

Kapitel 6 | Jahresringuntersuchungen an rezentem und subfossilem Holzmaterial aus dem Raum Obergurgl – Klimaanalysen und holozäne Waldentwicklung

Kurt Nicolussi, Andrea Thurner

Zusammenfassung

Im Gebiet von Obergurgl wurden Bohrkerne lebender Zirben (*Pinus cembra*) aus dem Obergurgler Zirbenwald (ca. 2000 – 2100 m Seehöhe) sowie subfossile Holzproben aus dem Zirbenwaldmoor (2050 m Seehöhe) und den kleinen Moorarealen unterhalb der Gurgler Alm (2150 m bis 2240 m Seehöhe) dendrochronologisch untersucht.

Die Analyse der Jahringbreiten der rezenten Bäume des Gurgler Zirbenwaldes zeigt Übereinstimmungen des Radialzuwachses mit der Sommertemperaturentwicklung (Juni-Juli-August-Mittel). Die Jahringdaten von 36 subfossilen Hölzern aus dem Zirbenwaldmoor und den umgebenden Moorflächen decken den Zeitraum zwischen etwa 100 und 1300 n. Chr. ab. Diese Konzentration ist einerseits auf die lokale Moorentwicklung, andererseits auf verschiedene Phasen anthropogener Eingriffe in den umgebenden Waldbestand zurückzuführen. Im Gegensatz dazu spiegelt die zeitliche Verteilung der 23 subfossilen Hölzer aus den unterhalb der Gurgler Alm gelegenen Moor-

flächen vor allem die holozäne Waldgrenzentwicklung zumindest in Ansätzen wider.

Abstract

In the region of Obergurgl cores from living stone pine trees (*Pinus cembra*) from the so called Obergurgler Zirbenwald (approx. 2000 - 2100 m a.s.l.) as well as sub-fossil logs found in the peat of the Zirbenwaldmoor (2050 m a.s.l.) and the small peat bogs below the Gurgler Alm (2150 m to 2240 m a.s.l.) were investigated by dendrochronological methods.

The analysis of cores from living trees of the Obergurgler Zirbenwald verifies the expected accordance of tree-ring growth and summer temperature evolution (June-July-August average). Tree-ring series established for 36 sub-fossil samples from the Zirbenwaldmoor cover the time period between ca. 100 and ca. 1300 AD. This distribution is on the one hand due to the development of the local peat bog and on the other hand caused by anthro-

pogenic interventions at the encircling forest area. In contrast to the sub-fossil samples of the Zirbenwaldmoor the temporal distribution of 23 wood samples from the peat bogs below the Gurgler Alm is to some extent related to the Holocene tree-line evolution.

Einleitung

Der Obergurgler Zirbenwald ist einer der Ausgangspunkte der dendrochronologischen Forschung in Österreich: Veronika Giertz (später: Veronika Siebenlist-Kerner) entnahm hier im Sommer 1970 insgesamt 24 rezenten Zirben (*Pinus cembra*) Bohrkerne, die dem Aufbau einer ersten Zirben-Jahringbreitenchronologie dienten (Siebenlist-Kerner 1984). Diese Jahringchronologie, ergänzt mit an historischen Hölzern des Ötztals gewonnenen Daten, reichte schließlich bis ins Jahr 1466 n. Chr. zurück (Giertz & Grießer 1975, Siebenlist-Kerner 1984). Diese dendrochronologischen Analysen erfolgten auf Initiative der Alpenen Forschungsstelle, damals unter der Leitung von Walter Moser, und wurden in den Folgejahren ergänzt durch die Erarbeitung von Jahringchronologien für die beiden anderen wesentlichen alpinen Hochlagenbaumarten, Lärche (*Larix decidua*) und Fichte (*Picea abies*). Diese beiden Chronologien, wiederum beruhend auf Daten von lebenden Bäumen

und Hölzern historischer Gebäude von verschiedenen Standorten des mittleren und inneren Ötztals, decken die Zeitbereiche 1333-1974 n. Chr. (Lärche) und 1276-1974 n. Chr. (Fichte) ab (Siebenlist-Kerner 1984). Die Daten der Ötztaler Jahringchronologien wurden in weiterer Folge für Rekonstruktionen der Sommertemperatur (Eckstein & Aniol 1981), das Holzmaterial teilweise auch für Holzdicke-messungen (Lamprecht 1981, Esper et al. 2007) verwendet.

Veronika Giertz versuchte bereits in den 1970er Jahren die Zirben-Jahringchronologie weiter in die Vergangenheit zu verlängern. Dazu analysierte sie fünf Stammscheiben, die subfossilen, im Torf des Zirbenwaldmoores eingebetteten Zirbenstämmen entnommen wurden. Die Bearbeitung dieser Hölzer lag nahe, da dieses Moor mitten im Obergurgler Zirbenwald lokalisiert ist. Allerdings gelang ihr der Anschluss beziehungsweise die Verbindung mit der ins 15. Jh. zurückreichenden Jahringchronologie nicht (Siebenlist-Kerner 1984).

Heute ist klar, warum die Datierung der fünf subfossilen Zirbenproben nicht glückte: sie stammen aus dem ersten Jahrtausend AD und datieren damit deutlich älter als der Beginn der Giertz-Zirben-Jahringchronologie. Dies wurde belegbar im Rahmen eines Projektes zum Aufbau einer holozänen Hochlagen-Jahringchronologie (Nicolussi et al. 2004, 2009). Für diese Chronologie, die derzeit die letzten rund 9100 Jahre durchgehend abdeckt,

war das Obergurgler Zirbenwaldmoor auch einer der Ansatzpunkte für die Hölzerversuche und -gewinnung. Der vorliegende Text fasst Ergebnisse von Untersuchungen zusammen, die die früheren Arbeiten im Raum von Obergurgl fortführen: einerseits werden Auswertungen von Proben, die in den letzten Jahren

an Bäumen des Obergurgler Zirbenwaldes gezogen wurden, und darauf basierende Analysen zur Jahrring-Klima-Beziehung vorgestellt, andererseits wird ein Überblick zu den Ergebnissen der Auswertung subfossiler Hölzer aus Mooren im Obergurgler Raum gegeben.

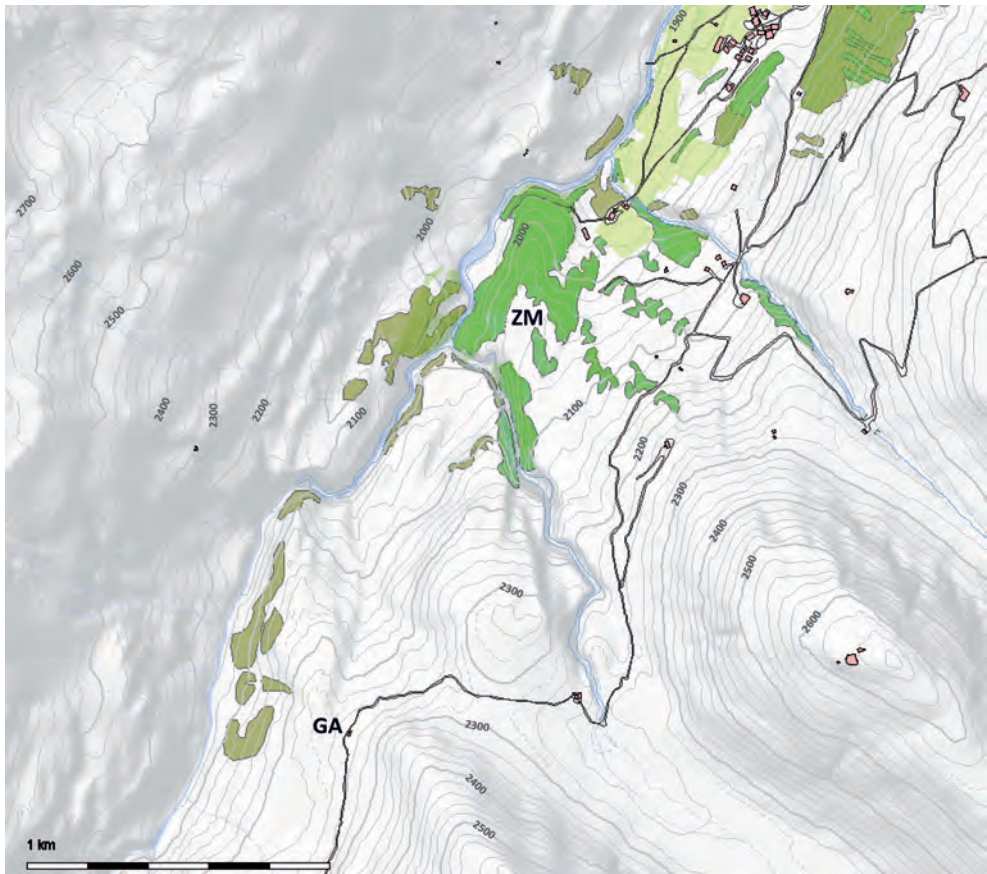


Abb. 1.
Das Gurgler Tal südlich von Obergurgl mit den ausgewiesenen Waldflächen und den bearbeiteten Moorarealen. ZM: Zirbenwaldmoor, umgeben vom Obergurgler Zirbenwald; GA: Gurgler Alm.
Basiskarte: © Land Tirol - tiris

Material und Methoden

Insgesamt 92 lebenden Bäumen im Obergurgler Zirbenwald (ca. 2000 - 2100 m Seehöhe, Abb. 1) wurden in den Sommern 1992 bis 2009 Bohrkerne mittels Zuwachsbohrern entnommen. Die Probenahmen konzentrierten sich auf die vergleichsweise alten Bäume des Waldes, nur verhältnismäßig wenig junge Bäume wurden einbezogen. Je Baum wurden in Brusthöhe zwei Bohrkerne hangparallel und von gegenüberliegenden Seiten gewonnen. Da manche Zirben des Obergurgler Zirbenwaldes einen morschen

Kernbereich aufweisen beziehungsweise wenn bei der Beprobung die Stammmitte nicht getroffen wurde, fehlten an vielen Bohrkernen die frühen Jahrringe. Um für solche Proben trotzdem das Lebensalter der einzelnen Bäume zu erfassen und das Kambialalter des ersten gemessenen Jahrrings zu bestimmen, wurde die Anzahl der fehlenden Jahrringe bis zum Mark einerseits anhand von Baumumfangmessungen während der Beprobungen und andererseits mittels der Kurvengravur der Jahrringe am innersten Abschnitt der Bohrkern abgeschätzt.



Abb. 2:
Das Obergurgler Zirbenwaldmoor (Foto: Kurt Nicolussi, 2008)

Die Suche nach subfossilen Hölzern im Bereich von Obergurgl wurde in zwei Moorarealen durchgeführt. Ein Bereich war das Zirbenwaldmoor (11°00'54" / 46°51'31", Abb. 2) auf 2050 m Seehöhe mit einigen kleineren, wenig höher liegenden Moorflächen. Das zweite Mooragebiet umfasst vor allem das unmittelbar unterhalb der Gurgler Alm (11°00'25" / 46°50'47", Abb. 3) auf 2240 m Seehöhe gelegene Moor sowie kleinere, nördlich davon und etwas tiefer, am Abhang Richtung Gurgler Ache, liegende Moorflächen (bis ca. 2150 m Seehöhe). In den Mooren erfolgte die Suche nach im Torf eingebettet

und an der Oberfläche nicht sichtbaren Stämmen mittels rund 90 cm langer Metallsonden. Dadurch beschränkte sich die Probennahme auf die obersten Torfbereiche. Von den gefundenen Stämmen wurden jeweils Stammscheiben gesägt. An Proben mit fehlenden inneren Holzabschnitten wurde die Distanz sowie die Zahl der fehlenden Ringe bis zum Mark anhand der Jahrringkrümmung geschätzt. Die Ausmessung der Jahrringbreiten der Bohrkernproben und der Stammscheiben erfolgte mit einer Auflösung von 0.001 mm. Die einzelnen Messradien je Baum beziehungsweise je Stammscheibe wur-



Abb. 3:
Die Gurgler Alm (Foto: Kurt Nicolussi, 2008)

den nach Überprüfung der Radien zu Baum/Stammittelkurven zusammengefügt. Die weitere Bearbeitung erfolgte auf Basis dieser Mittelkurven.

Die dendrochronologische, d.h. jahrgenaue Datierung der Jahrringserien der subfossilen Holzproben erfolgte im Zuge des Aufbaus der Ostalpinen Nadelholzchronologie (Nicolussi et al. 2009). Teilweise wurden einzelne Hölzer auch ^{14}C -datiert (Daten dazu in Nicolussi et al. 2009). Dies erfolgte speziell am Anfang der Arbeiten für das Hochlagen-Chronologie-Projekt.

Für den Vergleich der rezenten Jahrringdaten mit instrumentellen Klimawerten wurden die Jahrringserien standardisiert, um baualterbedingte Wachstumstrends in den Reihen zu eliminieren. Grundsätzlich können solche Standardisierungen für jede Jahrringreihe individuell gerechnet werden. Diese Vorgangsweise hat jedoch prinzipiell die Eliminierung langfristiger Wachstumstrends zur Folge (Cook et al. 1995). Für den vorliegenden Vergleich wurde der RCS-Ansatz (RCS: Regional Curve Standardization) gewählt (z.B. Briffa et al. 1992, 1996). Dabei erfolgt die Standardisierung der einzelnen Jahrringserien mittels eines empirischen Wachstumsmodells, das abhängig vom Kambialalter für jeden Jahrring einen zu erwartenden Breitenwert vorgibt. Der Vorteil des RCS-Ansatzes im Gegensatz zur individuellen Standardisierung von Jahrringserien liegt im potentiellen Erhalt

jener Komponente der Jahrringbreitenvariabilität, die von langfristigen Klimaentwicklungen geprägt ist.

Die Erstellung des für diese Analyse verwendeten Wachstumsmodells erfolgte auf Basis der rezenten Serien aus dem Obergurgler Zirbenwald unter Berücksichtigung des Kambialalters des jeweils ersten gemessenen Jahrrings der Reihen. Die einzelnen Jahrringserien wurden anschließend durch Division mit der Obergurgler Zuwachskurve unter Verwendung des *signal-free* Ansatzes (Melvin & Briffa 2008) standardisiert. Die durch Mittelung aus den so standardisierten Reihen erstellte RCS-Chronologie wurde für Vergleiche an instrumentellen Klimadaten skaliert. Dazu wurde das Juni-Juli-August Temperaturmittel gewählt, da sich hierfür nach *response function* Analysen mit der vorliegenden Chronologie (Ergebnisse nicht gezeigt) und auch nach einer Reihe von anderen Studien (z.B. Büntgen et al. 2005) im Vergleich die besten Übereinstimmungen ergeben.

Ergebnisse und Diskussion

Rezentproben aus dem Obergurgler Zirbenwald

Aus 92 Baummittelkurven von lebenden Zirben wurde eine insgesamt 469 Jahre

(1540-2008) abdeckende Jahringbreitenchronologie erstellt. Abb. 4a stellt die Belegung dieser Chronologie für den Zeitraum ab 1780 dar. Da die Bohrkernentnahmen in unterschiedlichen Jahren erfolgte, nimmt die Zahl der Proben pro Jahr für die letzten rund fünf Jahre der Chronologie ab. Insgesamt liegt aber die Belegung für die letzten Jahrhunderte bei rund 80 Bäumen. Das verdeutlicht auch die Dominanz alter Bäume im Datenbestand.

Die Abb. 4b und 4c zeigen den Vergleich der an den Temperaturdaten des Zeitabschnittes 1850-2008 skalierten RCS-Chronologie mit dem Juni-Juli-August Temperaturmittel über den Zeitraum der letzten knapp 230 Jahre (1780-2008). Von besonderem Interesse sind dabei die Ergebnisse für die Jahre ab 2000, da andere alpine Temperaturrekonstruktionen (z.B. Büntgen et al. 2005, 2011) dieses Jahrzehnt nur ansatzweise abdecken. Hingegen sind die Jahrhunderte der frühen Neuzeit bei den genannten Rekonstruktionen besser als bei der Obergurgler Lokalchronologie belegt. Herangezogen für den Vergleich wurden die Temperaturwerte des HISTALP-Datensatzes (Auer et al. 2007) für den nahe gelegenen Gitterpunkt 11° Ost / 47° Nord (Böhm et al. 2010). Da für die Berechnung der Gitterpunktdaten relativ großräumig Stationsreihen verwendet wurden (Auer et al. 2007), zeigt ein Vergleich der Gitterpunktserie mit den Reihen des gesamten HISTALP-Raumes kaum Unterschiede.

Abb. 4b stellt den Vergleich zwischen Jahring- und instrumentellen Daten auf Einzeljahrbasis dar, Abb. 4c hingegen gibt die mit einem 10-jährigen Tiefpass-Filter geglätteten Werte sowie die Mittel über jeweils 25 Jahre wieder. Die Korrelation zwischen den beiden Klimareihen für den Zeitraum von 1850 bis 2008 beträgt 0.62 (Einzeljahre) beziehungsweise 0.82 (10-jährig geglättete Serien). Zwischen etwa 1840 und 1980 zeigen die beiden Serien eine vergleichsweise gute Übereinstimmung, die Abweichungen fallen relativ gering aus. Allerdings erreichen die Übereinstimmungen nicht das Niveau, das bei der Verwendung von regionalen Chronologien festgestellt werden kann (Büntgen et al. 2005). Hier werden die Limitierungen durch die Verwendung einer lokalen Chronologie ersichtlich. Vor der Mitte des 19. Jahrhunderts treten signifikante Unterschiede auf: einerseits liegt die Varianz der instrumentellen Daten klar über jener der Jahring-basierten Serie, andererseits zeigt letztere deutlich niedrigere Temperaturen auf. In beiden Fällen dürften hier zumindest teilweise Effekte der „Frühen Instrumentellen Periode“ vorliegen, während der Temperaturmessungen noch nicht standardisiert erfolgten (Frank et al. 2007, Böhm et al. 2010). Zwar wurde der hier verwendete HISTALP-Datensatz gegenüber einer früheren Version schon diesbezüglich korrigiert, das Ausmaß der Änderungen dürfte allerdings nach Ausweis der Jahringdaten zu gering ausgefallen sein.

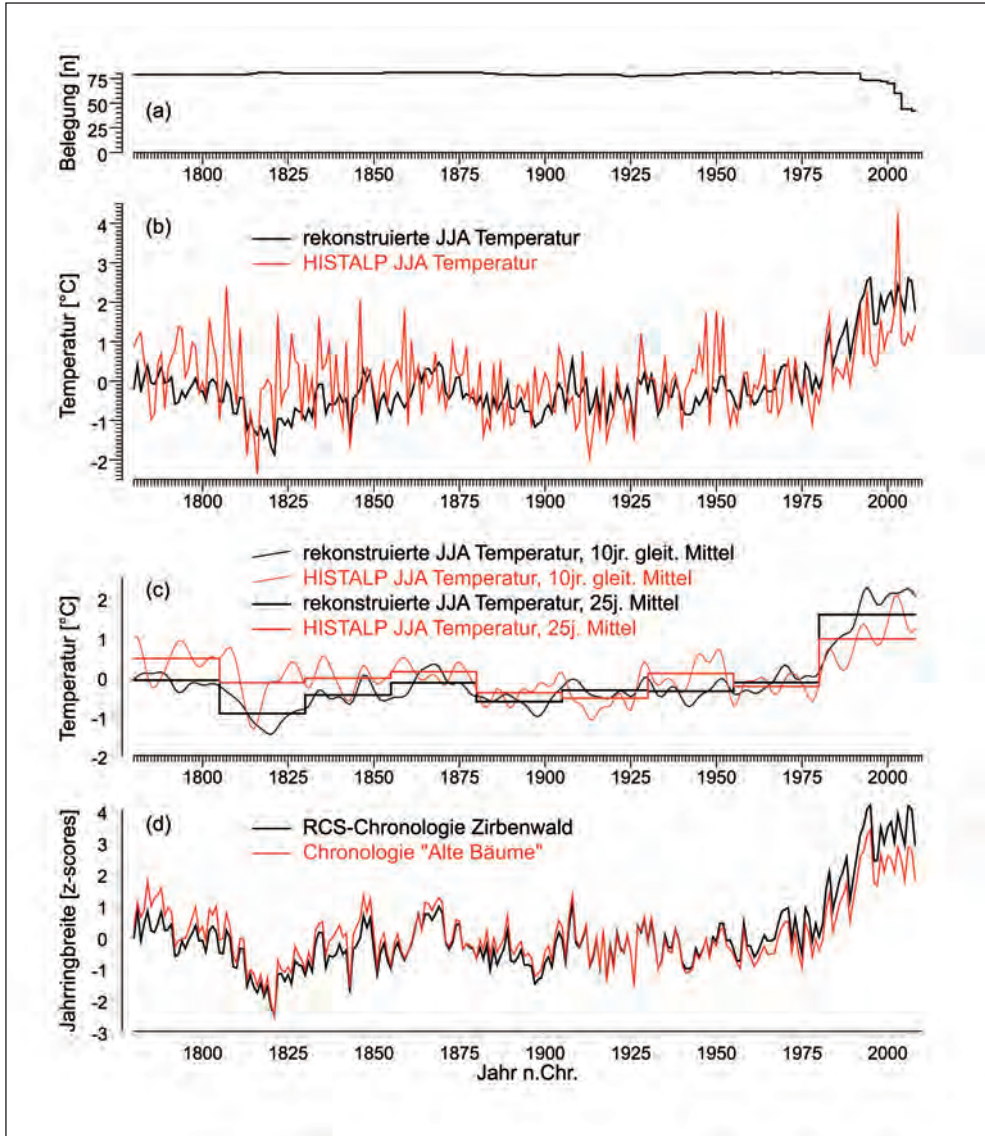


Abb. 4:

Ergebnisse der Untersuchungen an rezenten Zirbenproben des Obergurgler Zirbenwaldes (dargestellter Zeitraum jeweils 1780-2008): a) Anzahl der Serien je Jahr der RCS-Chronologie Zirbenwald; Vergleich der auf Jahringbasis rekonstruierten sowie der instrumentellen Temperaturreihen (HISTALP Datensatz, Juni-Juli-August-Mittel): b) Einzeljahrbasis und c) mit 10 jährigem Tiefpass-Filter geglättete Serien sowie über jeweils 25 Jahre gemittelt; d) Vergleich der RCS-Chronologie mit der Chronologie "Alte Bäume" (nur Jahringbreitenwerte mit einem Kambialalter > 200)

Die instrumentellen Sommertemperaturen belegen nach 1980 eine markante Erwärmung an, die von den Jahrringdaten nachgezeichnet und sogar etwas übertroffen wird. Damit zeigt die Obergurgler Zirben-RCS-Chronologie keine Anzeichen eines „divergence-Effektes“ (z.B. D'Arrigo et al. 2008), wie er für andere alpine Jahrringserien postuliert wurde (Oberhuber et al. 2008). Der Grund für diese unterschiedlichen Ergebnisse, erarbeitet jeweils mit Zirben-Chronologien, dürfte in der divergierenden methodischen Herangehensweise zu suchen sein. Um zu überprüfen, ob der starke Anstieg der Zirbenwald-RCS-Chronologie nach 1980 möglicherweise einem Bearbeitungseffekt zuzuschreiben ist, wurde eine zusätzliche Jahrringchronologie ausschließlich auf der Basis der „alten Bäume“ des Datensatzes erstellt. Da die empirischen Wachstumskurven von Zirben ab einem Kambialalter von rund 200 Jahren nur noch einen schwachen Alterstrend aufweisen, wurden an allen Serien die jüngeren Abschnitte (Kambialalter < 200) eliminiert und aus den übrig bleibenden Abschnitten eine Mittelkurve erstellt. Abb. 4d zeigt den Vergleich der RCS-Chronologie mit der Chronologie „alte Bäume“. Beide Serien wurden für den Vergleich über den gleichen Zeitabschnitt standardisiert. Danach ist der starke Wachstumsanstieg der RCS-Chronologie ab 1980 kein methodisches Artefakt, sondern klimainduziert. Die Chronologie „alte Bäume“ zeigt zwar ein etwas

geringeres Niveau um 2000, allerdings dürfte sich hier noch ein schwacher Alterstrend bedingter Effekt widerspiegeln, was ebenso für die etwas höheren Werte dieser Chronologie in der ersten Hälfte des Vergleichszeitraums gilt.

Subfossile Hölzer aus dem Zirbenwaldmoor

Für 36 Holzproben von Zirben, gewonnen an subfossilen Stämmen des Zirbenwaldmoores und nahe gelegener Mooraareale, liegen dendrochronologische Datierungen, d.h. Altersangaben auf Kalenderbasis vor (Abb. 4). Mit den an diesen Proben erarbeiteten Jahrringdaten wird der Zeitraum zwischen 130 und 1280 n. Chr. durchgehend abgedeckt. Die längste einzelne Probenreihe erstreckt sich über 539 Jahre und zählt damit mehr Jahrringe als die längste (469 Jahrringe) an den lebenden Bäumen des Zirbenwaldes gewonnene Serie. Siebenlist-Kerner (1984) erfasste maximal 420 Jahre an einer der lebenden Zirbe.

Bemerkenswert ist, dass trotz der Beprobung aller an der Oberfläche sichtbaren Stämme keine Hölzer aus den letzten sieben Jahrhunderten erfasst wurden. Ebenso auffallend ist der grob übereinstimmende Wachstumsbeginn für rund die Hälfte der subfossilen Proben. Beide Erscheinungen stehen wohl mit der Waldentwicklung in der Umgebung des Zirbenwaldmoores in Zusammenhang und können auf

Basis einer für dieses Moor vorliegenden Pollenanalyse (Rybnicek & Rybnickova 1977) erklärt werden. Danach war die Umgebung des Zirbenwaldmoores nach einem ^{14}C -Datum (2120 ± 80 BP, 2σ : 380 cal BC - 30 cal AD) aus einer Tiefe von 100-90 cm im ausgehenden ersten Jahrtausend v. Chr., vermutlich als Resultat anthropogener Eingriffe, weitgehend entwaldet. Anschließend kam es zu einer Neubildung und Verdichtung der Baumbestände. Gleichzeitig endete auch eine etwa 3500 Jahre andauernde Stagnationsphase des Moorwachstums, während der das Areal stark von Birken bestanden war und die Oberfläche sich nur um 20 bis 30 cm erhöhte (Rybnicek & Rybnickova 1977). In der Häufung der Moorchölzer mit einem Reihenbeginn in der frühen Römerzeit (Abb. 5) spiegelt sich danach die Wiederbewaldung wider. Auch das Fehlen älterer Hölzer erklärt sich durch die Moorentwicklung, da die Suche nach Moorchölzern auf den obersten Meter beschränkt war.

Nach der Wiederbewaldung im frühen ersten Jahrtausend n. Chr. und dem Absterben der damals aufgekommenen Bäume zeichnet sich eine grob kontinuierliche Entwicklung von Verjüngung und Absterben ab. Ein klarer Zusammenhang der Waldentwicklung mit der Klimaentwicklung kann nicht hergestellt werden. Einzig das Aufkommen einer Gruppe von Bäumen ab der Mitte des 9. Jahrhunderts könnte als Ausdruck günstiger Klimaver-

hältnisse am Beginn der mittelalterlichen Wärmeperiode gesehen werden.

Rybnicek & Rybnickova (1977) gehen von einem kontinuierlichen, ja beschleunigten Moorwachstum über die letzten rund 2000 Jahre aus. Dem steht die Beobachtung gegenüber, dass Stämme von Bäumen, die im Frühmittelalter abgestorben waren und spätestens nach wenigen Jahrhunderten ins Moor gestürzt sein dürften, heute teilweise noch an der Oberfläche sichtbar sind. Gleichzeitig fehlt allerdings Totholz aus den letzten rund 700 Jahren. Anzunehmen ist, dass das Moorwachstum in den letzten Jahrhunderten entgegen den Annahmen von Rybnicek & Rybnickova (1977) wiederum zurückgegangen ist und daher vergleichsweise altes, aus dem ersten Jahrtausend nach der Zeitenwende stammendes Holz auch oberflächennahe vorhanden ist. Gleichzeitig zeigt das Pollendiagramm (Rybnicek & Rybnickova 1977) in den obersten Dezimetern des Moores wiederum einen deutlichen Waldrückgang. Damit dürften auch nur wenige oder keine Bäume ins Moor gestürzt sein. Dieser mittelalterliche Waldrückgang ist wohl anthropogenen Eingriffen zuzuschreiben, ist doch für spätestens ab dem 13. Jh. eine kontinuierliche Besiedlung und Nutzung dieses Talraumes anzunehmen: eine historische Quelle dokumentiert für das Jahr 1250 durch eine erste Nennung die Existenz eines Hofes in Gurgl.

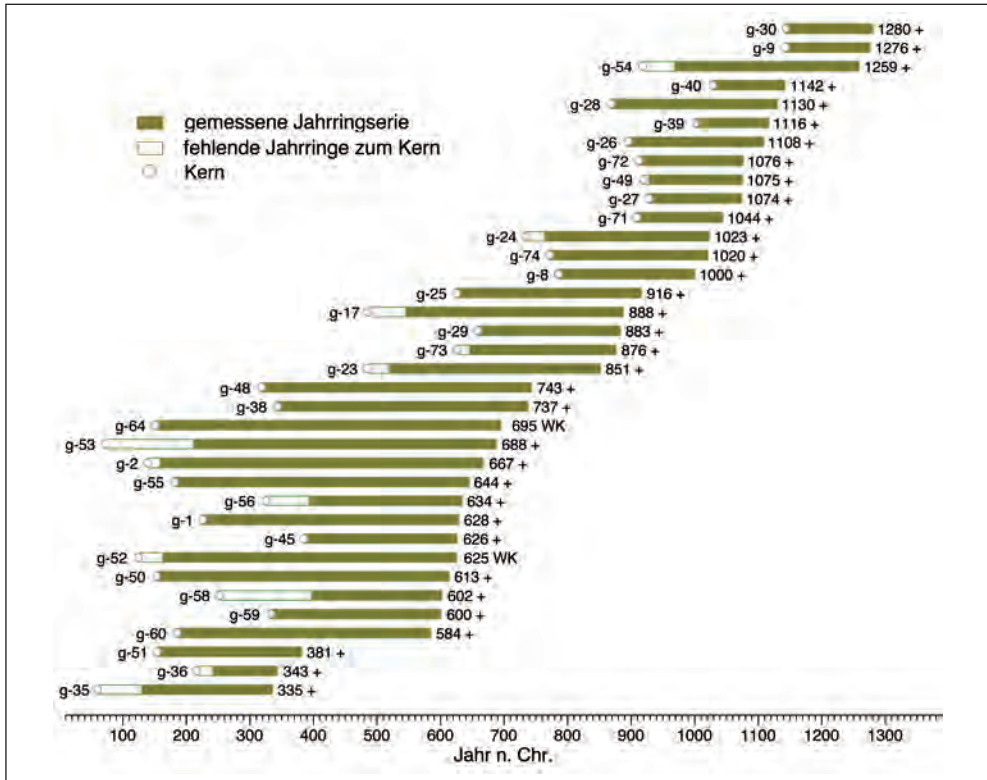


Abb. 5: Zeitliche Erstreckung der Jahrringserien der datierten subfossilen Hölzer des Obergurgler Zirbenwaldes (2050 m SH). Genannt werden Probenbezeichnung, Endjahr der Jahrringserie und Klassifizierung des letzten gemessenen Jahrrings (+: keine Waldkante; WK: Waldkante vorhanden).

Die Jahrringserien der subfossilen Hölzer aus dem Zirbenwaldmoor bilden einen wichtigen Bestandteil der Ostalpinen Hochlagenchronologie (Nicolussi et al. 2009). Als solche fanden sie bereits Eingang in mehrtausendjährige Temperaturrekonstruktionen (publiziert in Büntgen et al. 2011).

Moorhölzer aus dem Bereich der Gurgler Alm

Das Moor bei der Gurgler Alm (2240 m Seehöhe) und auch die am Abhang nördlich davon und etwas tiefer befindlichen kleinen Moorflächen liegen deutlich höher als das Zirbenwaldmoor und überwie-

gend im holozänen Schwankungsbereich der Waldgrenze. Schiechl und Stern (1975) lokalisierten die Obergrenze der potentiellen Zirbenwaldverbreitung in den 1970er Jahren im Bereich der Gurgler Alm bei rund 2200 m Seehöhe und damit etwa 50 Höhenmeter unterhalb des Almgebäudes. Unter Berücksichtigung des in den letzten Jahrzehnten eingetretenen Temperaturanstieges und dem damit verbundenen verstärkten Aufkommen von Zirbenjungwuchs im Hochlagenbereich (Nicolussi et al. 2005) ist diese Obergrenze heute sicherlich deutlich höher anzusetzen. Damit kann angenommen werden, dass ohne anthropogene Beeinflussung durch Beweidung und bei Andauer der Klimaverhältnisse der letzten zwei Jahrzehnte das kleine Moorareal bei der Gurgler Alm von einem zumindest offenen Zirbenbestand umgeben wäre.

Die Hölzer, die im Moor bei der Gurgler Alm entdeckt werden konnten (Abb. 6), zeigen eindrucksvoll, dass in manchen Abschnitten des Holozäns die Baumverbreitung deutlich über 2250 m Seehöhe hinaus ging. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer Pollenanalyse an einem Torfprofil aus diesem Moor, die Baumwachstum in diesem Höhenbereich bereits nachwies (Vorren et al. 1993). Die dendrochronologisch analysierten Moorhölzer datieren dabei in den Zeitraum zwischen etwa 5500 und 2000 v. Chr. Das Fehlen des Auffindens älterer Hölzer liegt wohl in der Beschränkung der Suche auf die obersten 90 cm des

Moore begründet. Die Kulmination von Hölzern zwischen etwa 5500 und 4500 ist klimageschichtlich erklärbar: für diesen Zeitraum ist im nahe gelegenen Kautental eine hohe Waldgrenzlage (Nicolussi et al. 2005, Nicolussi 2009) und für den Tschierva Gletscher (Engadin) eine extreme und auch lange Rückzugsphase (Jörin et al. 2008, Nicolussi 2009) nachgewiesen. Um 5000 v. Chr. dürfte nahe der Gurgler Alm somit ein wohl lichter Zirbenwald existiert haben. Für die Holzfunde aus dem Zeitraum um 4000 v. Chr. sind ähnliche Schlüsse zu ziehen. Die Lücken der Belegung um 4300 und 3500 v. Chr. fallen hingegen mit Phasen ungünstiger Klimabedingungen beziehungsweise mit Gletschervorstößen zusammen (Nicolussi 2009).

Die jüngsten Holzfunde aus dem Moor unmittelbar bei der Gurgler Alm datieren um 2000 v. Chr. Diese Zeitmarke fällt in verschiedenen Zeitreihen zur alpinen Waldgrenzentwicklung auf und markiert das endgültige Absinken der Baumgrenze im Alpenraum auf ein im holozänen Maßstab tiefes, für die letzten vier Jahrtausende aber charakteristisches Niveau (Nicolussi et al. 2005, Reasoner und Tinner 2008). Aufgrund dieser zeitlichen Übereinstimmung ist das Fehlen von Hölzern aus dem Moor nahe der Gurgler Alm ab rund 2000 v. Chr. klimatisch und weniger nutzungsgeschichtlich zu interpretieren.

Die deutlich unterhalb der Gurgler Alm gelegenen Moorflächen erbrachten auch

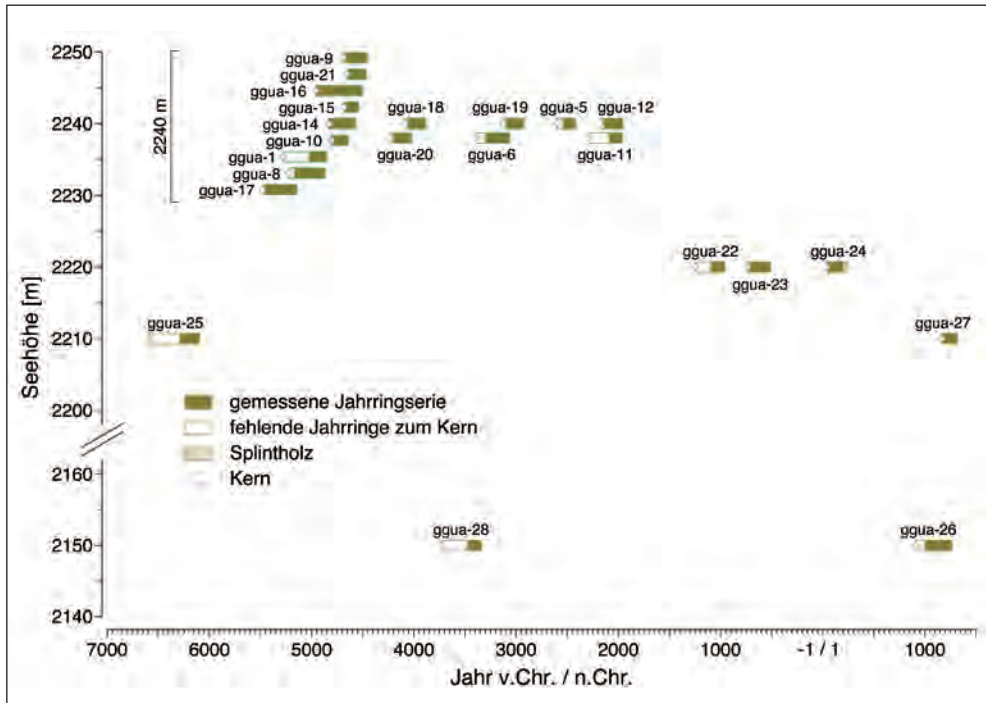


Abb. 6:

Die zeitliche Verteilung der Jahrringserien der datierten subfossilen Hölzer im Bereich der Moorflächen der Gurgler Alm, aufgetragen nach Fundorthöhen. Genannt ist jeweils die Probenbezeichnung. Für die neben der Klammer vermerkten Hölzer ist jeweils die gleiche Fundhöhe (2240 m) gegeben.

jüngere, in den Zeitraum nach 2000 v. Chr. datierende (zum Teil aber auch ältere) Holzfunde (Abb. 6). Die insgesamt geringe Anzahl von geborgenen Holzproben aus den letzten vier Jahrtausenden ist am ehesten durch die Erhaltungsmöglichkeiten in den befundeten, flächenmäßig meist sehr kleinen Moorarealen begründet. Die Baumgrenze selbst ist auch in diesem Zeitabschnitt des Holozäns wohl kaum je unter 2150 m abgesunken. Das gänzliche Fehlen von Hölzern aus den letzten 700 Jahren dürfte am ehesten wie-

derum mit anthropogenen Eingriffen im Zusammenhang mit der ab dem Hochmittelalter intensiven Hochlagenennutzung im innersten Gurgler Tal und weniger mit der Klimavariabilität erklärbar sein.

Fazit

Mit den hier vorgelegten Ergebnissen dendrochronologischer Auswertungen an

Probenmaterial aus dem Raum Obergurgl wird eine vor rund 40 Jahren begonnene, damals von der Alpinen Forschungsstelle Obergurgl initiierte Forschungstradition fortgesetzt.

Die Analyse der Jahrringbreitenzuwächse von lebenden Zirben aus dem Obergurgler Zirbenwald zeigt die erwartete Übereinstimmung des Jahrringbreitenwachstums dieser Hochlagenbäume mit der Sommertemperaturentwicklung. Bemerkenswert ist, dass keine Hinweise auf ein negatives Abweichen (*divergence*) zwischen der Jahrringentwicklung und der Temperaturzunahme in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten festgestellt werden konnten.

Die Analyse der zeitlichen Verteilung von subfossilen Hölzern aus Mooren im Raum von Obergurgl erbrachte unterschiedliche Ergebnisse: die Konzentration der Holzdatierungen aus dem Zirbenwaldmoor und aus den nahe gelegenen Moorflächen auf den Zeitraum zwischen etwa 100 und 1300 n. Chr. ist einerseits durch die lokale Moorentwicklung, andererseits durch verschiedene Phasen anthropogener Eingriffe in den das Moor umgebenden Wald begründbar. Demgegenüber spiegelt die zeitliche Verteilung der subfossilen Hölzer aus dem Bereich der Gurgler Alm vor allem die holozäne Waldgrenzentwicklung zumindest in Ansätzen wider.

Literatur

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z., Nieplová, E. (2007) HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *Int. Journal of Climatology* 27/1: 17–46.
- Böhm, R., Jones, P. D., Hiebl, J., Brunetti, M., Frank, D., Maugeri, M. (2009) The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperatures series 1760–2007. *Climate Change* 101: 41–67.
- Briffa, K.R., Jones, P. D., Bartholin, T.S., Eckstein, D., Schweingruber, F.H., Karlen, W., Zetterberg, P., Eronen, M. (1992) Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. *Climate Dynamics* 7: 111–119.
- Briffa, K.R., Jones, P. D., Schweingruber, F.H., Karlen, W., Shiyatov, S.G. (1996) Tree ring variables as proxy-climate indicators. Problems with low-frequency signals. In: *Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years*

- ars. Jones, P.D., Bradley, R.S., Jouzel, J. (Hg.), Springer, Berlin: 9-41.
- Büntgen, U., Esper, J., Frank, D.C., Nicolussi, K., Schmidhalter, M. (2005) A 1052-year tree-ring proxy for Alpine summer temperatures. *Climate Dynamics* 25: 141-153.
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J.O., Herzig, F., Heussner, K.-U., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J. (2011) 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science* 331: 578-582.
- Cook, E.R., Briffa, K.R., Meko, D.M., Graybill, D.A., Funkhouser, G. (1995) The segment length curse in long tree-ring chronology development for paleoclimatic studies. *Holocene* 5: 229-237.
- D'Arrigo, R., Wilson, R., Liepert, B. and Cherubini, P. (2008) On the 'Divergence Problem' in Northern Forests: A Review of the Tree-Ring Evidence and Possible Causes. *Global and Planetary Change* 60: 289-305.
- Eckstein, D., Aniol, R.W. (1981) Dendroclimatological reconstruction of the summer temperatures for an alpine region. In: *Dickenwachstum der Bäume. Symposium Innsbruck 9.-12.9.1980. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien* 142: 391-298.
- Esper, J., Büntgen, U., Frank, D., Pichler, T., Nicolussi, K. (2007.) Updating the Tyrol tree-ring data set. In: *TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 5. Haneca, K., Verheyen, A., Beeckman, H., Gärtner, H., Helle, G., Schleser, G. (Hg.): 80-84.
- Frank, D., Büntgen, U., Böhm, R., Maugeri, M., Esper, J. (2007) Warmer early instrumental measurements versus colder reconstructed temperatures: shooting at a moving target. *Quaternary Science Reviews* 26: 3298-3310.
- Giertz, V., Griesler, I. (1975) Dendrochronologie. *Tiroler Heimatblätter* 3: 94-100.
- Jörin, U.E., Nicolussi, K., Fischer, A., Stocker, T.F., Schlüchter, C. (2008) Holocene optimum events inferred from subglacial sediments at Tschierwa Glacier, Eastern Swiss Alps. *Quaternary Science Reviews* 27/3-4: 337-350.
- Lamprecht, A. (1978) Die Beziehung zwischen Holzdichtewerten von Fichten aus subalpinen Lagen des Tirols und Witterungsdaten aus Chroniken im Zeitraum von 1370-1800 AD. Diploma Thesis. Universität Zürich.
- Melvin, T. M., Briffa, K.R. (2008): A „Signal-Free“ approach to Dendroclimatic Standardisation. *Dendrochronologia* 26: 71-86.
- Nicolussi, K., Lumassegger, G., Patzelt, G., Pindur, P., Schießling P. (2004) Aufbau einer holozänen Hochlagen-Jahrring-Chronologie für die zentralen Ostalpen: Möglichkeiten und erste Ergebnisse. In: *Innsbrucker Jahresbericht 2001/2002, Innsbrucker Geographische Gesellschaft* (Hg.), 16: 114-136.
- Nicolussi, K., Kaufmann, M., Patzelt, G., van der Plicht, J., Thurner, A. (2005) Holocene tree-line variability in the Kauner

- Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs. *Vegetation History and Archaeobotany* 14: 221-234.
- Nicolussi, K. (2009): Alpine Dendrochronologie – Untersuchungen zur Kenntnis der holozänen Umwelt- und Klimaentwicklung. In: *Klimawandel in Österreich*. Schmidt, R., Matulla, C., Psenner, R. (Hg.) (Innsbruck university press) *Alpine Space – man & environment* 6: 41-54.
- Nicolussi, K., Kaufmann, M., Melvin, T.M., van der Plicht, J., Schießling, P., Thurner, A. (2009) A 9111 year long conifer tree-ring chronology for the European Alps - a base for environmental and climatic investigations. *The Holocene* 19: 909-920.
- Oberhuber, W., Kofler, W., Pfeifer, K., Seiber, A., Gruber, A., Wieser, G. (2008) Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid 1980s. *Trees* 22: 31-40.
- Reasoner, M.A., Tinner, W. (2008) Holocene treeline fluctuations. In: *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Gornitz, V. (Hg.), Springer, Dordrecht: 442–446.
- Rybnicek, K., Rybnickova, E. (1977) Mooruntersuchungen im Oberen Gurgltal, Ötztaler Alpen. *Folia Geobot. Phytotax.* Praha 12: 245-291.
- Schiechtel, H.M., Stern, R. (1975) Die Zirbe (*Pinus cembra* L.) in den Ostalpen I. *Angewandte Pflanzensoziologie* 22: 84 S.
- Vorren, K.-D., Morkved, B., Bortenschlager, S. (1993) Human impact on the Holocene forest line in the Central Alps. *Vegetation History and Archaeobotany* 2: 145-156.

Verzeichnis der AutorInnen

Kurt Nicolussi
Institut für Geographie
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
kurt.nicolussi@uibk.ac.at

Andrea Thurner
Institut für Geographie
Universität Innsbruck
Innrain 52, 6020 Innsbruck
andrea.thurner@uibk.ac.at