von Zirben im Waldgrenzbereich mit einem Zuwachsbohrer Holzkerne mit einem Durchmesser von ca. 5 mm geborgen. In der Regel wurden von einer Zirbe in etwa 1,5 m Höhe zwei Kerne erbohrt.

Die Probenentnahme erfolgte in 5 Gebieten (Gurgler Tal, Kaunertal, Kühtai, Radurschel Tal, Venter Tal), die großteils im Bereich des Alpenhauptkammes liegen (Abb. 1, Tab. 1). Die maximale Entfernung zwischen zwei Standorten beträgt rund 45 km. Mit der Wahl der Untersuchungsgebiete wurde versucht, die Auswirkungen eventuell vorhandener Besonderheiten der Waldgeschichte an einem Standort auf den Datensatz zu minimieren, um Verfälschungen möglichst zu vermeiden.

Ziel bei der Auswahl der Bäume im Feld war es, eine gleichmäßige Altersverteilung der Jahrringproben zu erreichen. In allen Arbeitsgebieten wurde die gleiche Höhenstufe erfaßt. Ausgangshöhe war dabei keine fixe Seehöhe, sondern die natürliche Waldgrenzhöhe zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts. Diese Höhengrenze ist im Gelände relativ leicht erkennbar, da unterhalb dieser auch sehr alte Bäume vorkommen. Über dieser Höhenmarke kamen die Zirben jedoch erst nach der Mitte des letzten Jahrhunderts auf. Von dieser in den verschiedenen Gebieten differierenden Waldgrenzhöhe aus wurde der 30 bis 130 Höhenmeter darunterliegende Bereich bearbeitet. Sämtliche Bohrkerne stammen somit aus einer etwa 100 Meter umfassenden Höhenstufe.

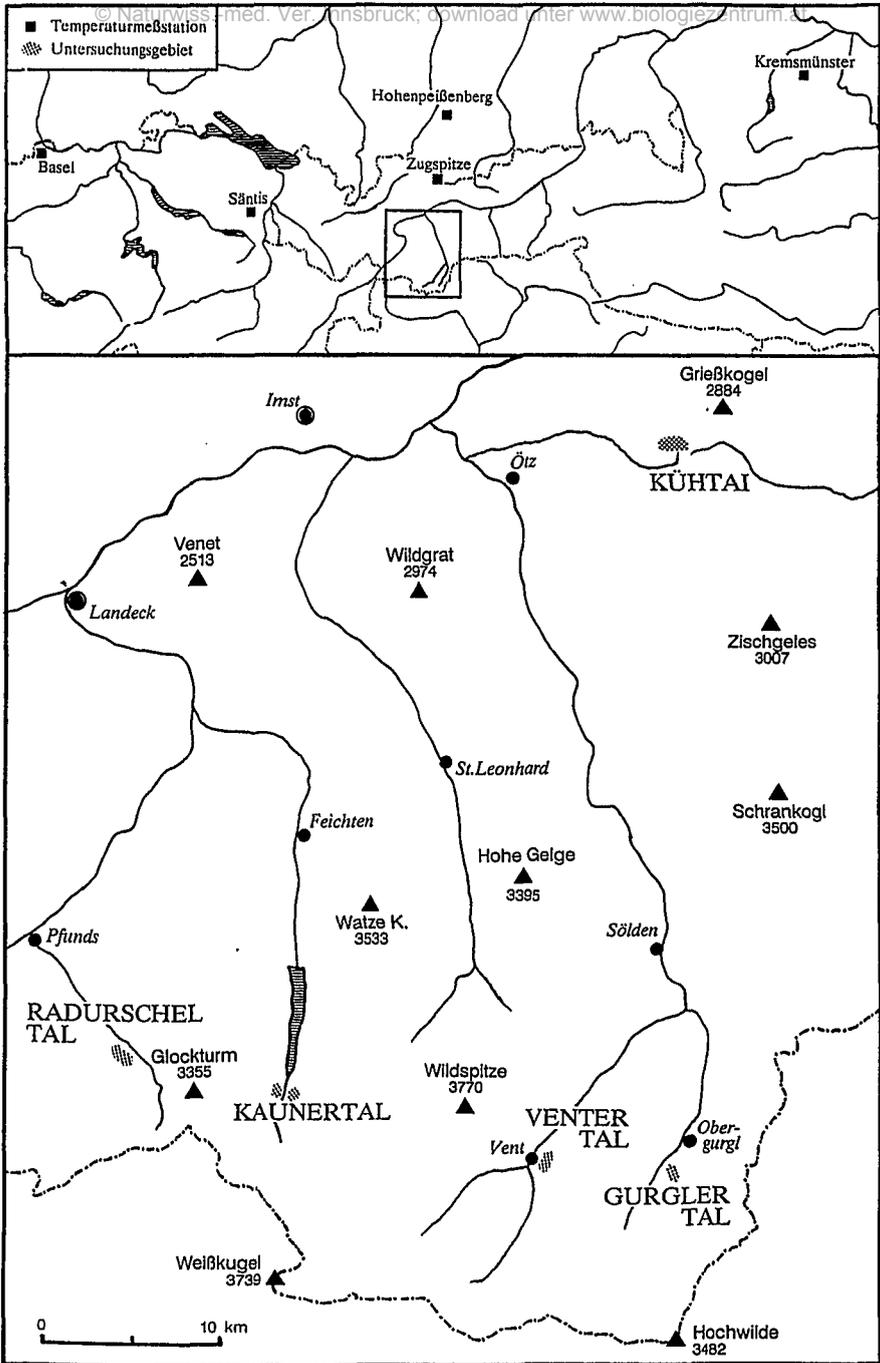


Abb. 1: Lageskizze der Temperaturmeßstationen und Untersuchungsgebiete.

Tab. 1: Untersuchungsgebiete, beprobter Höhenbereich und Anzahl (n) der untersuchten Jahrringreihen (gesamt: 229).

Untersuchungsgebiet	geogr. Breite/Länge	Lokalität	Höhenbereich (m)	Bäume (n)
Radurschel Tal	46° 54' N 10° 38' E	Im Miseri	2150 - 2230	63
Kaunertal	46° 54' N 10° 44' E	Gepatsch-Alm	2140 - 2200	52
Venter Tal	46° 52' N 10° 56' E	Mutsbichl	2170 - 2220	36
Gurgler Tal	46° 51' N 11 01' E	Schönwieskopf	2100 - 2200	13
Kühtai	47° 08' N 11° 00' E	Pirchl-Bach	2130 - 2195	65

Alle Untersuchungsgebiete sind Hanglagen. Im Kühtai und Venter Tal sind die untersuchten Waldbestände großteils geschlossen, nur vereinzelt sind Auflichtungen festzustellen. Im Kaunertal und Radurschel Tal dominieren aufgelockerte Bestände. Gleiches gilt auch für das Gurgler Tal, in dem auch einzeln bzw. in kleinen Gruppen stehende Bäume bearbeitet wurden.

2.2. Radienauswertung:

Von den 517 erbohrten Kernen wurden 490 ausgemessen, 27 Bohrkern konnten nicht ausgewertet werden. An jedem Bohrkern wurden mit einer Meßauflösung von 0.005 mm Frühholz- und Spätholzbreiten getrennt ausgewertet. Insgesamt wurden so 131.194 Breitenwerte ausgemessen. Aus der jeweiligen Frühholz- und Spätholzbreite wurde die Jahringbreite rechnerisch bestimmt. Es sind damit für jedes Jahr und jeden ausgemessenen Bohrkern drei Breitenwerte vorhanden.

Aus den Bohrkernserien wurden zur weiteren Auswertung Baummittelkurven gebildet: insgesamt wurden, in der Regel aus jeweils 2 Einzelreihen, 235 Baumkurven, immer als Jahrring-, Frühholz- und Spätholzreihen, errechnet. Von diesen 235 Baumreihen konnten 229 für diese Studie verwendet werden. Bei diesen Bäumen ließ sich ihr Kambialalter genau bzw. mit einem geschätzten Fehler von maximal 6 Jahren bestimmen. Tab. 1 zeigt die Zahl der dieser Studie zugrundeliegenden Baumreihen und ihre Verteilung auf die verschiedenen Herkunftsgebiete sowie den jeweiligen beprobten Höhenbereich.

Die Baumreihen weisen als letzten vollständigen Jahrring jenen von 1988 bzw. 1989 auf. Die erfaßten Bäume sind durchschnittlich 142 Jahre alt. Der älteste Baum weist 438 Jahrringe auf.

3. Ergebnisse:

3.1. Altersverteilung der beprobten Zirben:

In Abb. 2 ist der Wuchsbeginn der untersuchten Zirben in 5-Jahres-Klassen dargestellt. Es ist zu berücksichtigen, daß sich dieser Wuchsbeginn auf das Alter des Markes in der Höhe der Kernbohrungen, d.h. in Brusthöhe, bezieht. Das Keimen des jeweiligen Baumes ist ca. 10 Jahre früher anzusetzen.

Auffallend sind die vier unbesetzten Klassen um das Jahr 1825. Innerhalb von 20 Jahren ist kein Aufkommen eines Baumes verzeichnet. Ursache hierfür ist die deutliche Klimaverschlechterung um das Jahr 1816. Dieses Jahr weist den kältesten Sommer seit Beginn der Temperaturmessungen in Mitteleuropa auf (Abb. 4). Um das Jahr 1816 ist eine Phase kühler Sommer zu verzeichnen, auch die Sommermittel der Jahre 1813, 1814 und 1821 waren deutlich unterdurchschnittlich. Die Lücke um das Jahr 1825 in Abb. 2 zeigt die Folgen dieser Häufung kühler Sommer für den Waldgrenzbereich. Es kam zu einem Absterben des kurz zuvor aufgekommenen

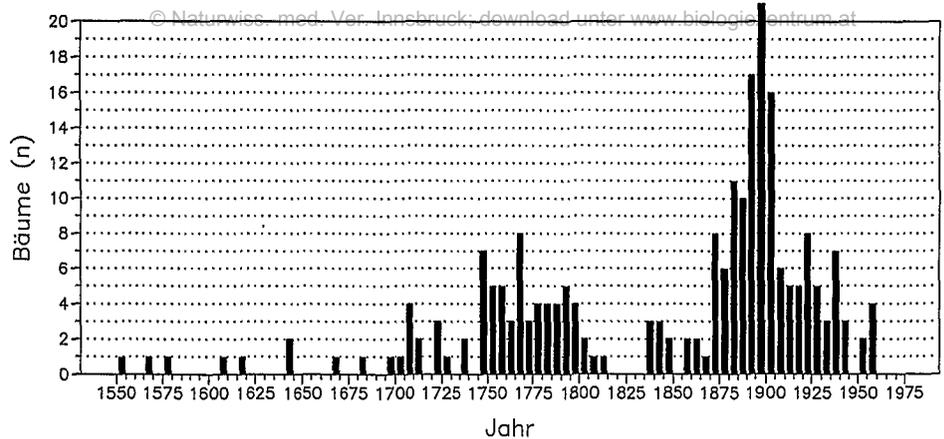


Abb. 2: Wuchsbeginn der untersuchten Zirben in Jahrfünfteln (n = 229).

Jungwuchses und einem Aussetzen der Samenproduktion der überlebenden Bäume für mehrere Jahre.

Gleichzeitig ist anzunehmen, daß die Klimaschwankung um 1816 insgesamt zu einer Depression der Waldgrenze zumindest in den Zentralalpen führte. Die ungünstigen Klimaverhältnisse wirkten sich aber bis in den tiefer liegenden Wald hinein aus. Der Ausfall des Jungwuchses führte dort zu einer Aufflichtung des Waldes. Ältere Bäume erwiesen sich gegenüber der Klimaverschlechterung als resistenter und überlebten diese Periode. Bei diesen Bäumen spiegelt sich diese Periode kühler Sommer aber im Jahrringbild wider: um das Jahr 1820 konnten an mehreren untersuchten Zirben Jahrringausfälle bzw. nicht mehr differenzierbare Jahrringe festgestellt werden. Die ausgewerteten Bohrkerne zeigen auch, daß die Bäume im Mittel rund 10 Jahre brauchen bis wiederum normale Jahrringbreiten erreicht wurden.

Nach 1835 sind die 5-Jahres-Klassen relativ gering besetzt. Eine deutliche Zunahme des Aufkommens von Zirben ist erst ab etwa den 1860er Jahren festzustellen. Insgesamt fällt diese Periode geringen Zirbennachwuchses mit der Phase eines gletscherfreundlichen Klimas zusammen, das zu einem allgemeinen Gletscherhochstand um das Jahr 1855 führte.

Nach 1870 sind die 5-Jahres-Klassen deutlich stärker belegt; mit einem Anteil von ca. 9% an der Gesamtstichprobe ist die Klasse der rund 95-jährigen Reihen am stärksten besetzt. Der folgende Abfall gegen niedrige Baumalter hin ist nicht klimatisch bedingt, sondern auf die im Gelände erfolgte Auswahl der angebohrten Zirben zurückzuführen.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts ist jede 5-Jahres-Klasse mit zumindest 3 Zirben besetzt. Die angedeutete Häufung um 1750 läßt sich, wie nach 1860, wiederum mit einer Phase eines Gletscherrückganges in Verbindung bringen. Mehr als 250 Jahre alte Bäume sind nur vereinzelt erfaßt worden; eine Diskussion von Klimaeinflüssen auf das Aufkommen der Zirben muß deshalb entfallen. Die Altersverteilung der untersuchten Zirben belegt, daß Klimaschwankungen im Waldgrenzbereich nicht nur ein Sinken oder Steigen der Waldgrenze verursachen, sondern auch im bestehenden Wald zu Bestandesveränderungen führen (Abb. 2).

3.2. Untersuchung des Breitentrends:

Eine weitere Hauptfrage ist, ob sich ein langfristiger Trend bei den Jahrring-, Frühholz- oder Spätholzbreiten der Zirben abzeichnet. Für diese Untersuchung wurde von den zugrundeliegenden 229 Bäumen jeweils der Altersabschnitt vom 80. bis 90. Wuchsjahr, im folgenden "Alters-

klasse 80-90^{er} genannt, ausgewählt. Das Wuchsjahr gibt dabei die Jahreszahl des Kambialalters an. Das letzte, in die Untersuchung eingehende Kalenderjahr ist jeweils 1988. Bei Zirben von Waldgrenzstandorten ist vom 80. bis zum 90. Wuchsjahr aufgrund des allgemeinen Wachstumstrends bei den Jahrring- und Frühholzwerten mit einer durchschnittlichen Breitenabnahme von etwa 7%, bei den Spätholzwerten von etwa 2% zu rechnen. Dieser Alterstrend ist bei den in Abb. 3 dargestellten Werten nicht eliminiert, spielt aber im Verhältnis zu den auftretenden Standardabweichungen eine untergeordnete Rolle.

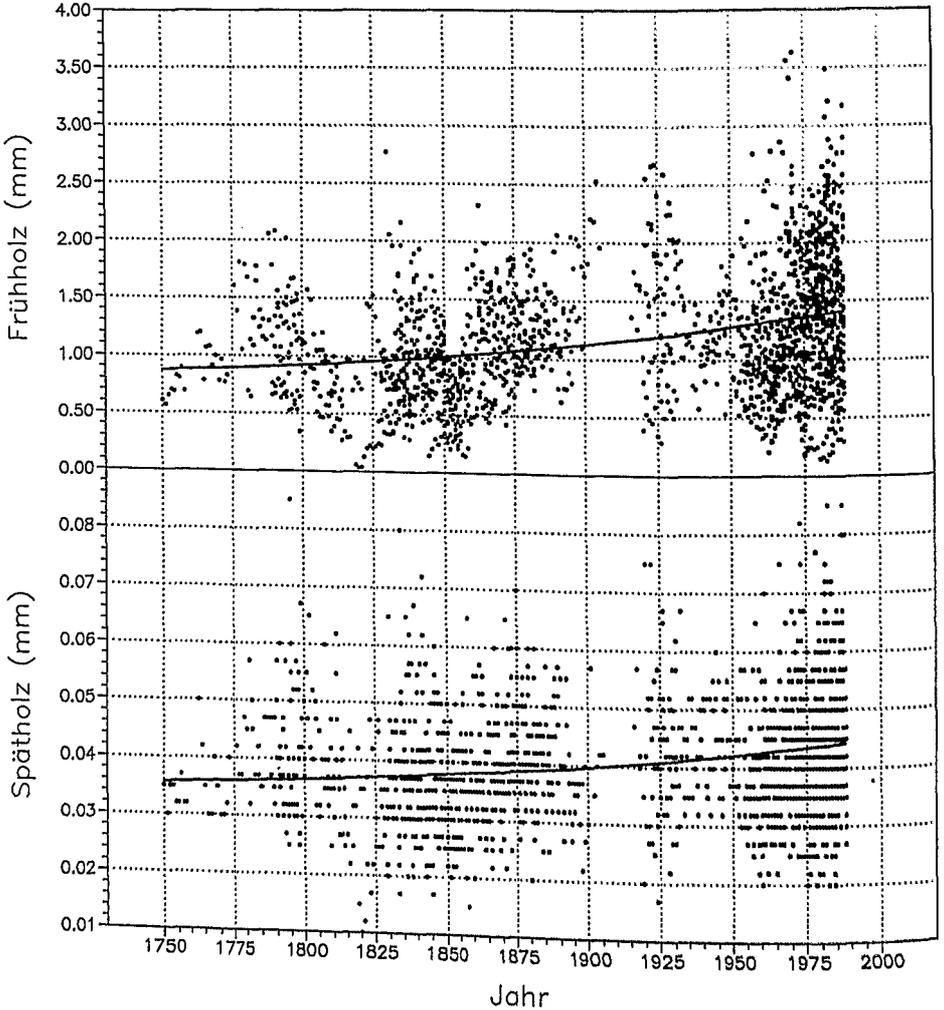


Abb. 3: Breitenwerte der Altersklasse vom 80. bis 90. Wuchsjahr (n = 1826).

In der Altersklasse 80-90 der untersuchten Zirben beträgt der Spätholzanteil an der gesamten Jahrringbreite nur ca. 4%. Die Differenz zwischen Jahrring- und Frühholzbreite ist damit vernachlässigbar gering. In Abb. 3 werden deshalb neben den Spätholzwerten nur die Frühholzbreiten dargestellt.

© Notwiss.-red. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Die Verteilung der Breitenwerte ist zeitlich ungleichmäßig. Dies ist durch die Altersstruktur der untersuchten Bäume bedingt. Die "fehlenden" Bäume aus den Jahren um 1825 führten bei den 80- bis 90-jährigen Zirben zu der Lücke um 1910.

Sowohl die Frühholz- als auch die Spätholzwerte zeigen einen deutlichen Trend zu größeren Breiten. Beim Frühholz – und damit dem Jahrring – ist diese Entwicklung deutlicher ausgeprägt als beim Spätholz. In Abb. 3 ist deutlich erkennbar, daß dieser Breitentrend beim Frühholz/Jahrring insbesondere auf eine Zunahme der großen Breitenwerte während der letzten Jahrzehnte zurückzuführen ist. Diese Zunahme sehr großer Breitenwerte verursacht auch einen deutlichen Anstieg der Standardabweichungen.

In der Altersklasse 80-90 sind die Jahrring-/Frühholzbreiten im 20. Jahrhundert im Mittel ($n = 1042$) um 33 % größer als bei den Werten ($n = 784$) aus der Zeit vor 1900. Beim Spätholz läßt sich hingegen nur ein durchschnittlicher Anstieg der Breitenwerte von 13 % feststellen. Zieht man zur Ergänzung dieser Beobachtungen an der Altersklasse 80-90 andere Altersbereiche heran, so ergeben sich praktisch idente Werte für diese Breitenzunahme.

Aufschlußreich ist ein Vergleich der Breitenwerte aus den letzten erfaßten Jahren, der Zeitspanne 1980/88, mit den Werten aus den Jahren vor 1856. Diese Periode vor der Mitte des 19. Jahrhunderts zählt nicht nur zum klimatisch relativ ungünstigen sogenannten "Little Ice Age", sondern deckt sich gleichzeitig mit der vor- und frühindustriellen Zeit. In den Jahren vor 1856 ist die anthropogene Beeinflussung der Atmosphäre zumindest im alpinen Bereich noch vernachlässigbar gering. Der Vergleich zeigt, daß das Mittel der Jahrring-/Frühholzbreiten der Altersklasse 80-90 der Jahre 1980/88 ($n = 350$) um rund 65 %, jenes der Spätholzbreiten um 27 % über jenem der Jahre vor 1856 ($n = 547$) liegt.

Zum Vergleich wurden die Altersklassen vom 50. bis 60., bzw. vom 180. bis 200. Jahrring herangezogen. Die Vergleichsabschnitte dieser Altersklassen sind allerdings großteils deutlich geringer besetzt als jene der Altersklasse 80-90. Das Mittel der Jahrring-/Frühholzbreiten der Altersklasse 50-60 der Jahre 1980/88 ($n = 102$) liegt rund 54 %, jenes der Spätholzbreiten 23 % über jenem der Jahre vor 1856 ($n = 814$). Bezüglich der Altersklasse 180-200 sind die Jahrring-/Frühholzbreiten der Jahre 1980/88 ($n = 139$) durchschnittlich ca. 53 %, die Spätholzbreiten im Mittel 16 % breiter als jene der Jahre vor 1856 ($n = 126$). Insgesamt liegen die Jahrring-/Frühholzwerte aus den 1980er Jahren um rund 60 %, die Spätholzwerte um knapp 25 % über dem Breitenniveau der Zeit vor etwa der Mitte des 19. Jahrhunderts.

3.2.1. Breitenänderungen zwischen klimatisch vergleichbaren Perioden:

Die dargestellte deutliche Zunahme der Jahrring-/Frühholzbreiten in diesem Jahrhundert könnte rein klimatische Ursachen besitzen, da seit etwa 100 Jahren weltweit auch ein Temperaturanstieg von etwa $0.3-0.6^{\circ}\text{C}$ (BLUM 1991) beobachtet wurde. Dieser Temperaturanstieg ist in ähnlicher Dimension auch im Alpenraum festzustellen (PATZELT & AELLEN 1990). Wegen der wachstumsbegünstigenden Auswirkungen dieser Klimaverbesserung auf *Pinus cembra* können nur bezüglich der Sommertemperatur ähnliche Perioden miteinander verglichen werden.

Von großem Vorteil ist, daß für das Jahrringwachstum der Zirben an Waldgrenzstandorten die Sommertemperatur der bestimmende Faktor ist. Die räumliche Variation der Temperatur ist relativ gering, womit auch vergleichsweise weit von den Untersuchungsgebieten entfernte Stationen verwendet werden können. Es existieren im Bereich der Alpen verhältnismäßig lange Beobachtungsreihen. Ab etwa der Mitte des 18. Jahrhunderts liegen Temperaturmessungen vor. Gegenüber der Temperatur weisen andere Klimaelemente, wie Sonnenscheindauer und Niederschlag, eine vergleichsweise deutlich größere räumliche Variabilität auf, auch sind lange und homogene Reihen kaum verfügbar.

3.2.2. Temperaturreihen:

Für den Vergleich temperaturmäßig ähnlicher Perioden ist eine Auswahl entsprechender Zeitabschnitte auf der Basis langer Temperaturreihen nötig. Verwendet werden für die Auswahl der Vergleichsperioden die Reihen der im nördlichen Alpenvorland gelegenen Stationen Kremsmünster (Beobachtungsbeginn: 1796), Hohenpeißenberg (1781) und Basel (1755), sowie die Reihen der in den Nordalpen gelegenen Bergstationen Säntis (1864) und Zugspitze (1901). Abb. 1 zeigt die Lage der Meßstationen.

Für diese 5 Beobachtungsstationen wurden für alle Monatswerte die Abweichungen vom entsprechenden Monatsmittel der Standardperiode 1901 - 1950 berechnet. Auf der Basis dieser nun relativen Temperaturreihen wurden in einem weiteren Schritt die Stationsserien gemittelt und Temperaturreihen für jeden Monat bzw. für bestimmte Saisonen und das ganze Jahr erstellt.

Abb. 4 zeigt die Reihen für das Jahres- und das Sommertemperaturmittel für die Jahre 1755 - 1988. Zur Berechnung des Sommermittels wurden die Monatswerte von Mai bis September (Vegetationsperiode im Hochgebirge) herangezogen. Zusätzlich zu den Jahres- bzw. Sommermitteln ist auch ein 8-jähriges Temperaturmittel, bezogen jeweils auf das letzte verwendete Jahr, eingezeichnet. Zur Berechnung der in Abb. 4 verwendeten Standardabweichungen wurde die ganze Periodenlänge herangezogen.

Der Schwankungsbereich der Jahresmitteltemperatur (I - XII) beträgt bei der 234 Jahre umfassenden Meßperiode ca. 3° C. Die Temperaturwerte für die Jahrzehnte bis ca. 1810 müssen mit Vorsicht betrachtet werden, da diese z.T. als zu warm anzeigend gelten (SCHÜEPP & GENS- LER 1986). Dies betrifft die relativ warme Phase um 1800. Das 19. Jahrhundert ist durch 3 Perioden (um 1815, um 1850, um 1880/90) mit niedrigen Temperaturen geprägt. Mit der letztgenannten Depression beginnt der vieldiskutierte Anstieg der Jahresmitteltemperatur. Der Höhepunkt dieses Temperaturanstieges wird im Alpenraum um 1950 erreicht. Die daran anschließende Periode ist durch eine bis ca. 1980 dauernde Abkühlung, auf die ein neuerlicher Temperaturanstieg folgt, gekennzeichnet.

Der Schwankungsbereich der Sommermitteltemperatur (V - IX) ist mit ca. 4.5° C deutlich größer als jener des Jahreswertes. Der Verlauf der Schwankungen der Sommertemperatur ist jedoch ähnlich jener des Jahresmittels. Die relativ warme Phase des späten 18. und frühen 19. Jahrhunderts wird durch den deutlichen Temperatureinbruch um 1815 beendet. Das Jahr 1816 weist das niedrigste Sommermittel der gesamten Meßperiode auf. Nach der Temperaturdepression um 1850 werden in den 1860er Jahren Sommertemperaturen erreicht, die vergleichbar jenen der 1980er Jahren sind. Nach der kühlen Phase um 1880/90 und einer kurzen Periode günstiger Jahre nach 1900 treten wiederum zwischen 1910 und 1920 gehäuft kühle Sommer auf. Der folgende deutliche Temperaturanstieg erreicht sein Maximum im alpinen Bereich um das Jahr 1950. Innerhalb von 3 Jahrzehnten stieg dabei das 8-jährige Mittel der Sommertemperatur um ca. 1.5° C an. Der diesem Maximum folgende Rückgang der Sommertemperatur betrug ca. 1° C (PATZELT 1987). Erst nach 1980 kam es im Alpenraum wiederum zu einem deutlichen Anstieg der Sommermitteltemperatur.

Bei einem Vergleich der Frühholz- bzw. Spätholzbreiten in Abb. 3 und der Temperaturreihen in Abb. 4 lassen sich die Depressionsphasen der Sommermitteltemperatur um 1815/20 und um 1850 deutlich erkennen. Aber auch Perioden günstiger Wachstumsbedingungen drücken sich in einer Häufung relativ großer Breitenwerte um 1800 bzw. um 1870 sowohl beim Frühholz als auch beim Spätholz aus. Die nach 1900 stark schwankenden Belegzahlen erschweren im 20. Jahrhundert einen Vergleich.

Bestimmend für die Auswahl der Vergleichsperioden waren die Sommertemperaturwerte. Dabei wurde von den Mitteln der 1980er Jahre, genau 1980/88, ausgegangen, da ein eventueller wachstumsbegünstigender Effekt der CO₂-Zunahme sich in diesem Zeitabschnitt am deutlichsten auswirken mußte. Wie Abb. 4 zeigt, stehen zu den Temperaturverhältnissen der Jahre 1980/

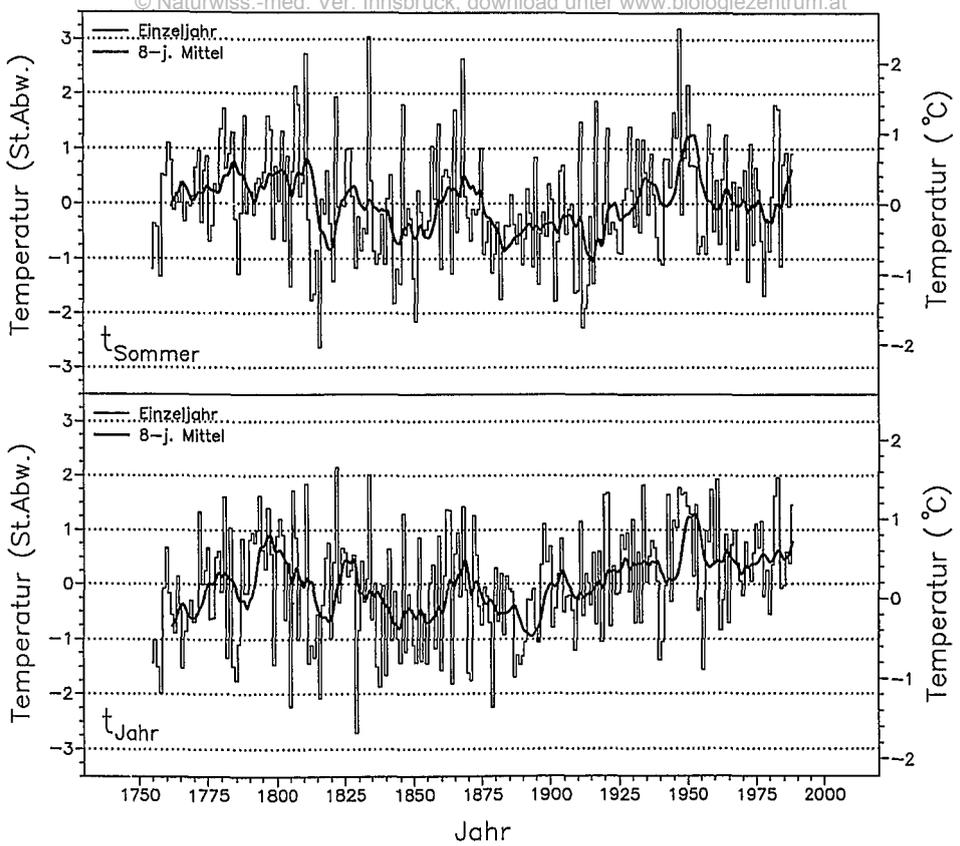


Abb. 4: Reihen der Jahres- (I - XII, t_{Jahr}) und Sommermitteltemperatur (V - IX, t_{Sommer}) im nördlichen Alpenraum im Zeitraum 1755 - 1988, aufgetragen sind die Abweichungen des Jahreswertes und des 8-jährigen Mittels (als Standardabweichungen und °C) vom Mittel der Standardperiode 1901 - 1950.

88 nur wenige ähnlich Perioden zur Auswahl. Die Jahrzehnte vor 1815 sind auszuschließen, da die Temperaturwerte vor diesem Zeitpunkt als wenig verlässlich zu betrachten sind und weiters relativ wenige Bäume zur Verfügung stehen. Eine Einbeziehung der vergleichsweise warmen Phase um 1825 erwies sich als nicht sinnvoll, da sich die Folgen des Klimaeinbruchs der Jahre um 1816 noch deutlich im Jahrringbild der Proben abzeichnen. Mit den Sommertemperaturmitteln der 1980er Jahre vergleichbare Perioden fallen in die 1860er und 1930er Jahre. Um das Jahr 1950 lag das Niveau der Sommertemperatur im Alpenraum deutlich über jenem der 1980er Jahre.

Für den Vergleich der Jahringentwicklung wurden neben 1980/88 die Jahresabschnitte 1932/38 und 1862/69 ausgewählt. Dabei dient die Phase 1862/69 als Referenz für die vor- bzw. frühindustrielle Zeit mit vergleichsweise geringer anthropogener Beeinflussung der Atmosphäre. Die Periode 1932/38 eignet sich als Zwischenschritt zur Überprüfung der Entwicklung, während die Jahre 1980/88 die rezenten atmosphärischen Verhältnisse repräsentieren.

Die Mittel für die Sommer- und Jahrestemperatur dieser Vergleichsperioden zeigt Tab. 2. Zwischen den verschiedenen Zeitabschnitten sind praktisch keine Unterschiede vorhanden. Bei der Jahresmitteltemperatur beträgt der Unterschied maximal 0.13° C.

Tab. 2: Abweichungen der Sommer- und Jahresmitteltemperatur (°C) im nördlichen Alpenraum von der Standardperiode 1901-1950, errechnet für die Perioden 1862/69, 1932/38 und 1980/88. Angegeben werden Periodenmittel und Standardabweichungen.

Periode	Sommer [V - IX] (°C)		Jahr [I - XII] (°C)	
	$\bar{\sigma}$	σ	$\bar{\sigma}$	σ
1862/69	0.37	0.95	0.12	0.76
1932/38	0.35	0.52	0.18	0.53
1980/88	0.35	0.80	0.25	0.59

3.2.3. CO₂-Anstieg während der Vergleichsperioden:

Bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts blieb der anthropogen verursachte CO₂-Anstieg in der Erdatmosphäre vernachlässigbar gering. Somit entsprechen die Verhältnisse der Eichperiode 1862/69 praktisch jenen der vorindustriellen Zeit. Zwischen 1862/69 und 1980/88 stieg der CO₂-Gehalt der Atmosphäre um etwa 20 % an, von etwa 288 ppm auf ca. 345 ppm (IDSO 1989). Die Zunahme erfolgte ungleichmäßig: zwischen 1862/69 und 1932/32 betrug der CO₂-Anstieg nur etwa 6 %, zwischen 1932/38 und 1980/88 jedoch ca. 13 %.

3.2.4. Vergleich der Breitenwerte verschiedener Zeitabschnitte:

Für den Breitenvergleich zwischen den ausgewählten Zeitperioden wurden zwei unterschiedliche Jahrring-Altersklassen ausgewählt. Zum einen wurde wiederum der Bereich um das 90. Wuchsjahr herangezogen. Berücksichtigt wurden hierfür die 25 Jahre umfassende Altersklasse vom 78. bis zum 102. Wuchsjahr, im folgenden "Altersklasse 90 ± 12" genannt. Zum anderen wurde der Altersabschnitt um das 175. Wuchsjahr – vom 150. bis zum 200. Wuchsjahr, – im folgenden kurz als "Altersklasse 175 ± 25" bezeichnet, einbezogen.

Es ist zu betonen, daß durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen Altersklassen somit auch zwei voneinander unabhängige Stichproben zur Verfügung stehen. Die Ergebnisse der Breitenentwicklung der einen Altersklasse können durch die Resultate der anderen Klasse überprüft werden.

Die Wahl der beiden Altersklassen erfolgte nicht willkürlich, sondern im Hinblick auf die aus Abb. 2 ablesbare ungleichmäßige Altersverteilung der ausgewerteten Bäume. Mit der Altersklasse 90 ± 12 sind die 1980er sowie die 1860er Jahre mit relativ großen Stichprobenzahlen erfaßt. Gleiches gilt bezüglich der Altersklasse 175 ± 25 für die 1930er und 1980er Jahre, während in dieser Altersklasse die Periode 1862/69 vergleichsweise schwach belegt ist.

Die Jahrring-Altersklassen wurden relativ groß gewählt, um im Hinblick auf die Aussagegesicherheit eine möglichst große Stichprobenzahl zu erhalten. Dies gilt insbesondere für die Altersklasse 175 ± 25, da der Anteil der mehr als 150-jährigen Bäume an der Gesamtmenge der untersuchten Zirben bereits relativ gering ist.

Die Wahl dieser relativ weit gespannten Jahrringbereiche hat den Nachteil, daß dadurch der Alterstrend der Bäume bereits spürbare Auswirkungen besitzt. Weichen die mittleren Stichprobenalter stark vom jeweiligen Zentralwert der Altersklassen, dem 90. bzw. 175. Wuchsjahr, ab, sind verfälschte Mittel der Breitenwerte zu erwarten. Deshalb wurden jene Breitenwerte, die ein vom 90. bzw. 175. Wuchsjahr abweichendes Kambialalter aufweisen, mit Hilfe von Alterstrendkurven auf den Zentralwert reduziert.

Verwendet wurden hierfür allerdings keine individuellen, für die 3 Breitenreihen jedes einzelnen Baumes speziell erstellte Ausgleichskurven (BRÄKER 1981), sondern aus den für diese Untersuchung ausgewerteten Zirbenreihen wurden, getrennt für Jahrring, Frühholz und Spät-

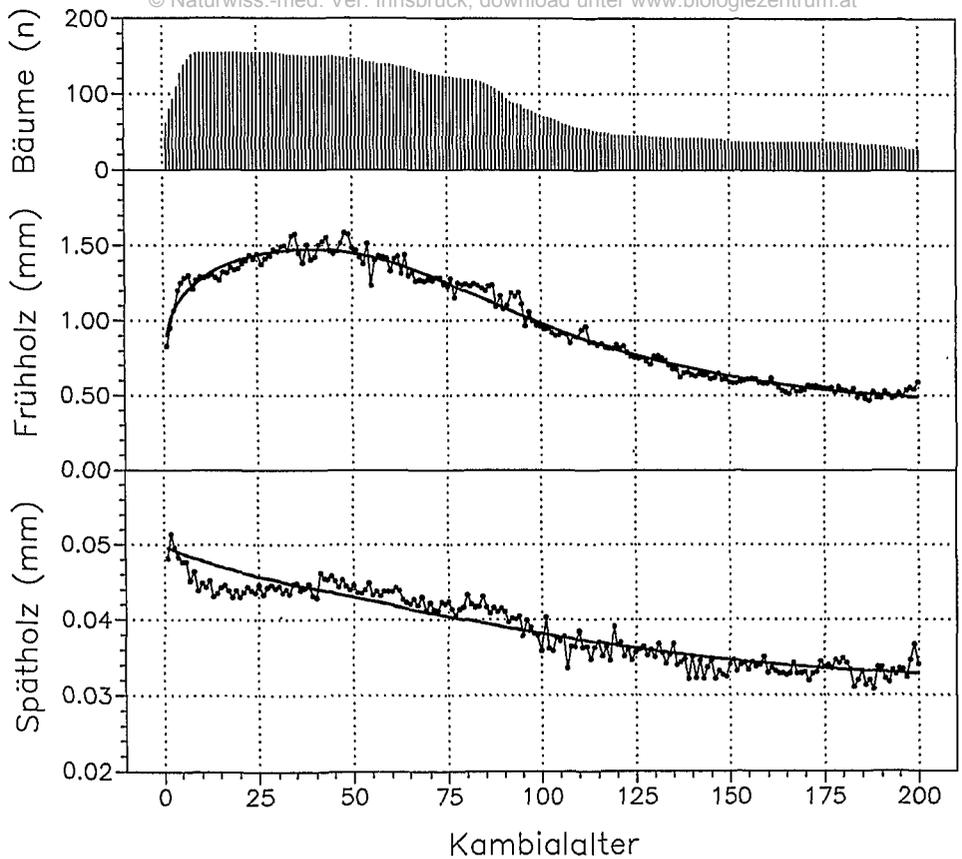


Abb. 5: Mittelkurven der Frühholz- und Spätholzbreiten (mm) mit zugehörigen Alterstrendkurven und Anzahl der zugrundeliegenden Baumreihen.

holz, Mittelkurven gebildet. Für diese Mittelreihen wurden anschließend Alterstrendkurven berechnet.

Abb. 5 zeigt die so erstellten Mittelkurven für das Früh- bzw. Spätholz sowie die zugehörigen Alterstrendkurven vom 1. bis 200. Wuchsjahr. Auf die Veranschaulichung der Jahrringreihe wurde verzichtet, da diese mit der Frühholzdarstellung praktisch ident ist. Weiters wird in Abb. 5 die Zahl der in die Mittelbildung eingehenden Bäume gezeigt. Die Mittelkurven sind zwischen 27fach und 154fach belegt. Verwendet wurden für die Erstellung der Mittelkurven der Jahrring-, Frühholz- und Spätholzweite nur Baumreihen, deren Kambialalter genau bzw. mit einem Fehler von maximal 2 Jahren bestimmen werden konnte.

Mit den Alterstrendkurven kann bestimmt werden, daß beispielsweise die Jahrringbreite des 150. Wuchsjahres einer Zirbe eine im Mittel um 19 % größere Breite aufweist, als bei einem Kambialalter von 175 Jahren zu erwarten ist. Hingegen ist der Jahrring des 200. Wuchsjahres um durchschnittlich ca. 12 % schmaler als jener des 175. Wuchsjahres. Zur Ausschaltung des Alterstrends innerhalb der beiden ausgewählten Altersklasse wurden deshalb die gemessenen Breitenwerte, ausgehend vom Wuchsjahr und der entsprechenden prozentuellen Differenz, auf das 90. bzw. 175. Wuchsjahr reduziert. In der Altersklasse 175 ± 25 wurden beispielsweise die Jahrring-

breiten des jeweils 150. Wuchsjahres um etwa 19% vermindert, jene des 165. Wuchsjahres aber nur um rund 7%. Hingegen wurden die Jahrringbreiten des jeweils 200. Wuchsjahres um ca. 12%, jene des 190. Wuchsjahres jedoch nur um rund 8% erhöht.

Für die Jahrring- und Frühholzbreiten der Altersklasse 90 ± 12 bedeutet dieser Trendausgleich für die einzelnen Breitenwerte eine Änderung von maximal ca. $\pm 9\%$, für die entsprechenden Spätholzbreiten von bis zu ca. $\pm 3\%$. Bei der Altersklasse 175 ± 25 betragen die Änderungen für die Jahrring- bzw. Frühholzbreiten bis zu ca. $+12\%$ bzw. -19% , für die Spätholzbreiten bis zu etwa $+2\%$ bzw. -3% .

Die Mittelwerte in den Tabellen 3 und 4 beruhen bereits auf den reduzierten Breitenwerten. Angeführt sind auch die mittleren Kambialalter der in den jeweiligen Vergleichsperioden erfaßten Jahrringe. In der Altersklasse 90 ± 12 weisen die errechneten Durchschnittsalter mit 91.1, 91.4 bzw. 89.2 Jahren kaum Abweichungen vom Zentralwert, dem 90. Wuchsjahr, auf. Daher sind auch die Auswirkungen des Alterstrendausgleichs in dieser Altersklasse sehr gering. Bei der Altersklasse 175 ± 25 wäre aufgrund der mit 163.7, 172.3 bzw. 187.4 Wuchsjahren deutlich unterschiedlichen durchschnittlichen Kambialalter der Vergleichsperioden ohne einen Ausgleich des Alterstrends hingegen keine sinnvolle Gegenüberstellung der Breitenmittel möglich gewesen. Dies gilt vor allem für die Jahrring- und Frühholzbreiten. Bei den Spätholzbreiten sind die Auswirkungen des vorgenommenen Alterstrendausgleichs in beiden Altersklassen mit maximal 3% insgesamt sehr gering.

Tab. 3: Mittlere Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreiten (mm), Anzahl der Breitenwerte (n), mittlere Standorthöhe (m) bezogen auf die Waldgrenzhöhe zur Mitte des 19. Jahrhunderts und mittleres Baumalter der Zirben-Altersklasse 90 ± 12 für die Perioden 1862/69, 1932/38 und 1980/88.

Periode	Altersklasse 90 ± 12								
	Jahrringbreite (mm)		Frühholzbreite (mm)		Spätholzbreite (mm)		n	Höhe (m)	Baumalter
	$\bar{\varnothing}$	σ	$\bar{\varnothing}$	σ	$\bar{\varnothing}$	σ			
1862-69	1.170	0.405	1.131	0.403	0.039	0.010	189	-74.3	91.1
1932-38	1.291	0.480	1.251	0.478	0.040	0.009	64	-82.2	91.4
1980-88	1.454	0.672	1.408	0.667	0.046	0.012	650	-78.2	89.2

Tab. 4: Mittlere Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreiten (mm), Anzahl der Breitenwerte (n), mittlere Standorthöhe (m) bezogen auf die Waldgrenzhöhe zur Mitte des 19. Jahrhunderts und mittleres Baumalter der Zirben-Altersklasse 175 ± 25 für die Perioden 1862/69, 1932/38 und 1980/88.

Periode	Altersklasse 175 ± 25								
	Jahrringbreite (mm)		Frühholzbreite (mm)		Spätholzbreite (mm)		n	Höhe (m)	Baumalter
	$\bar{\varnothing}$	σ	$\bar{\varnothing}$	σ	$\bar{\varnothing}$	σ			
1862-69	0.611	0.217	0.575	0.213	0.035	0.008	83	-93.9	163.7
1932-38	0.659	0.247	0.624	0.243	0.034	0.008	314	-76.2	172.3
1980-88	0.757	0.432	0.721	0.428	0.036	0.009	171	-79.8	187.4

Die Zahlen zur mittleren Meereshöhe der Standorte in den Tabellen 3 und 4 sind negativ, da sich die Höhenangaben auf die Waldgrenzhöhe zur Mitte des 19. Jahrhunderts beziehen, und die lag, im Vergleich zur beprobten Höhenstufe, höher. In der erfaßten Höhenzone ist ein Zusam-

menhang zwischen Standorthöhe und den Wachstumsergebnissen festzustellen. So beträgt die durchschnittliche Breitenabnahme mit zunehmender Seehöhe bei – sehr großen Streuungen – bezüglich der Jahrring- und Frühholzbreiten in der Altersklasse 90 ± 12 ca. 4 % je 10 Höhenmeter, in der Altersklasse 175 ± 25 hingegen nur etwa 1 % je 10 Höhenmeter. In beiden Altersklassen liegt der entsprechende Wert für die Spätholzbreiten bei knapp 2 %. Der Einfluß der mittleren Standorthöhe auf die Mittel der Jahrring-, Frühholz- und Spätholzwerke ist somit vernachlässigbar gering. Entsprechend wurde ein Ausgleich des Einflusses der Baumstandorthöhe auf die Breitenwerte nicht vorgenommen. Ein solcher Ausgleich würde in Tabelle 5 zu Betragsänderungen der Prozentwerte von maximal 3 % führen.

Tab. 5: Änderung des Mittels der Jahrring- (JR), Frühholz- (FH) und Spätholzbreiten (SH) der Altersklassen 90 ± 12 und 175 ± 25 in Prozent. Angegeben sind t-Werte und Signifikanzgrenzen.

		1932-38						
Periode		Altersklasse 90 ± 12			Altersklasse 175 ± 25			Ø (%)
		(%)	(t-Wert)	(p)	(%)	(t-Wert)	(p)	
Jahrringbreite	1862-69	+10.3	1.81	0.073	+7.9	1.75	0.082	+9.1
	1932-38	–	–	–	–	–	–	–
Frühholzbreite	1862-69	+10.6	1.81	0.074	+8.5	1.81	0.073	+9.6
	1932-38	–	–	–	–	–	–	–
Spätholzbreite	1862-69	+ 2.3	0.70	0.488	–1.1	0.48	0.630	+0.6
	1932-38	–	–	–	–	–	–	–

		1980-88						
Periode		Altersklasse 90 ± 12			Altersklasse 175 ± 25			Ø (%)
		(%)	(t-Wert)	(p)	(%)	(t-Wert)	(p)	
Jahrringbreite	1862-69	+24.3	7.18	<0.001	+24.0	3.60	<0.001	+24.2
	1932-38	+12.6	2.48	0.015	+14.9	2.74	0.007	+13.8
Frühholzbreite	1862-69	+24.5	7.05	<0.001	+25.4	3.64	<0.001	+25.0
	1932-38	+12.5	2.41	0.018	+15.6	2.74	0.007	+14.1
Spätholzbreite	1862-69	+16.8	7.49	<0.001	+4.0	1.33	0.186	+10.4
	1932-38	+14.2	4.86	<0.001	+5.2	2.29	0.023	+ 9.7

Wegen der geringen Breitendifferenzen zwischen Jahrring und Frühholz werden bei der grafischen Darstellung der Vergleichsperioden in Abb. 6 neben den Spätholzbreiten nur die Frühholzwerte berücksichtigt. Um die jeweiligen Daten – Frühholz und Spätholz bzw. die Altersklassen 90 ± 12 und 175 ± 25 – leichter vergleichen zu können, erfolgt die Darstellung nicht in mm, sondern unter Verwendung von Standardabweichungen als Einheit. Diese Darstellungsart wurde gewählt, da die verschiedenen Klassen unterschiedliche Breitenniveaus aufweisen.

Beispielsweise bilden die Frühholzwerte der Altersklasse 90 ± 12 aus den drei Vergleichsperioden eine solche Berechnungsbasis. Zuerst wird das arithmetische Mittel und die Standardabweichung bestimmt. In zwei weiteren Schritten wird das arithmetische Mittel von jedem einzelnen Breitenwert abgezogen und das Ergebnis durch den Betrag der Standardabweichung dividiert. Ein Breitenwert mit dem Betrag 0 entspricht dabei dem arithmetischen Mittel. Die verschiedenen

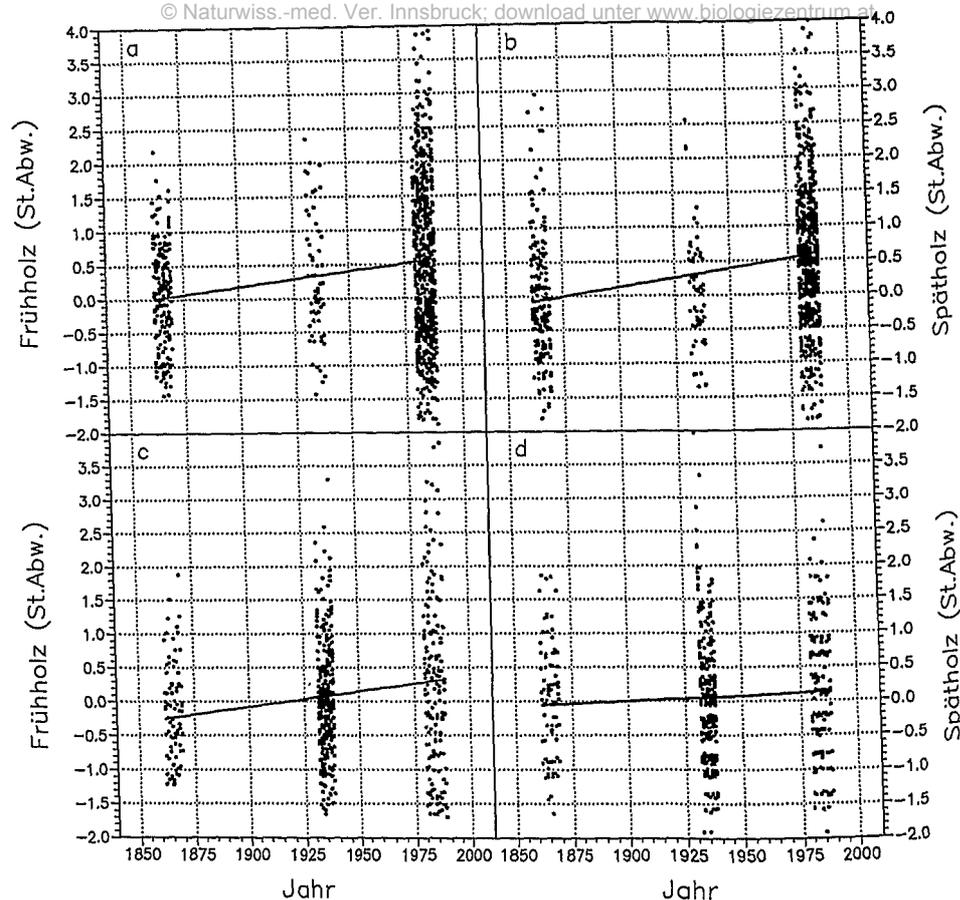


Abb. 6: Frühholz- und Spätholzbreiten sowie Regressionsgeraden der Altersklassen 90 ± 12 bzw. 175 ± 25 in den Vergleichsperioden 1862/69, 1932/38 und 1980/88, in Standardabweichungen (Erläuterungen im Text): a) Frühholz, Altersklasse 90 ± 12 , $n = 903$; b) Spätholz, Altersklasse 90 ± 12 , $n = 903$; c) Frühholz, Altersklasse 175 ± 25 , $n = 568$; d) Spätholz, Altersklasse 175 ± 25 , $n = 568$.

Klassen bzw. Gruppen weisen durch diese Vorgangsweise eine einheitliche Basis auf, womit die auftretenden Trends objektiv vergleichbar sind. Diese Trends der Breitenwerte werden in Abb. 6 mittels Regressionsgeraden veranschaulicht.

Die Tabellen 3 und 4 zeigen für beide ausgewählten Altersklassen, daß das Mittel der Frühholz- und Jahrringbreiten der Jahre 1980/88 deutlich größer ist als die Mittel der temperaturmäßig vergleichbaren Perioden 1862/69 und 1932/38. Wie die Tab. 5 ausweist, beträgt der durchschnittliche Anstieg der mittleren Jahrring- bzw. Frühholzbreite 1862/69 - 1980/88 rund 25%. Dabei erfolgt der Anstieg des Mittels der Jahrring- bzw. Frühholzbreiten in den ca. 70 Jahren zwischen den Perioden 1862/69 und 1932/38 um knapp 10%, in dem etwa 5 Jahrzehnte umfassenden Zeitraum zwischen 1932/38 und 1980/88 um ca. 14%. In den beiden, voneinander unabhängigen Altersklassen liegt ein einheitlicher Trend in etwa demselben Ausmaß vor. Dies erscheint wesentlich für die Beurteilung der beobachteten Änderungen der Jahrring- und Frühholzmittel.

Aus Abb. 6 ist ablesbar, daß die Zunahme der Frühholzbreiten in den Altersklassen 90 ± 12 und 175 ± 25 jeweils etwa eine halbe Standardabweichung betragen. Deutlich wird auch die starke Erhöhung relativ großer Breitenwerte, was sich auch in den Angaben zur Standardabweichung in den Tab. 3 und 4 niederschlägt.

Der Signifikanztest bezüglich der Breitendifferenzen der Altersklasse 90 ± 12 für die Vergleichsperioden 1862/69 und 1980/88 erbrachte einen t-Wert von 7.18 für die Jahrring- bzw. 7.05 für das Frühholzbreiten. Die Wahrscheinlichkeit für einen zufälligen Unterschied der Mittel der beiden Vergleichsperioden ist <0.001 . Der Test für die Altersklasse 175 ± 25 erbrachte einen t-Wert von 3.60 für die Jahrring- bzw. 3.64 für die Frühholzbreitenunterschiede und wiederum jeweils eine Wahrscheinlichkeit von <0.001 für einen zufälligen Unterschied der beiden Vergleichsperioden.

Die Jahrring-/Frühholz-Breitendifferenzen der Perioden 1862/69 und 1932/38 sind in beiden Altersklassen nur auf dem 90 % Niveau abgesichert. Der Signifikanztest erbrachte für die beiden Altersklassen 90 ± 12 bzw. 175 ± 25 bezüglich der Jahrringbreiten t-Werte von 1.81 bzw. 1.75, bezüglich der Frühholzbreiten von jeweils 1.81.

Die Jahrring-/Frühholz-Breitendifferenzen der Perioden 1932/38 und 1980/88 sind, wie Tabelle 5 zeigt, bezüglich der Altersklasse 90 ± 12 auf dem 95 %, bezüglich der Altersklasse 175 ± 25 sogar auf dem 99 % Niveau abgesichert. Der t-Test erbrachte für die Altersklassen 90 ± 12 bzw. 175 ± 25 bezüglich der Jahrringbreiten t-Werte von 2.48 bzw. 2.74, bezüglich der Frühholzbreiten von 2.41 bzw. wiederum 2.74.

Für das Spätholz ist dieser Trend zu größeren Breiten deutlich schwächer und weniger einheitlich ausgeprägt. Dies drückt sich auch in Abb. 6 aus. Wie aus Tab. 5 entnehmbar, ist zwischen 1862/69 und 1932/38 praktisch keine Breitenänderung festzustellen. Im Zeitraum 1980/88 ist gegenüber den Vergleichsperioden eine Steigerung des Mittels der Spätholzbreiten von 5 % bzw. 15 % festzustellen. Wird allerdings der von Standorthöhe abhängige Wachstumsgradient innerhalb der untersuchten Höhenstufe berücksichtigt, so fallen die Differenzen zwischen den beiden Altersklassen etwas geringer aus.

Der t-Test der Spätholzbreitenunterschiede der Altersklasse 90 ± 12 erbrachte für die Vergleichsperioden 1862/69 und 1980/88 einen t-Wert von 7.49. Die Wahrscheinlichkeit für einen nur zufälligen Unterschied der Gruppenmittel in den beiden Vergleichsperioden ist <0.001 . Die gleiche Aussage und einen t-Wert von 4.86 als Ergebnis hatte der Signifikanztest für die Perioden 1932/38 und 1980/88. Bei den Spätholzbreitendifferenzen der Altersklasse 175 ± 25 ergab nur der Vergleich der Perioden 1932/38 und 1980/88 bei einem t-Wert von 2.29 einen signifikanten Unterschied auf dem 95 % Niveau.

3.2.5. Wachstumstrend der Einzelbäume:

Die Wachstumstrends der einzelnen Zirben während der letzten Jahrzehnte wurden ebenfalls untersucht. Geprüft wurden hierzu jeweils die mittleren jährlichen Zuwachsraten zweier mehrjähriger Wachstumsperioden eines Baumes. Ausgewählt wurde für diese Gegenüberstellung zum einen die Periode 1945/53, die das höchste Sommertemperaturmittel seit Beginn der Instrumentenbeobachtungen im Alpenraum aufweist, zum anderen der Zeitabschnitt 1980/88. Das Mittel der Sommer-Temperatur war in den Jahren 1980/88 insgesamt niedriger als in der Periode 1945/53 (Abb. 4). Bei ansonsten gleichgebliebenen ökologischen Randbedingungen wären entsprechend geringere Breitenzuwachsrate zu erwarten. Auch aufgrund des Alterstrends, dem alle Bäume unterliegen, wäre zwischen 1945/53 und 1980/88 mit einer Abnahme der Breitenwerte bei den untersuchten Zirben zu rechnen.

Für den Vergleich wurden nur Zirben verwendet, die im Jahre 1945 bereits mehr als 100 Jahrringe aufwiesen ($n = 106$). 42 Bäume (39.6 %) wiesen bezüglich der Jahrring-/Frühholzbreiten in den Jahren 1980/88 einen höheren mittleren Zuwachs aus als in der Periode 1945/53. Be-

züglich der Spätholzwerte übertraf an 36 Bäumen (30.2%) die mittlere Breite der Jahre 1980/88 jene des Zeitabschnittes 1945/53.

4. Zusammenfassung und Diskussion:

An den untersuchten Jahrringreihen konnte nachgewiesen werden, daß unter rezenten ökologischen Verhältnissen Zirben an Waldgrenzstandorten deutlich höhere Wuchseleistungen erreichen, als dies noch vor bzw. zur Mitte des 19. Jahrhunderts der Fall war. Die verzeichneten durchschnittlichen Zunahmen von ca. 60 % bei den Jahrring- und Frühholzbreiten bzw. knapp 25 % bei den Spätholzwerten sind allerdings größtenteils klimatisch bedingt. Dies zeigt die Gegenüberstellung bezüglich der Sommertemperatur vergleichbarer Zeiträume. Die nicht-klimatisch verursachten mittleren Breitenzunahmen in den letzten 120 Jahren liegen beim Jahrring bzw. Frühholz bei etwa 25 %, beim Spätholz im Mittel bei ca. 10 %.

Die genannten Prozentwerte sind als Größenordnungen zu verstehen, wie Unterschiede zwischen einzelnen Altersklassen nahelegen. Allerdings sind die genannten nicht-klimatisch bedingten Wachstumstrends vor allem bezüglich der Jahrring- und Frühholzwerte hochsignifikant abgesichert. Zusätzlich werden die Resultate dieser Studie dadurch gestützt, daß sie an zwei voneinander unabhängigen Jahrring-Stichproben größtenteils im gleichen Ausmaß vorliegen.

Ein nicht-klimatisch verursachter Anstieg der mittleren Jahrringbreiten von knapp 25 % während der letzten 120 Jahre erscheint im Vergleich zu den von LAMARCHE et al. (1984) für einen ähnlichen Zeitraum mitgeteilten Breitensteigerungen von 73 bzw. 106 % relativ gering. Bei den letztgenannten Beträgen, die mit der CO₂-Zunahme erklärt werden, sind jedoch auch die klimatisch verursachten Zuwachsänderungen mit enthalten. Die bei den Jahrring-/Frühholzwerten im Vergleich zum Spätholz deutlich stärkere Breitenzunahme wurde auch von KIENAST & LUXMORE (1988) beobachtet.

Es erscheint als unwahrscheinlich, daß der in den letzten Jahrzehnten im Alpenraum zu beobachtende Stickstoffeintrag die Ursache für die nachgewiesenen nicht-klimatischen Wachstumssteigerungen ist. Neben der Feststellung, daß das Stickstoffangebot an der Waldgrenze kein limitierender Faktor ist (TRANQUILLINI 1979), deutet dies auch der Ablauf der Breitenvergrößerungen an. Die Wachstumszunahmen konnten nicht erst in den letzten Jahrzehnten, in Analogie zum beobachteten Stickstoffeintrag, belegt werden. Bereits in den 1930er Jahren kann der Anstieg der mittleren Jahrring-/Frühholzbreiten beobachtet werden.

Die nachgewiesene nicht-klimatisch bedingte Zunahme der Jahrring-, Frühholz- und Spätholzmittel wird deshalb mit dem anthropogen verursachten Anstieg des CO₂-Gehalts in der Erdatmosphäre und dem damit verbundenen Düngeeffekt erklärt.

Dank: Herrn Univ. Prof. Dr. Christian Körner ist für viele Anregungen und Hinweise sowie die kritische Durchsicht des Manuskripts zu danken. Herrn Univ. Prof. Dr. Franz Fliri ist für die freundliche Überlassung der Klimadaten zu danken. Diese Studie wurde im Rahmen des Projekts P7172 für Univ. Prof. Dr. Christian Körner vom Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung, Wien, unterstützt.

5. LITERATUR:

- BLUM, H. (1991): Treibhauseffekt und Pflanzenwachstum. — Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 136/4: 189 - 206.
- BRÄKER, O.U. (1981): Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. — Mittell. Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Wien 142: 223 - 232.
- COOPER, C.F. (1986): Carbon dioxide enhancement of tree growth at high elevations. — Science 231: 859.
- GALE, F. (1986): Carbon dioxide enhancement of tree growth at high elevations. — Science 231: 859 - 860.
- GRABHERR, G. (1981): Dendrochronologische und dendroklimatologische Untersuchungen an Hölzern Westtirols (Österreich). — Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck 68: 57 - 78.

- IDSO, S.B. (1989): Carbon Dioxide and Global Change: Earth in Transition. – IPR Press, Tempe.
- INNES, J.L. (1991): High-altitude and high latitude tree growth in relation to climate change. – *The Holocene* 1/2: 168 - 173.
- KIENAST, F. & R.J. LUXMORE (1988): Tree-ring analysis and conifer growth responses to increased atmospheric CO₂ levels. – *Oecologia* 76: 487 - 495.
- KÖRNER, Ch. (1993): CO₂ Fertilization: The Great Uncertainty in Future Vegetation Development. – A.M. SOLOMON, H.H. SHUGART (eds.): *Vegetation Dynamics and Global Change*. – Chapman & Hall, New York, London, 53 - 70.
- LAMARCHE, V.C., D.A. GRAYBILL, H.C. FRITTS & M.R. ROSE (1984): Increasing atmospheric carbon dioxide: Tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. – *Science* 223: 1019 - 1021.
- PATZELT, G. (1987): Die gegenwärtigen Veränderungen an Gebirgsgletschern der Erde. – O. WERLE (ed.): *Hochgebirge – Ergebnisse neuer Forschungen*. – *Frankfurter Beiträge zur Didaktik der Geographie* 10: 41 - 50.
- PATZELT, G. & M. AELLEN (1990): Gletscher. – D. VISCHER (ed.): *Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre*. Internationale Fachtagung 11. Mai 1990 in Zürich. – *Mitt. der Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie d. ETH Zürich* 108: 49 - 96.
- SCHÜEPP, M. & G. GENSLER (1986): Witterungsänderungen in der Schweiz im 19. und 20. Jahrhundert – Ursachen und Folgen. – *Geographica Helvetica* 41: 17 - 26.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*. – *Ecological Studies* 31, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- WIGLEY, T.M.L., K.R. BRIFFA & P.D. JONES (1984): Atmospheric carbon dioxide: Predicting plant productivity and water resources. – *Nature* 312: 102 - 103.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: [82](#)

Autor(en)/Author(s): Bortenschlager Sigmar, Nicolussi Kurt A.

Artikel/Article: [CO₂-Anstieg und Jahringbreitentrends bei Pinus cembra in den westlichen Zentralalpen Tirols \(Österreich\). 61-77](#)