

Diplomarbeit

Thema:

**Dendroökologische Analyse des Einflusses von
Überschotterungsereignissen auf ein hochmontanes Waldökosystem:
Fallstudie in den Nördlichen Kalkalpen
(Karwendel, Tirol)**

Zur Erlangung des akademischen Grades
Magister der Biologie an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Eingereicht bei
A. Univ.-Prof. Dr. Walter Oberhuber
Institut für Botanik

Vorgelegt von
Peter Zangerle

Innsbruck 2007

Mein Dank gilt ...

... meinem Diplomarbeitsbetreuer Dr. Walter Oberhuber, der zur Behebung der ein oder andern Diplomarbeitswehwehchen stets zur Stelle war

... dem hydrographischen Dienst Tirol für die Klimadaten

... dem Amt der Tiroler Landesregierung (Abteilung Umweltschutz tiris) für die Luftbilder

... meinen Freunden und Bekannten: Rainer, Roland, Harald, Klaus, Bernhard, Thomas, Maggo, Matthias, Harald und Martin

... Lydia für die tatkräftige Hilfe bei der Probenentnahme

... Sophie und Irmi für die gute „Zusammenarbeit“

... meinem Bruder Andreas für die gemeinsame Forschungstätigkeit im Rahmen der Humanbiologie

... und vor allem meinen Eltern für die großzügige Unterstützung meines Zweitstudiums

Inhaltsverzeichnis:

1. Zusammenfassung	5
2. Abstract	6
3. Einleitung	7
3. 1. Fragestellung	8
4. Untersuchungsgebiet	9
4. 1. Karwendelgebirge – Hinterautal	9
4. 1. 1. Allgemeines	9
4. 1. 2. Geologie	10
4. 1. 3. Klima	11
4. 1. 4. Vegetation	11
4. 2. Untersuchungsstandort	13
5. Material und Methoden	15
5. 1. Material	15
5. 1. 1. Gemeine Fichte (<i>Picea abies</i> [L.] Karsten)	15
5. 1. 2. Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	17
5. 2. Dendrochronologische Techniken	19
5. 2. 1. Datenerhebung	19
5. 2. 2. Bohrkernentnahme	19
5. 2. 3. Präparation der Bohrkerne	20
5. 2. 4. Messung der Jahrringbreiten	21
5. 3. Auswertung	22
5. 3. 1. Datierung	22
5. 3. 2. Trendeliminierung	22
5. 3. 3. Chronologienvergleich	24
5. 3. 4. Klima-Wachstumsbeziehung	25
5. 3. 5. Statistische Kennziffern	27
6. Ergebnisse	28
6. 1. Charakteristika der Wachstumszeitreihen (= Standortchronologien)	28

6. 2. Synchronisierung der erstellten Wachstumszeitreihen (= lokaler Chronologienvergleich)	29
6. 3. Regionaler Chronologienvergleich	31
6. 4. Radialer Wachstumsverlauf der Fichte.....	33
6. 5. Standardisierung der Wachstumszeitreihen.....	35
6. 5. 1. Standardchronologien.....	35
6. 5. 2. Residualchronologien	36
6. 6. Datierung und radialer Wachstumsverlauf abgestorbener Fichten	37
6. 6. 1. Datierung	37
6. 6. 2. Wachstumsverlauf	39
6. 7. Radialer Wachstumsverlauf des Bergahornbestandes	41
6. 8. Ermittlung des Einflusses von Klimafaktoren auf das Radialwachstum	44
6. 9. Datierung möglicher Murgänge im Untersuchungsgebiet.....	48
6. 9. 1. Extreme Niederschlagsereignisse.....	48
6. 9. 2. Luftbildauswertung	54
7. Diskussion	56
7. 1. Bestandesdynamik	56
7. 2. Wachstumsbeeinflussung durch Umweltfaktoren	59
7. 3. Methodischer Ausblick	61
8. Schlussfolgerung	64
9. Literatur	65

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Anhang

Lebenslauf

1. Zusammenfassung

Im Hinterautal/Isargrund (Karwendel) stockt auf 1200 m MH auf einem etwa 2 ha umfassenden Schotterkegel ein lichter von Fichte (*Picea abies* [L.] Karsten) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) dominierter Waldbestand. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Bestandesentwicklung im Zuge von Überschotterungsereignissen sowie das Ausmaß der Wachstumslimitierung der vorherrschenden Baumarten durch klimatische Faktoren und geomorphologische Störungen untersucht.

Von 3 Fichtenbeständen sowie 23 abgestorbenen Individuen und 12 Bergahornbäumen, die auf dem Überschotterungsareal stockten, wurden Jahrringbreitenchronologien erstellt. Um den Klimaeinfluss auf das Baumwachstum zu erfassen, wurde weiters ein von Murgängen nicht betroffener, in unmittelbarer Nähe gelegener Fichtenbestand mit einbezogen. Insgesamt wurde das Radialwachstum von 115 Bäumen (218 Bohrkerne) untersucht. Hinweise auf stattgefundene Überschotterungsereignisse wurden anhand der Auswertung von Luftbildern sowie von Niederschlagsextremen, basierend auf lokalen Niederschlagsdaten die bis 1896 zurückreichten, erhalten.

Pearson-Korrelationen zwischen Jahrringbreitenzeitreihen und Klimavariablen (monatliche Mitteltemperaturen und Niederschlagssummen) zeigten, dass das Radialwachstum der Fichte an diesem Standort primär durch kühle Sommertemperaturen (Mai-Juli) limitiert wird. Abrupt auftretende Wachstumseinbrüche aufgrund von Überschotterungen traten in den Wachstumszeitreihen innerhalb der letzten 100 Jahre nicht auf. Es zeigte sich zudem, dass das Absterben einzelner Individuen durch Murgänge überwiegend als ein lang andauernder Prozess anzusehen ist, welcher durch die Schädigung des Wurzelsystems als Folge des Geschiebedrucks auf den Stamm ausgelöst wird. Sukzessive Einschotterungen bewirkten möglicherweise auch eine mechanische Stabilisierung überlebender Bäume, wodurch weitere Beeinträchtigungen der Wurzeln hintan gehalten wurden.

Die Wachstumsanalysen haben ferner gezeigt, dass in den letzten Jahrzehnten die jährlichen Zuwachsraten von *Acer pseudoplatanus* gegenüber *Picea abies* zunehmend divergierten, was auf eine höhere Adaptationsfähigkeit des > 1 m unter der Bodenoberfläche ausgebildeten Wurzelsystems von *Acer pseudoplatanus* auf die ansteigende Einschotterung schließen lässt. Außerdem wurde ein plötzlicher Wachstumsanstieg in einzelnen Jahrringbreitenzeitreihen von *Picea abies* um 1890 festgestellt. Als Ursache hierfür kann die überschotterungsbedingte Auflichtung des Bestandes angenommen werden. Dies wird durch die Altersstruktur der ausgewählten Fichtenbestände, die auf eine ausgedehnte Wiederbesiedelung des Schotterkegels um 1890 hindeutet, erhärtet.

2. Abstract

Dendroecological analysis of the impact of debris flow on a high montane forest ecosystem: a case study in the Northern Limestone Alps (Tyrol, Austria)

Radial growth variability and response to debris flows were studied on an alluvial fan (c. 2 ha) covered by Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karsten) and scattered sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). The study area (c. 1200 m a.s.l.) is situated in the Northern Limestone Alps (Hinteraul, Karwendel) and is characterized by recurrent substantial debris flows triggered by heavy rain fall.

Ring width chronologies from three *Picea abies* stands including 23 dead standing trees and *Acer pseudoplatanus* (n = 12) as well as an undisturbed *Picea abies* stand nearby, representing climatically driven tree growth of the study area, were developed. Tree-ring growth data from a total of 115 trees (218 cores) were analyzed. Dating of debris flows were based on aerial views of the study area and evaluation of heavy rain fall events in local climate records dating back to 1896.

Pearson correlations between residual chronologies and climate variables revealed that *Picea abies* growth appears to be primarily limited by cool summers (May-July). Concurrent abrupt growth depressions in selected stands due to debris flows were not apparent in increment series during the last 100 yr. On the other hand, annual increments of dead trees revealed that individual tree mortality was predominantly a long-term process caused by damage of the root system due to tilting in course of debris flows. Hence, I suggest that successive burying of surviving trees in the past stabilized stems against tilting and subsequent impairment of the fine root system developed > 1 m below soil surface.

Radial growth data also revealed that annual increments of *Acer pseudoplatanus* successively diverge from *Picea abies* growth during last decades, indicating higher resistance of the former species against long-term burying. Furthermore, a sudden growth release was detected in several ring width series around 1890, which possibly represents improved growth conditions due to removal of dominant neighbouring trees by an exceptional flow event. This is supported by age structure analysis of selected stands, which revealed a widespread re-colonization of the alluvial fan at this time.

3. Einleitung

Die Jahrringforschung bzw. Dendroökologie hat sich in den letzten zwei Dekaden zu einer vielschichtigen Forschungsrichtung entwickelt. Die Dendroökologie umfasst alle Teilgebiete der Dendrochronologie (= Jahrringdatierung), die Umweltinformationen in Jahrringparametern (Breite, Dichte, Holzstruktur) analysiert (KAENNEL & SCHWEINGRUBER 1995). Besonders in der Klimaforschung wurde mit dendroökologischen bzw. klimatologischen Vorgehensweisen gearbeitet (HUGHES 2002). Nicht nur zur Überprüfung der natürlichen klimatischen Variabilität, sondern auch zur Erfassung von Veränderungen in der Geomorphologie wie z. B. Murenabgänge, Steinschlag, Gletscherbewegung und Überschotterung können dendroökologische Verfahren zum Nachweis, zur Datierung und Rekonstruktion herangezogen werden (BRÄUNING 1995; SCHWEINGRUBER 1983b, 1996). Schwerpunkt der dendrogeomorphologischen Forschung ist es, den Zusammenhang zwischen der Wirkung geomorphologischer Ereignisse auf den Baum und der daraus resultierenden Wachstumsreaktionen festzustellen. Z. B. kann die Analyse von Wachstumsreaktionen im Stamm helfen, eine jahrgenaue Datierung eines Murenereignisses festzustellen (ALESTALO 1971; SCHWEINGRUBER 1983b, 1996; SHRODER 1980; GÄRTNER et. al. 2004).

Grundsätzlich sind detaillierte Kenntnisse in der Jahrringanalyse und Geomorphologie erforderlich, um geomorphologische Prozesse zu rekonstruieren. In der Geomorphologie sind dies: Geländeansprachen, Prozessbestimmungen und Kartierungen. Im Bereich der Dendrochronologie sind es die Baumauswahl, Probengewinnung, Präparation der Proben und schließlich deren Auswertung (GÄRTNER et. al. 2004). Eine jahrringanalytische Auswertung der Daten erlaubt zwar eine genaue Datierung des Störungsereignisses, weitere Aussagen über den Umfang und die Intensität der Störung können aber nicht getroffen werden. In diesen Fällen muss eine geomorphologische Standortansprache und Prozessanalyse durchgeführt werden (GÄRTNER et. al. 2004).

Dendrogeomorphologische Arbeiten haben zum Ziel, Ereignisse die auf Bäume einwirken zu datieren. Durch Abweichungen vom „normalen“ Wachstumsmuster der Bäume wird dies möglich. Um diese Abweichungen feststellen zu können braucht es Referenzbäume, welche von dem zu untersuchenden geomorphologischen Ereignis nicht betroffen waren. Bei der

Wahl des Referenzstandortes ist darauf zu achten, dass die gleichen Standorteigenschaften (Höhenlage, Exposition) vorherrschen und dass die gleichen Baumarten untersucht werden.

Die Analyse erfolgt an Hand von Stammscheiben oder Bohrkernen (z. B. GÄRTNER et. al. 2004). Die Bedeutung dendrogeomorphologischer Forschung zeigt sich vor allem im alpinen Raum. Besonders aus landschaftsökologischer Sicht lassen sich potentielle landschaftliche Veränderungen modellieren und damit zusammenhängende Risikoabschätzungen tätigen.

3. 1. Fragestellung

Das Ziel der Diplomarbeit ist es die Auswirkungen großflächiger Überschotterungen auf das Wachstum und die Entwicklung eines alpinen Waldbestandes, mittels dendroökologischer Verfahren, zu untersuchen.

Mit Hilfe von Klimaaufzeichnungen der letzten 100 Jahre, Wachstumsanalysen und Luftbildern, die bis 1953 zurückreichen, soll das Überschotterungsereignis im Karwendel nachvollzogen und Auswirkungen auf das Baumwachstum bzw. die Bestandesentwicklung dargestellt werden.

4. Untersuchungsgebiet

4. 1. Karwendelgebirge – Hinterautal

4. 1. 1. Allgemeines

Das Hinterautal ist ein Tal im westlichen Karwendelgebirge im Bundesland Tirol. Es erstreckt sich mit einer Länge von ca. 20 km in West-Ost-Richtung und befindet sich ca. 15 km nördlich von Innsbruck.



Abb. 1: Karwendelgebirge



Abb. 2: Hinterautal Blickrichtung Westen

Das Karwendelgebirge ist ein Teil der nördlichen Kalkalpen, mit der Birkkarspitze (2749 m) als höchste Erhebung. Beim Karwendelgebirge handelt es sich um ein schroffes, gletscherfreies Hochgebirge mit steilen Formen und einem beträchtlichen Anteil an alpiner Vegetation. Die Gipfel erreichen vielfach Höhen von über 2500 m und überragen somit deutlich die Waldgrenze, die sich auf ca. 1800 m bis 1900 m Seehöhe befindet (SCHIECHTL et. al. 1987).

4. 1. 2. Geologie

Die nördlichen Kalkalpen weisen zum größten Teil Decken- und Schollenbau auf. Im östlichen Teil des Karwendels sind hauptsächlich Kalke und Dolomite der Mitteltrias zu finden. Speziell im Hinterautal kann man auch auf Kalke und Dolomite der Obertrias stoßen, welche in westlicher Richtung bis nach Scharnitz und dann gegen Süden hin zu finden sind. Der Talboden des Hinterautals, sowie auch anderer Täler (zum Beispiel des Karwendeltals) sind pleistozäne Moränen (SCHIECHTL et. al. 1987). Besonders im Hinterautal gibt es große Schuttfelder. Hier ist das Überschotterungspotential sehr hoch. Aus diesem Grund eignet sich dieses Gebiet besonders für die Untersuchung der Auswirkungen von Überschotterungsereignissen auf die Vegetation (SCHIECHTL et. al. 1987).

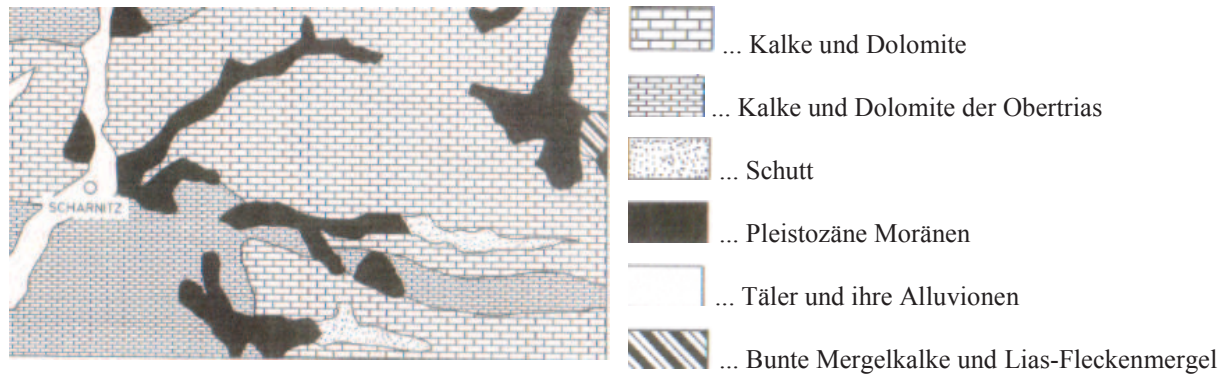


Abb. 3: Geologie im Hinterautal

4. 1. 3. Klima

Das Klima im Karwendelgebirge ist temperiert, kühl und humid. Die kalten Jahreszeiten sind sehr ausgeprägt und durch hohe Niederschläge charakterisiert, dadurch fallen im Winter große Schneemengen. Der Jahresmittelniederschlag beträgt um die 1500 mm. Über das ganze Jahr hinweg gesehen fällt der meist Niederschlag während der Sommermonate, also zur Vegetationszeit (siehe Abb. 4). In den höhergelegenen Berggruppen kann der Jahresmittelniederschlag sogar bis zu 2000 mm betragen.

Auf 1200 m bis 1500 m herrscht ein Jahrestemperaturmittel von +4° Celsius. Die vorherrschende Windrichtung ist Nordwest. Der Föhn spielt im Karwendel nur eine sehr untergeordnete Rolle (SCHIECHTL et. al. 1987).

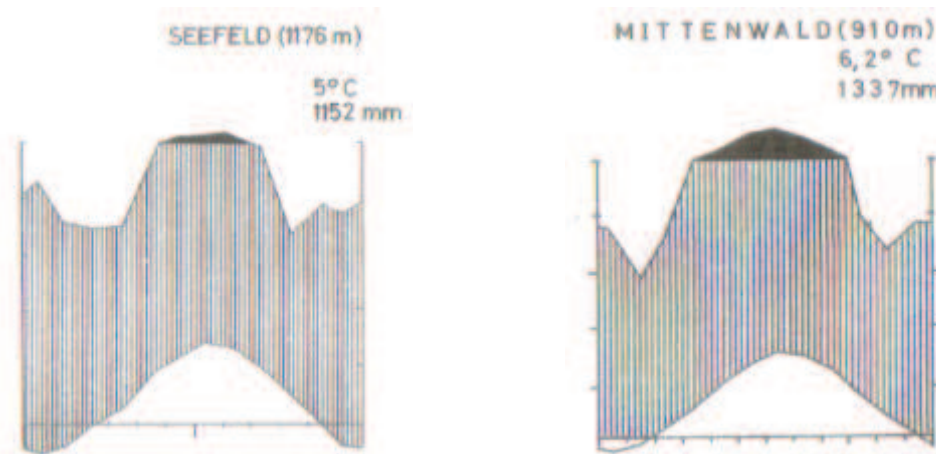


Abb. 4: Klimadiagramme von Seefeld und Mittenwald

4. 1. 4. Vegetation

Entsprechend der geomorphologischen und klimatischen Gegebenheiten gehört das Karwendel einer einzigen Vegetationszone an, nämlich der atlantisch getönten Nordalpenrandzone mit basischen bis schwach sauren Böden auf Karbonatgestein. Folgende Vegetationsbeschreibungen gelten vor allem für das Hinterautal (SCHIECHTL et. al. 1987).

Wälder:

Im Hinterautal sind mehrere verschiedene Nadelwaldtypen vertreten. Besonders im westlich weiter tiefer gelegenen Teil des Hinterautals, findet man einen Bergföhrenwald sowie ausgedehnte Spirkenbestände, die das Landschaftsbild stark prägen. Weiter taleinwärts

gelegen, jedoch immer noch am Talgrund, herrscht montaner Tannen-Fichtenwald (*Abieti-Piceion*) auf Karbonatgestein vor.

Am Untersuchungsstandort wächst ein montaner Fichtenwald (*Piceetum montanum*) und angrenzend, beziehungsweise teilweise überlappend, Legföhren-Krummholz (*Pinetum mugii*). Die Legföhren treten stets oberhalb der Waldgrenze auf, können aber auf Lawinhalden und Schuttkegeln bis in die Täler vorstoßen. Alpine Grasheiden, Schneebodenvegetation und alpine Schutt- und Felsvegetation bilden nach oben hin den Abschluss des Vegetationsgürtels. Vor allem Schuttgesellschaften sind auf den ausgedehnten Kalkschuttreißen großflächig anzutreffen (SCHIECHTL et. al. 1987).

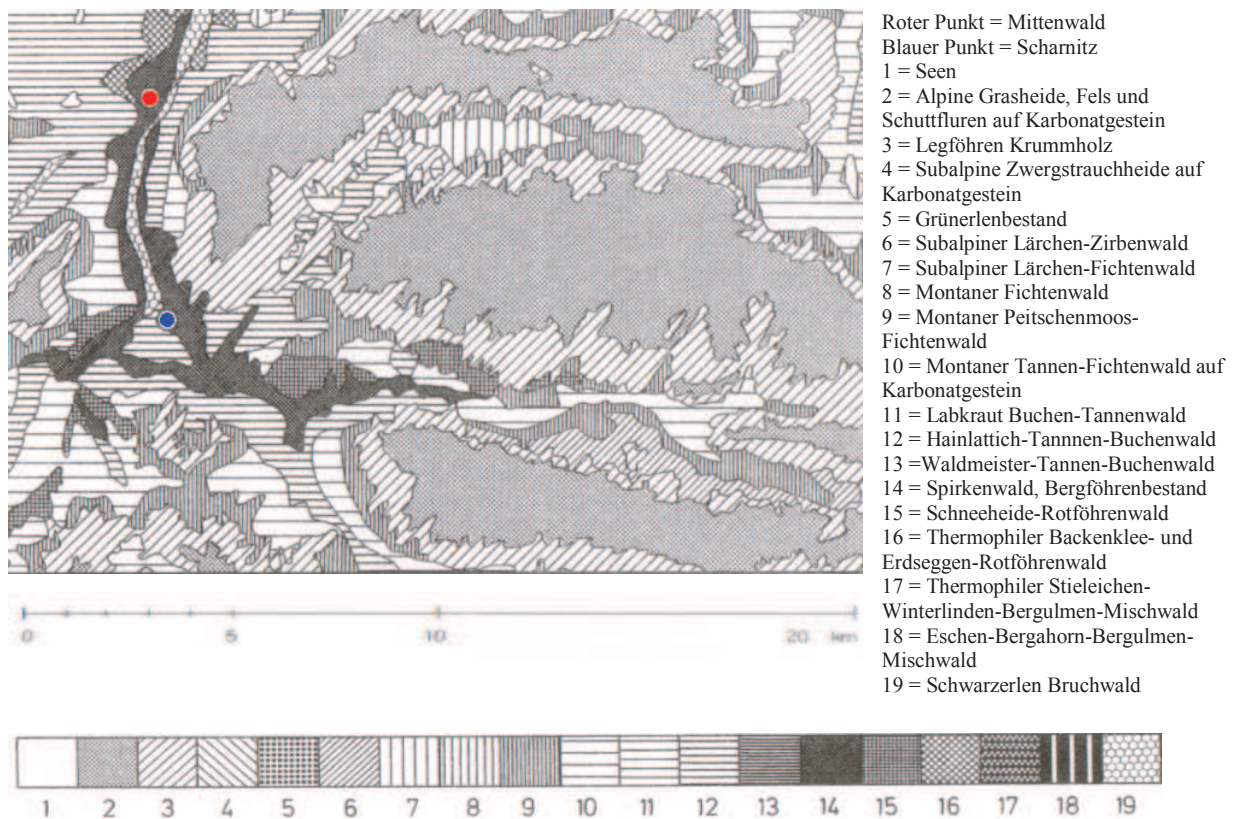


Abb. 5: Vegetation im Hinterautal

4. 2. Untersuchungsstandort

Der Untersuchungsstandort befindet sich im Hinterautal im Karwendelgebirge, zwischen Isargrund und der Kastenalm (47°22'28'' N, 11°25'19'' E) auf 1200 m NN. Südlich der Birkkarspitze in Nord-Süd-Richtung erstreckt sich die Birkkarklamm, durch die der Birkkarbach Schotter und Geschiebematerial ins Hinterautal befördert. Innerhalb dieses weitläufigen Schotterareals wurden 3 Probeentnahmeflächen ausgewählt. Der Standort der Referenzfläche befindet sich westlich, außerhalb des überschotterten Areal. Innerhalb der Probeentnahmeflächen befinden sich, außer auf der Referenzfläche, zahlreiche vollständig bzw. teilweise abgestorbene Fichten Exemplare und vereinzelt Bergahorn.

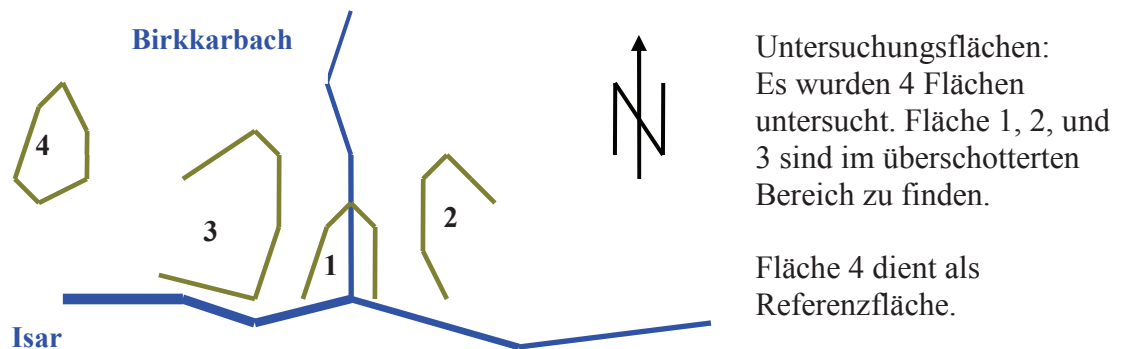


Abb. 6: Schema der Untersuchungsfläche Hinterautal/Isargrund (Karwendel)

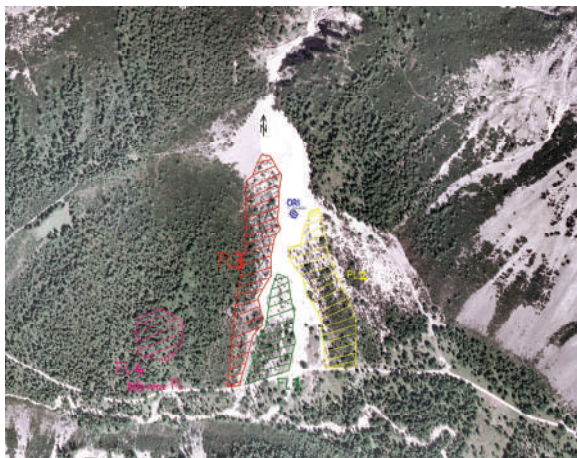


Abb. 7: Untersuchungsgebiet

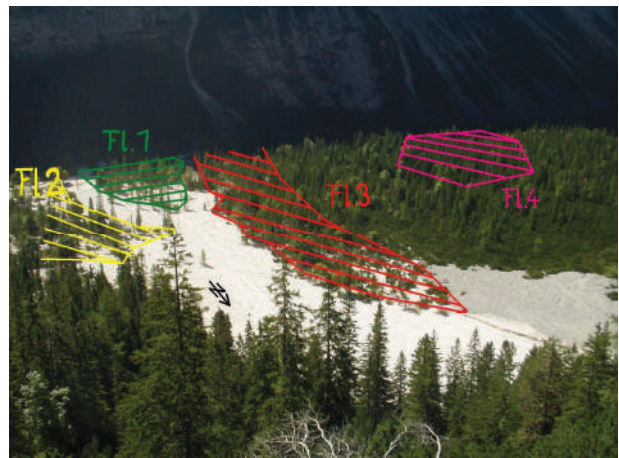


Abb. 8: Versuchsflächen im überschotterten Talbereich

Innerhalb der Flächen 1, 2 und 3 wurde eine starke Überschotterung festgestellt.

Tab. 1: Standortcharakteristika des Untersuchungsgebietes. MH = Meereshöhe, E = Exposition, N = Neigung, BH = Bestandeshöhe

Standort	Baumart	MH [m]	E	N [°]	BH [m]
Hinterautal	<i>Picea abies</i> <i>Acer pseudoplatanus</i>	1200	SSW	5	5

Da pro Fläche mehrere Proben (= Bohrkern) von verschiedenen Baumarten genommen wurden, war es wesentlich, anhand der Probennummer den Standort der beprobten Bäume, nachträglich noch feststellen zu können. Niedrige Probennummern kennzeichnen Bäume die von orographisch höher gelegenen Standorten, d. h. nördlich innerhalb der Versuchsfläche, entnommen wurden. Mit aufsteigender Probennummer wurden Bäume weiter südlich, demzufolge orographisch tiefer liegend, gekennzeichnet.

Die Probenentnahme erfolgte in der Zeit vom 22.09.2005 bis zum 26.09.2005.



Abb. 9: Untersuchungsgebiet

5. Material und Methoden

5. 1. Material

5. 1. 1. Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] Karsten)

Systematik:

Die Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] Karsten) ist eine Konifere und gehört zur Familie der Pinaceae in die Unterfamilie Abietoideae. Die Gattung wird zudem in 3 Sektionen unterteilt: Die Eupicea (Willk.), zu der *Picea abies* gehört, die Casicta (Mayr) und die Omorika (Willk.) (SCHÜTT et. al. 1992).



Abb. 10: Fichte

Kennzeichen:

Die Gemeine Fichte erreicht im ausgewachsenen Zustand eine Höhe von bis zu 40 m. Auch Höhen bis zu 60 m können erreicht werden. Der Stammdurchmesser kann bis zu 2 m betragen. Ihr Wurzelsystem ist tellerförmig mit flachstreichenden Seitenwurzeln. Das Wurzelsystem weist keine Pfahlwurzeln auf, aber jedoch einige Senker, die mehr oder weniger tief in den Boden vordringen. Der Stamm ist gerade und hat eine rotbraune bis graue Rinde, die schuppig abblättert. Die Krone hat eine spitz-kegelförmig oder spitz-pyramidenförmige Struktur. Die Zweige sind auffallend regelmäßig, waagrecht- oder abwärtsstehend und meist am Ende aufwärts gekrümmt. Die jungen Triebe sind meist kahl oder leicht behaart und haben eine braun bis rötlich gelbe Farbe. Die Knospen sind spitzförmig und weisen keinerlei Harzüberzug auf. Die Nadeln sind immergrün und gerade, mehr oder weniger ausgesprochen vierkantig und weisen eine Länge von 25 bis 35 mm auf. Die Zapfen der Gemeinen Fichte hängen nach unten, haben grün bis rotbraune Farbe und können bis zu 20 cm lang sein. Das Holz ist leicht und hell. Es eignet sich dadurch hervorragend als Bau- und Konstruktionsholz. Auch zur Papierherstellung wird Fichtenholz verwendet. Es gleicht dem Tannenholz und eignet sich auch hervorragend als Brennholz (ZOLLER 1981; SCHÜTT et. al. 1992).

Vorkommen:

Die Gemeine Fichte ist meist im Reinbestand, jedoch vielfach auch gemischt mit anderen Nadel- und Laubhölzern, anzutreffen. Sie wächst bevorzugt im Nadelwaldgürtel der Berg- und Voralpenstufe auf frisch bis feuchten, kühlen, schwach bis stark sauren (Optimum: pH 4 - 5), humosen Böden. Das Klima sollte nicht zu lufttrocken und nicht zu winterwarm sein. Im Reinbestand kommt die Fichte meist nur über 800 m Seehöhe vor; optimal in montan-subalpinen Fichten- und Fichtenmischwäldern als beigemischte Holzart, aber auch in Laubwäldern der Ebene- und Hügelstufe (ZOLLER 1981).

Allgemeine Verbreitung:

Die Gemeine Fichte kommt in drei Teilgebieten vor:

a) Alpinsüdosteuropäisches Teilgebiet:

Beginnend von der Schweizer Jura, dem Schwarzwald, Schwäbisch-bayrisches Alpenvorland, Alpen, Gebirge von Dalmatien, südlich bis Montenegro und zum Schar Dagh, isoliert im ligurischen Apennin, im Rila-Gebirge und bis zum Balkan (ZOLLER 1981).



Abb. 11: Verbreitung der Fichte

b) Hercynisch-karpatisches Teilgebiet: Dazu zählt das Erzgebirge, das Bayerisch-Böhmische Grenzgebirge, die Fränkische Jura, das Fichtelgebirge, der Frankenwald, das nördliche Karpatenvorland, die Karpaten und das Bihar-Gebirge (ZOLLER 1981).

c) Nordeuropäisch-asiatisches Teilgebiet: Hierzu zählen Gebiete in Skandinavien die nördlich bis über den 69. Breitengrad reichen. Außerdem Ostpreußen, die baltischen Länder und Teile Russlands im Norden bis zum oberen Dnjeper bis nach Osten zum Japanischen Meer (ZOLLER 1981).

Ökologie:

Die Fichte besitzt eine weite ökologische Amplitude und durch ihre hohe Konkurrenzkraft kann die Fichte als Schattenholzart an verschiedensten Standorten zur Vorherrschaft gelangen. Die Obergrenze der Fichte wird in den Alpen (2000 m in Tirol) eindeutig durch die Länge der Vegetationszeit und somit von der Temperatur bestimmt. Generell ist die Fichte

sehr temperaturresistent, die Durchschnittstemperatur darf aber im Juli nicht unter 10° C betragen. Im Gebirge ist es nur der Zirbe (*Pinus cembra*) und der Lärche (*Larix decidua*) möglich in höheren Lagen zu überleben (ZOLLER 1981).

In der niederschlagsreichen nördlichen Alpenkette bedingen große Schneemengen, kalte und lange Winter ein spätes Austreiben und somit eine kurze Vegetationsperiode. Die Fichte ist durch das Herunterfallen ihrer Nadeln und Äste für einen sehr niedrigen pH Wert verantwortlich (pH meist < 6). Besonders bei silikatischer Unterlage kommt es dann zur Ausbildung von Rohhumusdecken. Als natürliche Feinde der Fichte sind die Rotfäule (*Heterobasidion annosum*) und der Fichtenborkenkäfer oder Buchdrucker (*Ips typographus* L.) zu nennen (ZOLLER 1981; SCHÜTT et. al. 1992).

5. 1. 2. Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.)

Systematik:

Gehört in die Familie der
Ahorngewächse (Aceraceae)
(SCHÜTT et. al. 1992).



Abb. 12: Bergahorn

Kennzeichen:

Beim Bergahorn handelt es sich um einen bis zu 40 m hohen Baum, der bis zu 1 ½ m Durchmesser erreichen kann. Er wächst meist gerade mit abschuppender Borke, welche den Stamm bedeckt. Die Krone ist regelmäßig gewölbt. Die Zweige sind kahl, die Knospenschuppen allerdings olivgrün und mit dunkel gewimperten Rand versehen. Die Blattnarben stoßen an den Trieben seitlich nicht zusammen. Die Blätter besitzen einen ½ bis 1 ½ dm langen Stiel und sind ein bis zwei dm lang und ebenso breit. Die Blätter beinhalten keinen Milchsafte und sind anfangs dicht behaart. Die mit dem Laubaustrieb entstehenden Blüten treten in Form hängender Rispen in Erscheinung. Das Holz des Bergahorns zählt zu den wertvollsten heimischen Nadelhölzern. Die Farbe des Holzes ist gelblich weiß bis fast weiß und besitzt feine, gleichmäßige Texturen. Die Grenze von Splint- und Kernholz ist kaum zu erkennen. In hohem Alter jedoch kommt es häufig zur Ausbildung

eines bräunlichen Falschkerns. Das Holz ist weiterhin sehr fest, zäh und auch elastisch, was zu einem erhöhten Stehvermögen des Bergahorns führt. Verwendung finden Ahornhölzer im Möbel- und Musikinstrumentenbau sowie bei Schnitz- und Drechselarbeiten (SCHÜTT et. al. 1992).

Vorkommen

Hauptsächlich ist der Bergahorn in montanen und voralpinen Laub- und Nadelwäldern zu finden. Oft wächst er an Bachufern oder auf Schutthalden. Der Bergahorn findet eine starke Verbreitung auf feuchten, tiefgründigen Böden in den nördlichen Voralpen. In Tirol kann der Bergahorn bis auf eine Höhe von 1750 m NN angetroffen werden (SCHÜTT et. al. 1992).

Allgemeine Verbreitung

Im mitteleuropäischen Gebirge von den Pyrenäen bis zu den Alpen und den Karpaten; im Westen bis nach Polen und im Norden bis Großbritannien; in Deutschland bis zum Harz, sowie in Dänemark, Norwegen, Südschweden und Gotland. Südlich findet man den Bergahorn bis Armenien, Kleinasien und im Südwesten bis Spanien, dort vor allem in den Pyrenäen (HEGI 1975).

Ökologie

Beim Bergahorn handelt es sich um eine Halbschatt- bis Schattbaumart mit gut abbaubarer, bodenpfleglicher Streu. Der Bergahorn bevorzugt tiefgründige, frische bis feuchte Böden die sehr basen-, humus-, und nährstoffreich sind. Normalerweise meidet der Bergahorn stark wechselfeuchte, saure und zeitweilig überflutete Böden. Er kommt am Isargrund vor. Der Bergahorn weist mit Hilfe seines intensiven Herz- Senkerwurzelsystems eine starke, tiefgehende Bewurzelung auf, was ihn zu einer wertvollen Schutzwaldbaumart macht. Weiters ist er relativ unempfindlich gegen Steinschlag und verjüngt sich leicht natürlich. Die stärksten Gefährdungen sind: Pilze wie der Ahornrunzelschorf (*Rhytisma acerinum*) und außerdem Wildverbiss und Mäusefraß (SCHÜTT et. al. 1992).

5. 2. Dendrochronologische Techniken

5. 2. 1. Datenerhebung

Vor Beginn der Feldarbeit wurde der Überschotterungskegel im Hinterautal in 4 Untersuchungsflächen aufgeteilt. Die etwas abgelegen liegende vierte Fläche diente als Referenzfläche. Sie befindet sich im Talgrund und weist eine fortgeschrittene Vegetationsstruktur auf. Auf der Referenzfläche befinden sich keine, oder kaum abgestorbene Fichten. In den Flächen 1, 2 und 3 jedoch einige. Die Untersuchungsflächen 1, 2 und 3 liegen im stark überschotterten Bereich des Talbodens. Außer den Bäumen ist dort kaum andere Vegetation zu finden.

5. 2. 2. Bohrkernentnahme

Im Laufe des Spätsommers 2005 (22.09.05 bis zum 26.09.05) wurden Proben von abgestorbenen Fichten, lebenden Fichten und lebenden Bergahornbäumen, auf allen 4 Untersuchungsflächen genommen. Mit Hilfe eines Zuwachsbohrers wurden die Bäume auf Brusthöhe angebohrt. Bei Fichten war es möglich einen durchgehenden Bohrkern zu erhalten und somit 2 Radien pro Baum auszuwerten. Die Bergahorne waren jedoch meist kernfaul oder wiesen einen zu großen Stammdurchmesser auf, weshalb jeweils nur ein Radius entnommen wurde. Auf der Untersuchungsfläche 1 wurden 15 lebende Fichten, 10 abgestorbene Fichten und 4 lebende Bergahorn beprobt. In Fläche 2 schon 20 lebende und 7 abgestorbene Fichten. Aufgrund des erhöhten Bergahornaufkommens wurden 5 Bergahorn beprobt. In Fläche 3, 20 lebende Fichten, 6 abgestorbene und 3 Bergahorne. Auf der Fläche 4, der Referenzfläche, stockten keine Ahornbäume. Aus diesem Grund wurden 20 lebende Fichten beprobt. Insgesamt wurden Proben von 115 Bäumen genommen.

Neben Bergahorn und Fichte treten in der Untersuchungsfläche auch noch Latsche (*Pinus mugo*), Birken (*Betula pendula*), Weiden (*Salix sp.*), Spirke (*Pinus mugo ssp. uncinata*), Esche (*Fraxinus excelsior*) und Mehlbeere (*Sorbus aria*) auf. Jedoch spielen diese Pflanzen, über den gesamten Überschotterungsbereich hinweg, eine untergeordnetere Rolle.

Die Bohrkerne wurden mit dem Zuwachsbohrer (Modell MATSON) entnommen. Der Bohrer, ein schwedisches Produkt, weist eine Länge von 40 cm auf und einen Kerndurchmesser von 5,15 mm. Die Bäume wurden damit auf 1,3 m Höhe beprobt. Um die Messungen nicht durch, vom Baum gebildetes Reaktionsholz zu verfälschen, müssen die Bohrungen im allgemeinen hangparallel, also im rechten Winkel zur Falllinie, durchgeführt werden. Reaktionsholz wird als das Richtgewebe eines Baumes, das in Folge mechanischer Einwirkung entsteht, bezeichnet. Bei Nadelhölzern wird es talseitig als Druckholz und bei Laubbäumen bergseitig als Zugholz ausgebildet (ERLBECK et. al. 1998).

Um die Bohrkerne unbeschädigt ins Labor befördern zu können, wurden sie in Plastikröhren aufbewahrt. Im Labor wurden die noch frischen Bohrkerne einige Tage luftgetrocknet, um eine Beeinträchtigung der Messungen durch Holzschwinden zu vermeiden.

5. 2. 3. Präparation der Bohrkerne

Die getrockneten Bohrkerne müssen, um eine weitere Untersuchung zu ermöglichen, auf speziellen Holzleisten fixiert werden. Die Holzleisten besitzen eine eigens angefertigte Eintiefung um Halt und eine gerade Ausrichtung der Probe zu gewährleisten. Auf der Holzleiste wurden die Proben mit einer Heißklebepistole (HENKEL, Pattex Supermatic 100 PXP 16) befestigt. Die Befestigung musste so erfolgen, dass die Faserrichtung senkrecht zur Holzleiste lag und die Leitgefäße (Tracheiden) im Querschnitt erkennbar waren. Um die Jahrringgrenzen unter dem Mikroskop erfassen zu können, muss die Oberfläche mit einer Rasierklinge geglättet werden.

Die Abtragung muss plan verlaufen und sollte nur ca. einen Millimeter Probenmaterial abtragen. Um eine Zerstörung der Probe zu verhindern läuft die Abtragung von der Borkenseite in Richtung Mark. Somit ist die Zellstruktur unter dem Mikroskop deutlicher sichtbar und ein Abbrechen der Probe an der Rindenseite nicht möglich. Um Kontraste im Jahrringverlauf besser sichtbar zu machen, wurden die Bohrkerne am Ende mit Kreidestaub bearbeitet.

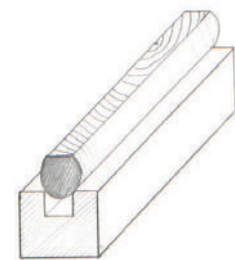


Abb. 13: Auf die Holzleiste fixierter und bearbeiteter Bohrkern

5. 2. 4. Messung der Jahrringbreiten

Die Hauptarbeit der Datenausarbeitung war das Bestimmen der Jahrringzuwächse. Wichtig ist die Anzahl der vorhandenen Jahrringe und auch deren Mächtigkeit, wobei das Jahrringmesssystem TSAPWIN 0.55 (RINN 2003) verwendet wurde. Mit diesem System können Abstände bis in den 1/1000 mm Bereich gemessen werden. Gemessen wird nun auf einem beweglichen Linearmesstisch über dem ZEISS – Auflichtmikroskop. Das Mikroskop ist mit einem Fadenkreuzokular ausgestattet und kann mit 6-, 12-, 25-, und 50- facher Vergrößerung betrieben werden. Begonnen wird die Messung mit dem marknächsten Jahrring. Durch das weiterbewegen des Messtisches und überschreiten der Jahrringgrenzen werden die Mächtigkeiten der einzelnen Jahrringe ermittelt. Die Jahrringbreiten wurden mit Hilfe einer Fußtaste an den Computer übermittelt. Das Computerprogramm kann dann die Mächtigkeiten der Jahrringe graphisch am Bildschirm darstellen.

Gemessen wurden immer beide Radien des Bohrkerns, die anschließend zu einer Baummittelkurve zusammengefasst wurden. Diese Baummittelkurve kann sozusagen als „Fingerabdruck“ oder „Visitenkarte“ der Wachstumsvariabilität des jeweiligen Individuums gesehen werden. Dies lässt Schlüsse über die vorherrschenden Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet zu (FRITTS 2001; BRÄKER 1981; COOK & KAIRIUKTIS 1990; ESPER & GÄRTNER 2001).

5. 3. Auswertung

5. 3. 1. Datierung

Nach Vermessung der zahlreichen Einzelproben und Erstellung der Baummittelkurven kam das Programm COFECHA (HOLMES 1994) zum Einsatz, welches Vergleiche einzelner Baummittelkurven innerhalb des Untersuchungsgebietes zur Datierungskontrolle erlaubt. Aus allen Baummittelkurven kann COFECHA eine „Masterchronologie“ erstellen. Danach kann jede einzelne Baummittelkurve mit der Masterchronologie verglichen werden. Die Mittelkurve welche mit der Masterkurve verglichen wird, wird bei diesem Vorgang in die Masterkurve nicht mit einberechnet. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass unsicher datierte Kurven erkannt werden können. Falsch datierte Proben können durch das Fehlen einzelner Jahrringe auftreten. An einem Untersuchungsstandort kann das Wachstumsverhalten einzelner Bäume von dem anderer Individuen abweichen. Diese „Ausreißer“ kann COFECHA erkennen, sodass bei der Erstellung einer Gesamtmittelkurve für ein Gebiet diese nicht miteinbezogen werden. Somit fließen nur Bäume mit ähnlichem Wachstumsverlauf in die Untersuchungen und die Bildung einer Gesamtmittelkurve (= Chronologie eines homogenen Bestandes) ein. Für alle 4 Untersuchungsflächen wurden diese Gesamtmittelkurven erstellt und bieten eine gute Vergleichsbasis. Die Mittelkurven zweier Standorte haben mit Hilfe dieses Verfahrens einen höheren Deckungsgrad als zwei Einzelkurven der selben Standorte (SCHWEINGRUBER 1983a).

5. 3. 2. Trendeliminierung

Innerhalb der Chronologien treten immer langfristige Schwankungen in der Mächtigkeit der Jahrringe auf. Diese Schwankungen haben biologisch, ökologische Gründe. Z. B. sind die Jahrringe eines jungen Baumes breiter als die eines älteren Baumes. Die Ringbreite nimmt somit mit zunehmendem Baumalter ab. Diesen Effekt nennt man den Alterstrend, der in allen Chronologien auftritt (BRÄKER 1981). Diese Schwankungen können mit Hilfe von Trendeliminierungsverfahren, oder auch Standardisierung oder Indexierung genannt, entfernt werden (SCHWEINGRUBER 1983a). Ebenfalls lassen sich bestandesdynamische Einflüsse, Individualitäten in den Wachstumsraten und Vitalitäten verschiedener Bäume ausgleichen.

Die Trendeliminierung erfolgt mit dem Programm ARSTAN (HOLMES 1994). Zu Beginn wurde die Trendeliminierung bei den Gesamtchronologien der einzelnen Versuchsflächen durchgeführt, um sie mit den Klimadaten der Region vergleichen zu können. Es wurden durch Mittelung der standardisierten Einzelbaummittelkurven, eine Standard- und eine Residualchronologie erstellt. Die Residualchronologie (Abb. 15) bereinigt noch zusätzlich Einflüsse des vorhergegangenen Jahres (= Autokorrelation). Diese Umlagerung gibt jedoch nicht den realen Zuwachs pro Jahr wieder. Somit erfolgt die Ermittlung der Klima-Wachstums-Beziehung auf Basis der Residualchronologie.

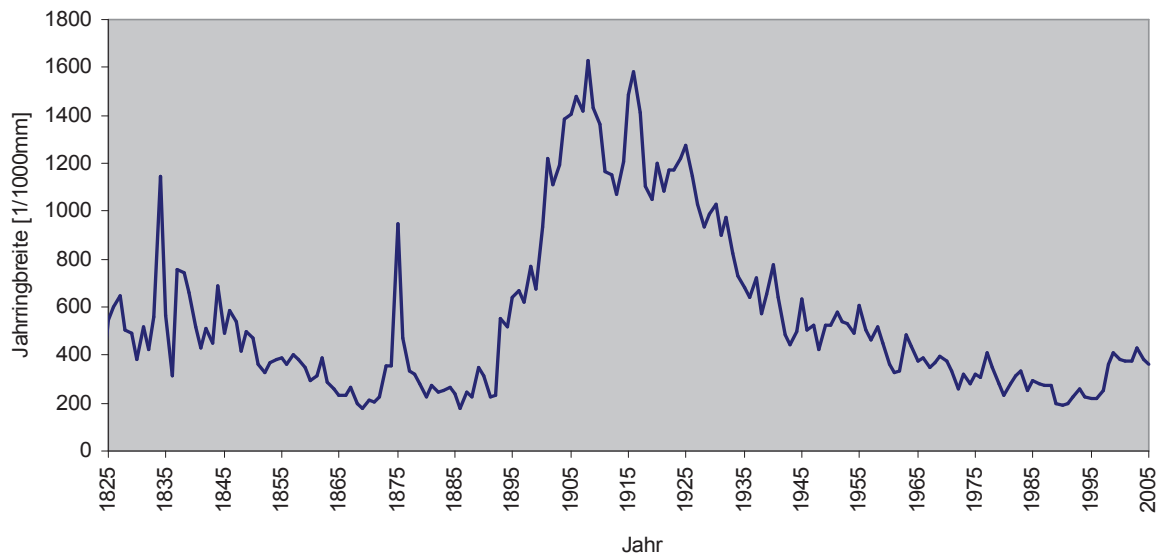


Abb. 14: Mittelkurve der Rohdaten (Fläche 3)

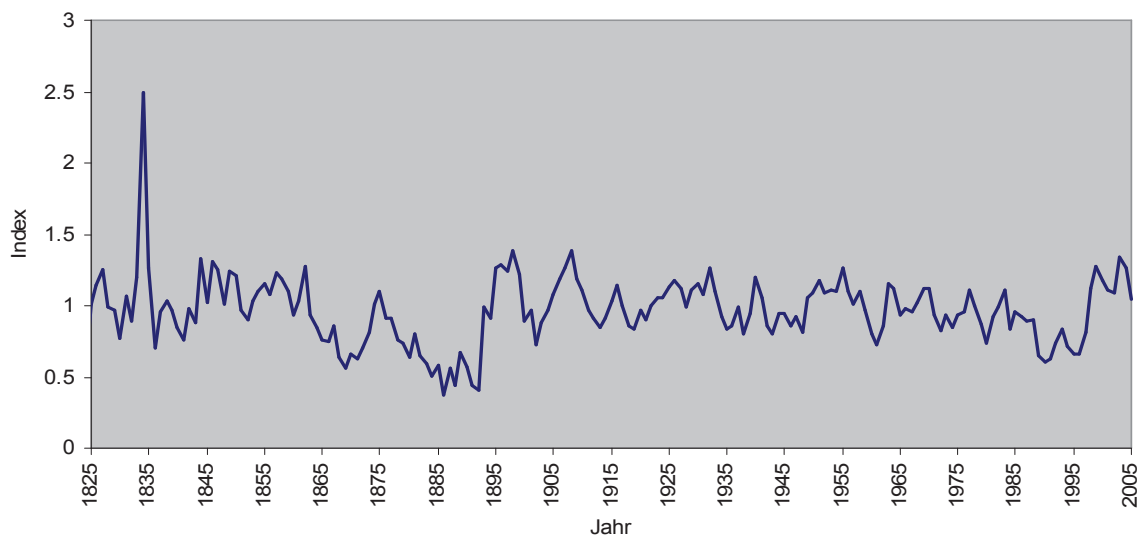


Abb. 15: Standardchronologie (Fläche 3)

5. 3. 3. Chronologienvergleich

Um lokal auftretende Einflüsse, die zu Jahrringausfällen und somit Fehldatierungen führen können auszuschließen, müssen die Chronologien der Versuchsflächen mit Chronologien anderer Versuchsflächen aus dem Alpenraum verglichen werden. Z. B. würde ein im Hintertal auftretender starker Schädlingsbefall die Wachstumskurven und Datierungen einiger Einzelbaumserien verändern. Ein Vergleich mit anderen Versuchsflächen lässt somit den Schluss zu, inwieweit die Hauptwachstumsfaktoren klimabedingt sind und eine korrekte Datierung besteht. Die 3 Versuchsflächen, die Referenzfläche (Fläche 4) und die Chronologie der abgestorbenen Fichten wurden mit den in der Tabelle 5 angeführten Standorten verglichen.

Die Chronologienvergleiche erfolgten mit Hilfe des Programms TSAP win Scientific 0.55 (RINN 2003). Folgende Synchronisierungskennziffern wurden ermittelt:

Überlappung (nJ): Die Überlappung ist jene Zeitspanne bei der sich die beiden Chronologien decken.

Gleichläufigkeit (Glk): Die Gleichläufigkeit drückt die Ähnlichkeit zweier Chronologien in Prozent aus. Eine Gleichläufigkeit von 100 bedeutet, dass die untersuchten Chronologien in jedem Intervall (Jahr) gleichzeitig entweder zu oder abnehmen. Synchrone Zu bzw. Abnahme zweier Chronologien ergibt eine hohe Gleichläufigkeit und lässt somit auf gemeinsame wachstumsbestimmende Faktoren schließen (SCHWEINGRUBER 1983a).

Signifikanzniveau (Sig): Beim Signifikanzniveau handelt es sich um ein statistisches Maß für die Zufallswahrscheinlichkeit; ausgedrückt wird die Signifikanz durch den p-Wert (p ... probability). Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist umso geringer je kleiner der p-Wert ist. Als statistisch signifikant gelten Werte mit einem p-Wert von $\leq 0,05$.

Tab. 2: Signifikanz

Symbol	p-Wert	Signifikanz
***	$\leq 0,001$	höchst signifikant
**	$\leq 0,01$	hoch signifikant
*	$\leq 0,05$	signifikant

t-Wert (t-W, nach BAILLE & PICHLER (1973)): Der t-Wert liefert Informationen über die Beziehung zweier Chronologien. Hier spielt nicht nur Zu- und Abnahme innerhalb der Intervalle, sondern tatsächlich gemessene Werte eine Rolle. Die synchrone Lage zweier Zeitreihen wird dadurch ausgedrückt (SCHWEINGRUBER 1983a). Für korrekte Datierungen ist ein t-Wert über 3,5 anzustreben (WIGLEY et. al. 1987).

5. 3. 4. Klima-Wachstumsbeziehung

Unter Klima-Wachstumskorrelation versteht man das in Bezugsetzen der gemessenen Daten (standardisierte und von Autokorrelationseffekten bereinigte Jahrringreihen) mit vorhandenen Klimadaten. Zusammenhänge zwischen Klimafaktoren und Radialwachstum werden über „response functions“ überprüft (FRITTS 1976). Diese „response functions“ können über lineare Korrelationsanalysen zwischen den Chronologien und den Klimavariablen durchgeführt werden.

Mit dem Programm STATISTICA 6.0 wurden die Zusammenhänge zwischen Klima und Radialwachstum überprüft. Für die Klima- Wachstumskorrelationen wurden die Residualchronologien mit den Monatsmitteltemperaturen bzw. mit den mittleren Monatsniederschlagssummen verglichen. Auch Klimavariablen des Vorjahres fließen in die Untersuchung mit ein.

Um Klima-Wachstumskorrelation durchführen zu können, sind langjährige Aufzeichnungen über Niederschlag und Temperatur im Nahbereich des Untersuchungsgebietes von Nöten. Die Klimadaten wurden in Scharnitz erhoben (ca. 12 km westlich des Untersuchungsgebietes, auf 970 m NN). Dazu gehören die Monats- und Abschnittsmittel der Lufttemperatur in °C und Monats- und Abschnittssummen der Niederschläge in mm. In Bezug auf Überschotterungsereignisse ist der Niederschlag und hier vor allem Starkniederschlagsereignisse als auslösender Faktor von Bedeutung. Diese Daten wurden vom Hydrographischen Dienst Tirol zur Verfügung gestellt. Dazu zählen die Monatsmitteltemperaturen und Monatsniederschlagssummen sowie die höchsten Tagesniederschläge die in Scharnitz seit 1900 aufgezeichnet wurden. Zudem stehen monatliche Niederschlagssummen in unmittelbarer Nähe der Untersuchungsfläche (Kastenalm) seit Jänner 1992 direkt zur Verfügung. Informationen über Zeitpunkt und Intensität der Überschotterungsereignisse konnten nicht eruiert werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass deren Auftreten in Beziehung mit Starkniederschlagsereignissen steht. In den Abbildungen 16, 17 und 18 sind die langjährigen mittleren klimatischen Gegebenheiten auf Basis von Klimaaufzeichnungen der meteorologischen Station Scharnitz dargestellt.

Material und Methoden

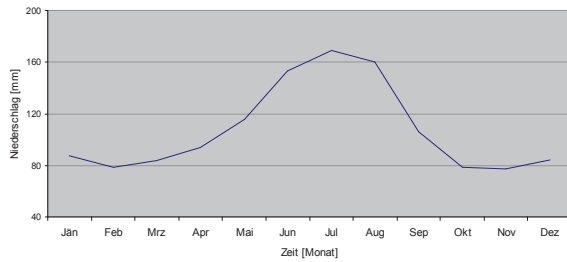


Abb. 16: Langjährige mittlere monatliche Niederschlagssummen im Jahresverlauf

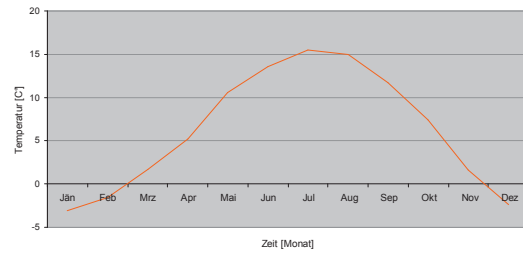


Abb. 17: Mitteltemperaturen der Monate Mai, Juni und Juli

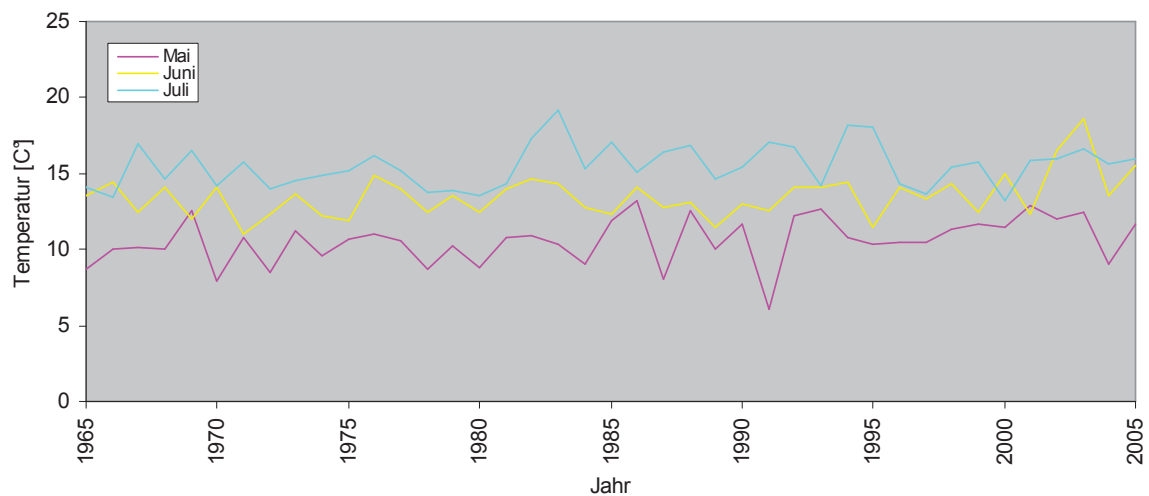


Abb. 18: Mitteltemperaturen der Monate Mai, Juni und Juli

Anhand der langjährigen Mittel der monatlichen Niederschlagssummen sowie Monatsmitteltemperaturen von Scharnitz erkennt man, dass Temperatur- und Niederschlagsmaxima im Juli erreicht werden. Die mittleren Jahresniederschläge betrugen im Zeitraum 1896 – 2005 1288 mm, die Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 1965 – 2005 6,3°C.

5. 3. 5. Statistische Kennziffern

Autokorrelation und Sensitivität sind statistische Parameter die mit dem Programm ARSTAN berechnet wurden. Bei der Autokorrelation spielt die Ähnlichkeit einer Zeitreihe mit anderen, zeitlich verschobenen, Zeitreihen eine Rolle. Die Autokorrelation liefert Aufschluss über das Zusammenwirken vergangener Ereignisse auf das später eintretende Wachstum der Jahrringe. Ist der Autokorrelationswert hoch, deutet das auf einen starken Einfluss des Vorjahres auf das aktuelle Wachstum hin (SCHWEINGRUBER 1983a).

Eine durchschnittliche Änderung zweier aufeinander folgender Werte, bezogen auf den Mittelwert einer Chronologie, wird durch das Maß der Sensitivität ausgedrückt. Die Sensitivität wird in Prozent ausgedrückt, sie gibt an wie stark die Werte von Jahr zu Jahr im Durchschnitt schwanken und deutet auf die Abhängigkeit des Radialwachstums von schwankenden Umweltfaktoren hin (SCHWEINGRUBER 1983a; FRITTS 1976).

6. Ergebnisse

6. 1. Charakteristika der Wachstumszeitreihen

(= Standortchronologien)

In Tabelle 3 wird ein Überblick über die Charakteristika der erstellten Standortchronologien gegeben. Es wird die Anzahl der zur endgültigen Erstellung der Standard- und Residualchronologien verwendeten Bäume angegeben. Weiters Informationen über das Alter (jüngster, ältester Baum und der Mittelwert bzw. die Standardabweichung der beprobten Bäume), die mittlere Jahrringbreite, die Autokorrelation und die mittlere Sensitivität.

Generell ist zu bemerken, dass die Bäume auf der Referenzfläche (Fläche 4) ein wesentlich höheres Alter aufweisen als die Bäume auf den von der Überschotterung beeinflussten Bereichen. Die geringste mittlere Jahrringbreite tritt im Bestand auf der Fläche 4 auf. Die Autokorrelation in der Wachstumsreihe ist durchwegs hoch, die mittlere Sensitivität schwankt zwischen 17 und 20%. Bei der Autokorrelation spielt das Einwirken des Vorjahres auf das betrachtete Jahr eine Rolle.

Tab. 3: Charakteristika der Fichten- (A) und Bergahornchronologien (B), n = Anzahl der verwendeten Bäume zur Erstellung der Chronologie, Min = minimales Alter, Max = maximales Alter, Mw/Std = Mittelwert/Standardabweichung, Jrb = Jahrringbreite, Ak = Autokorellation, MS = mittlere Sensitivität

A.) Fichtenchronologien

Standort	Chronologie- kode	n (Bäume)	Alter (Jahre)			Jrb (1/1000 mm) Mw ± Std	Ak	MS (%)
			Min	Max	Mw ± Std			
Fläche 1	F230Chr2_1	10	76	144	102 ± 17	898 ± 624	0,936	18
Fläche 2	F230Chr2_2	11	49	127	76 ± 24	997 ± 535	0,902	17
Fläche 3	F230Chr2_3	12	61	182	114 ± 33	562 ± 352	0,895	19
Fläche 4	F230Chr2_4	13	80	206	138 ± 42	416 ± 201	0,807	20
Fichte (abgest.)	F230Chr2_Ft	23	27	144	74 ± 30	776 ± 516	0,920	14

B.) Bergahornchronologien

Standort	Chronologie- kode	n (Bäume)	Alter (Jahre)			Jrb (1/1000 mm) Mw ± Std	Ak	MS (%)
			Min	Max	Mw±Std			
Fläche 1	Mk Ba Fl 1	4	59	102	84 ± 18	1370 ± 614	0,680	18
Fläche 2	Mk Ba Fl 2	5	81	111	100 ± 12	1126 ± 611	0,900	19
Fläche 3	Mk Ba Fl 3	3	96	111	103 ± 8	769 ± 319	0,740	24

6. 2. Synchronisierung der erstellten Wachstumszeitreihen (= lokaler Chronologienvergleich)

Da alle fünf untersuchten Bestände räumlich sehr nahe beieinander liegen, ist eine hohe Übereinstimmung im Wachstumsverlauf zu erwarten (siehe Tab. 4). Besonders die Chronologien der einzelnen Versuchsflächen, die sich unmittelbar im Schotterkegel befinden, korrelieren mit einer Signifikanz von 99,9%. Auch die t-Werte liegen über 3,5, was auf eine enge Korrelation hindeutet. Eine Abweichung zeigt die Wachstumszeitreihe der Fläche 4. Sie weist einen t-Wert $< 3,0$ mit der Chronologie der Fläche 1 auf und besitzt mit der Chronologie der Fläche 2 eine geringe Gleichläufigkeit (62%, $p < 0,01$). Die Wachstumsreihen der abgestorbenen Fichten, welche sich aus Einzelbaumreihen, die innerhalb der Flächen 1 bis 3 entnommen wurden, zusammensetzt, weicht in der Jahr-zu-Jahr Schwankung der Jahrringbreite von der Referenzchronologie (Fläche 4) am stärksten ab.

Tab. 4: Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Fichtenchronologien der vier Untersuchungsstandorte (Fl 1 – Fl 4) und der abgestorbenen Fichten (Ft), nJ = Überlappungslänge, Glk = Gleichläufigkeit, Sig = Signifikanz, t-W = t-Wert.

	Fl 1				Fl 2				Fl 3				Fl 4				Ft			
	nJ	Glk	Sig	t-W	nJ	Glk	Sig	t-W	nJ	Glk	Sig	t-W	nJ	Glk	Sig	t-W	nJ	Glk	Sig	t-W
Fl1	144	100	***	100,0	127	70	***	4,1	144	69	***	5,8	144	65	***	2,9	142	71	***	6,6
Fl2					127	100	***	100,0	127	69	***	4,8	127	62	**	4,2	125	64	***	1,4
Fl3									182	100	***	100,0	182	64	***	4,4	144	69	***	4,4
Fl4													206	100	***	100,0	144	61	**	1,7
Ft																	144	100	***	100,0

6. 3. Regionaler Chronologienvergleich

In Tabelle 5 werden die erstellten Standortchronologien mit anderen Chronologien aus dem Alpenraum verglichen. Dies ist notwendig um einen nur lokal auftretenden Wachstumseffekt, wie zum Beispiel einen Schädlingsbefall, auszuschließen. Wenn die Chronologien der Versuchsstandorte mit mehreren Chronologien anderer Standorte zudem gut korrelieren, dann müssen weiträumig auftretende Umweltbedingungen das Wachstum beeinflussen und nicht lokal auftretende Umweltereignisse. Bis auf die Referenzfläche (F230Chr2_F14) korrelieren alle Chronologien hoch signifikant mit der Chronologie F800C207. Es handelt sich hierbei um einen montanen Fichtenbestand im randalpinen Bereich. Die Referenzfläche korreliert jedoch am engsten mit der Chronologie eines hochmontanen inneralpinen Fichtenbestandes (F111CI2G) am Piller Sattel. Dieser Bestand zeigt nicht nur mit der Referenzfläche eine hohe Ähnlichkeit, sondern auch mit den Chronologien aller noch lebenden Fichten der Versuchsflächen 1 - 3.

Weitere hohe Übereinstimmungen in der Variabilität der Jahrringbreiten bestehen mit Kieferbeständen aus dem Raum Innsbruck, Hochlagenchronologien aus dem Ötztal, Ahrntal und Patscherkofel. Hinsichtlich der Überprüfung der Datierung der Wachstumszeitreihe der abgestorbenen Fichten ist zu vermerken, dass die Datierungskennziffern nicht nur mit den lokal erstellten Chronologien der Versuchstandorte Hinterautal, sondern auch mit den in wesentlich weiterer Entfernung stockenden Beständen der Vergleichschronologien statistisch hoch signifikante Werte liefern (siehe Tab. 5).

Aufgrund der hohen Übereinstimmung der Gleichläufigkeits-, Signifikanz- und t-Werte können somit Fehldatierungen innerhalb der erstellten Wachstumsreihen ausgeschlossen werden.

Tab. 5: Vergleichschronologien im Alpenraum, nJ = Überlappungslänge, Glk = Gleichläufigkeit, Sig = Signifikanz, t-W = t-Wert, DateL = Beginn der Überlappung, DateR = Ende der Überlappung.

Chronologiekode	Vergleichs-Chronologie ¹	nJ	Glk	Sig	t-W	DateL	DateR
F230Chr2_Ft	F800C207	134	64	***	3,3	1860	2003
F230Chr2_Ft	Z105CI2G	141	63	**	3,3	1860	2003
F230Chr2_Ft	F300C203	115	56		3,5	1860	2003
F230Chr2_Ft	K101CJ1G	134	64	***	1,8	1860	2003
F230Chr2_Fl1	F800C207	132	65	***	4,0	1862	2005
F230Chr2_Fl1	F111CI2G	142	66	***	2,6	1862	2005
F230Chr2_Fl1	Z105CI2G	139	63	**	3,3	1862	2005
F230Chr2_Fl1	Z160CI1G	138	58	*	2,6	1862	2005
F230Chr2_Fl1	F300C203	113	57		3,2	1862	2005
F230Chr2_Fl2	F800C207	115	69	***	3,5	1879	2005
F230Chr2_Fl2	F111CI2G	125	61	**	2,2	1879	2005
F230Chr2_Fl2	K102CI1G	125	61	**	2,5	1879	2005
F230Chr2_Fl2	K130CJ2G	116	58	*	3,4	1879	2005
F230Chr2_Fl2	K100CI1G	115	62	**	2,3	1879	2005
F230Chr2_Fl3	F800C207	170	64	***	4,7	1824	2005
F230Chr2_Fl3	Z105CI2G	177	59	**	2,9	1824	2005
F230Chr2_Fl3	F111CI2G	180	59	**	3,2	1824	2005
F230Chr2_Fl3	K130CI12	123	59	*	3,4	1824	2005
F230Chr2_Fl3	L300C401	151	62	**	2,7	1824	2005
F230Chr2_Fl4	F111CI2G	204	64	***	3,8	1800	2005
F230Chr2_Fl4	K130CJ2G	195	57	*	4,0	1800	2005
F230Chr2_Fl4	K102CI1G	142	64	***	4,0	1800	2005
F230Chr2_Fl4	Z105CI2G	201	61	**	3,6	1800	2005

¹ Standorte der Vergleichschronologie: F111CI2G Fichte (*Picea abies*) Piller Sattel (hochmontan); F300C401 Fichte (*Picea abies*) Ötztal (Waldgrenze); F800C207 Fichte (*Picea abies*) Salzburg (montan); Z105CI2G Zirbe (*Pinus cembra*) Patscherkofel (Waldgrenze); Z160CI1G Zirbe (*Pinus cembra*) Ahrntal (Waldgrenze); K100CI1G Kiefer (*Pinus sylvestris*) Innsbruck; K101CJ1G Kiefer (*Pinus sylvestris*) Innsbruck; K102CI1G Kiefer (*Pinus sylvestris*) Innsbruck; K130CJ2G Kiefer (*Pinus sylvestris*) Tschirgant; L300C401 Lärche (*Larix decidua*) Ötztal (Waldgrenze).

6. 4. Radialer Wachstumsverlauf der Fichte

In Abbildung 19 sind die absoluten Jahrringbreitenmittelwerte der Fichtenchronologien dargestellt. Sie wurden jeweils aus den Einzelmessreihen der ausgewählten Bäume gebildet. Der Datensatz der Fläche 4 deckt den größten Zeitraum bis 1800 ab, und weist deutlich geringere Jahrringbreiten auf. Die absoluten Jahrringbreiten der Flächen 1 - 3 sowie der abgestorbenen Fichten, welche auf den besagten Flächen stehen, zeigen um das Jahr 1900 einen markanten Anstieg in der Jahrringbreite. Der Bestand der Fläche 1 erreicht knapp 3 mm breite Zuwächse.

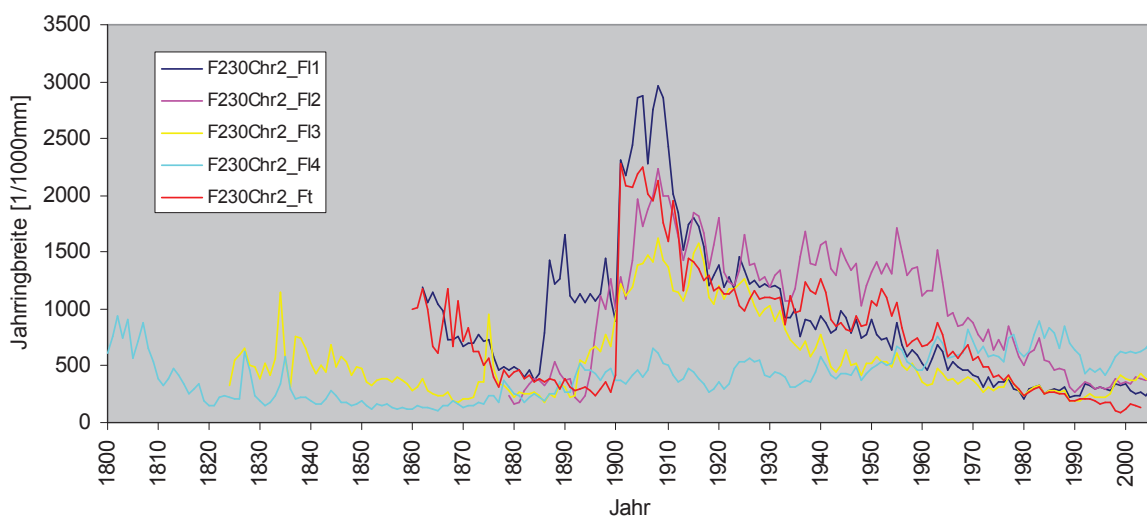


Abb. 19: Fichtenchronologien der vier Versuchsflächen (Fl 1 – Fl 4) sowie der abgestorbenen Fichten (Ft)

In Abbildung 20 sind die Anzahl der Bäume (= Belegungen), die in die erstellten Fichtenchronologien eingehen, dargestellt. Um 1900 nimmt die Anzahl der zur Verfügung stehenden Einzelbaumreihen sprunghaft zu.

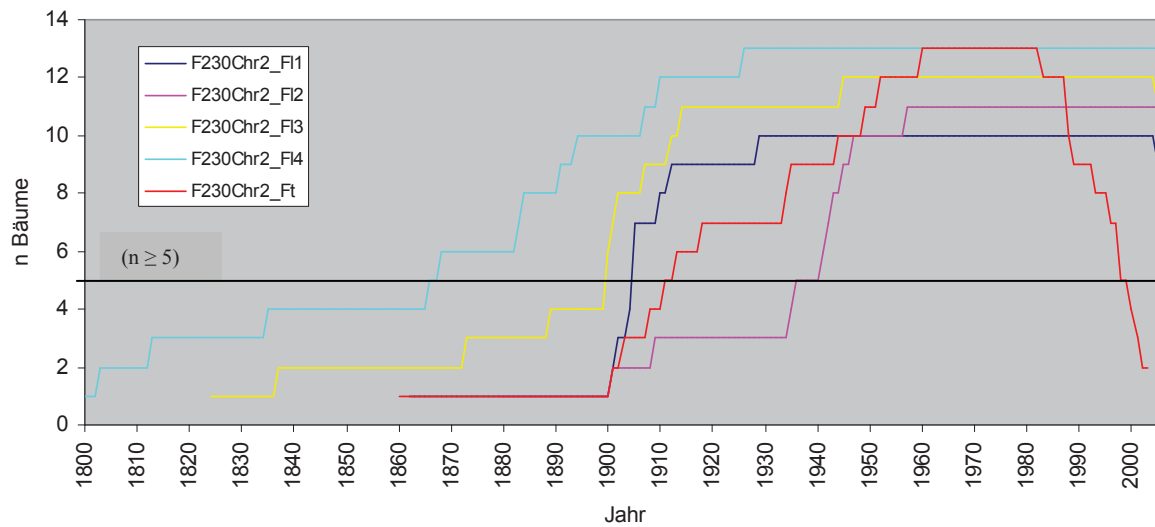


Abb. 20: Belegung (= Stichprobenanzahl) der Fichtenchronologie für den Zeitraum 1800 - 2005

Der Alterstrend im Radialwachstum (= negativ exponentielle Abnahme der Jahrringbreite mit dem Alter) erklärt hauptsächlich warum alle Jahrringreihen, außer jener der Fläche 4, um 1900 stark erhöhte Zuwächse verzeichnen.

6. 5. Standardisierung der Wachstumszeitreihen

6. 5. 1. Standardchronologien

Im vorhergegangenen Kapitel wurden die absoluten Jahrringreihen dargestellt. Im Zuge der Standardisierung wurden der Alterstrend sowie andere langfristige Schwankungen in den Chronologie eliminiert. Dadurch kann der relative Zuwachs pro Jahr als Abweichung von primär endogenen Trends dargestellt werden. Im Zeitraum von 1936 bis 1989 zeigen alle Standardchronologien weitgehend einheitliche Jahr-zu-Jahr Schwankungen im Zuwachs. In den letzten 15 Jahren, hingegen, nimmt die Übereinstimmung im Kurvenverlauf ab (siehe Abb. 21).

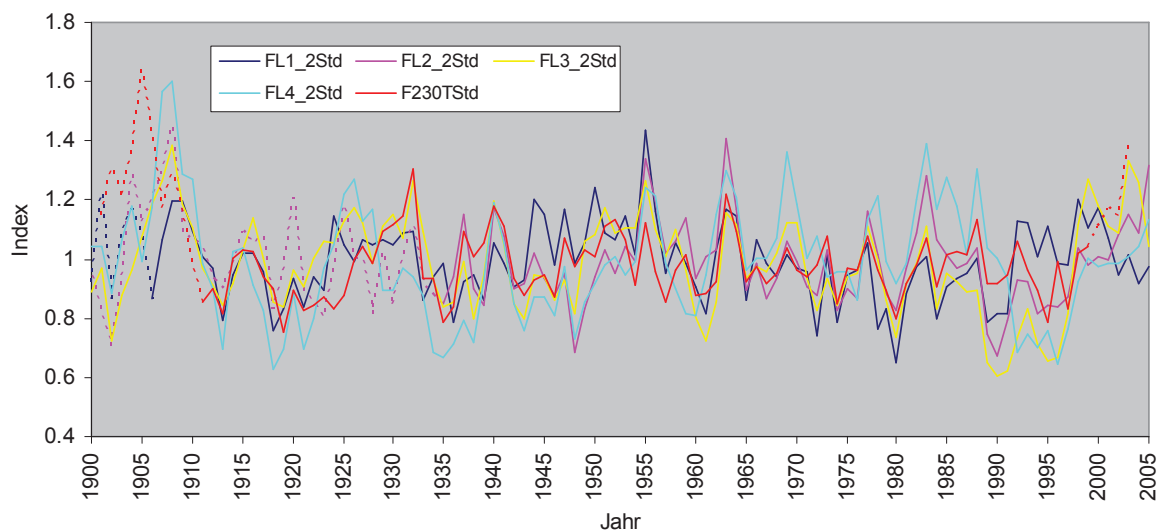


Abb. 21: Standardchronologien der vier Versuchsflächen und der abgestorbenen datierten Fichten (strichliert = Zeitperiode mit Belegung ≤ 5).

6. 5. 2. Residualchronologien

In den Standardchronologien sind langfristige Trends eliminiert worden. Jeder gebildete Jahrring wird jedoch auch von den Wachstumsbedingungen im Vorjahr entscheidend mitgeprägt. Falls im vorhergehenden Jahr z. B. besonders wachstumsbegünstigende Umstände herrschten, kann sich dieser Effekt auch auf das Folgejahr positiv auswirken. Um jedoch Jahrringreihen mit Niederschlags- und Temperaturdaten objektiv vergleichen zu können, muss der Effekt der Autokorrelation zusätzlich bereinigt werden. Mit dem Programm ARSTAN werden die Jahrringreihen in Residualchronologien umgewandelt. Die Residualchronologien spiegeln den tatsächlich, von endogen (Alterstrend) und Autokorrelationseffekten bereinigten Zuwachs wider, und eignen sich somit zur Ermittlung der Klima-Wachstumsbeziehung.

In der folgenden Abbildung (Abb. 22) sind die Residualchronologien für die Versuchsflächen, sowie die Residualchronologie der Datenreihe der abgestorbenen Fichten dargestellt. Auf die Klimakorrelation wird in einem späteren Kapitel eingegangen.

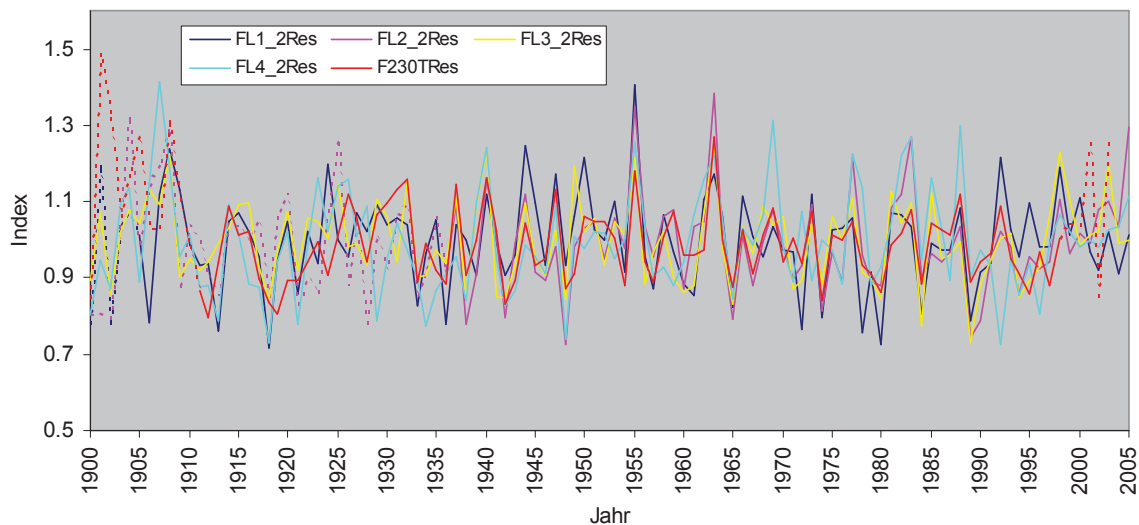


Abb. 22: Residualchronologien der vier Versuchsflächen sowie der abgestorbenen Fichten

Besonders hohe Übereinstimmungen im Kurvenverlauf sind in den Jahren 1940, 1955, 1963, 1983 und 1988 festzustellen. In den Jahren 1942, 1948, 1965, 1984 und 1989 traten synchrone Wachstumsreduktionen auf.

6. 6. Datierung und radialer Wachstumsverlauf abgestorbener Fichten

6. 6. 1. Datierung

Ein Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war es Gründe, sowie Zeitpunkt und Verlauf des Absterbens von Fichten auf den stark überschotteten Flächen, zu untersuchen. Fläche 1 - 3 sind stark überschottet und der Wachstumsverlauf der abgestorbenen Fichten wurde auf Basis der dort entnommenen Proben erstellt. Die individuellen Jahrringreihen der abgestorbenen Fichten wurden mit den absolut datierten Rezentchronologien (Fl 1 - 4) unter Verwendung des Computerprogramms TSAP WIN synchronisiert (= Kreuzdatierung) wodurch eine Datierung des letzten gebildeten Jahrrings (= frühest mögliches Absterbedatum) möglich wurde.

Insgesamt wurden 23 abgestorbene Fichten beprobt. Bei 13 Proben war eine eindeutige Datierung möglich. In Tabelle 6 sind die Synchronisierungskennziffern mit der erstellten Rezentchronologie sowie frühest mögliches Absterbedaten, angeführt.

Wenn die Gleichläufigkeit, deren Signifikanz sowie der t-Wert entsprechende Werte annehmen, können die Jahrringreihen absolut datiert werden. Als Grundvoraussetzung muss eine Mindestüberlappungslänge (35 Jahre) der Jahrringreihe vorliegen. Eine Jahrringanzahl von 27 Jahren, wie bei Probe F230G27A, ist für eine sichere Datierung definitiv zu gering.

Da die Gleichläufigkeit besonders stark von der Überlappungslänge abhängt, ist sie für die Datierung nur in Zusammenhang mit der statistischen Signifikanz von Aussagekraft. Die Signifikanz sollte zumindest 95% sein ($p < 0,05$) und der t-Wert soll über 3,5 liegen (WIGLEY et. al. 1987). Entscheidend ist jedoch immer der Gesamteindruck der Synchronisierung der Jahrringreihe (= Datierungssicherheit). Z. B. können geringe t-Werte in Kauf genommen werden, wenn Wachstumsreduktionen in Stressjahren mit solchen der Jahrringreihe der Referenzfläche (hier Fläche 1 – 4) übereinstimmen (= optischer Kurvenvergleich von „Weisejahren“ bzw. „Ereignisjahren“).

Tab. 6: Synchronisierungskennziffern abgestorbener Fichten
(M = Mittelwerte gebildet aus zwei Einzelradien, A, B = Einzelradien A bzw. B, Dat_s = Datierungssicherheit)

Fl		Baum	Code	Überl.	GLK % + Signifikanz				t-Wert				Dat_s	Datierung ¹	Reihung ²	Anmerkungen
					F11	F12	F13	F14	F11	F12	F13	F14				
1	1	01 Ft	F230G21A	65	67**	62*	56	61*	3,2	2,8	2,6	2,7	OK	M 1982	1243	Nur A-Radius vorhanden; Kern und Außenseite (+ca. 25 JR) unvollständig
1	1	02 Ft	F230G22M	38	53	75**	78***	69**	2,4	3,3	2,2	3,2	OK	M 1997	2431	A Radius außen unvollständig; B Seite außen unvollständig jedoch mehr als A
1	1	03 Ft	F230G23M	80	63**	58	52	57	2,7	1,5	1,1	1,0	?	M 2003	1423	A Radius ok! B Radius außen unvollständig
1	1	04 Ft	F230G24M	36	69*	62	71**	62	1,6	2,2	2,0	3,7	OK	M 1987	4321	A und B unvollst.
1	1	05 Ft	F230G25B	47	58	69**	58		2,2	2,9	2,2		?	B 1999	231	A und B unvollst. → Datierung anhand von B
1	1	06 Ft	F230G26B	77	69***	72***	76***	59	4,4	4,6	3,6	2,1	OK	B 1987	1234	A und B unvollst. → Datierung anhand von B
1	1	07 Ft	F230G27A	27	80***	70*	78*		2,8	1,0	0,9		?	A 1990	132	A und B unvollst. → Datierung anhand von A, Jedoch wenig J.Ringe
1	1	08 Ft	F230G28M	97	67***	66***	71***	56	3,4	3,4	3,4	1,6	OK	M 1999	3124	A und B unvollst.
1	1	09 Ft	F230G29A	46	70**	66*		61	2,3	2,2		1,0	?	A 1997	124	A und B unvollst.
1	1	10 Ft	F230G30M	93	60*	63**	69***	58	6,4	5,9	6,5	4,1	OK	M 2000	3124	A und B unvollst.
2	2	01 Ft	F230G51B	55	65*	70**	64*	61*	2,1	2,2	2,0	2,9	OK	B 1988	4213	A und B außen unvollst
2	2	02 Ft	F230G52A	101	59*	47	55	61*	0,3	1,8	1,2	2,7	?	A 1992	4321	A und B außen unvollst → auf 2001 datiert
2	2	03 Ft	F230G53M	97	66***	69***	72***	54	7,8	7,0	5,8	2,1	OK	M 1997	1234	
2	2	04 Ft	F230G54M	188			57*	60**		0,6	3,0		?	M 1987	43	
2	2	05 Ft	F230G55M	49	64*	57	64*	54	3,0	2,4	2,3	1,9	OK	M 1992	1324	
2	2	06 Ft	F230G56A	89	64**	57	61*	64**	4,5	5,2	6,2	3,7	OK	A 2001	3124	
2	2	07 Ft	F230G57B	74	62*	68***	65**	45	0,6	1,8	2,0	0,0	?	B 1985	2314	A und B versch Werte
3	3	01 Ft	F230G81M	144	65***	54	60*	49	2,4	0,3	2,7	1,3	OK	M 2003	1342	
3	3	02 Ft	F230G82M	61	59	56	59	58	3,2	2,2	3,2	2,0	OK	M 1995	3124	
3	3	03 Ft	F230G83B	98	59*	53	63**	53	1,2	0,4	1,7	1,8	?	B 1997	3142	A und C nehmen; anhand von B datiert
3	3	04 Ft	F230G84M	55	64*	70**	68**	62*	2,2	1,0	1,3	1,3	OK	M 2003	1234	
3	3	05 Ft	F230G85A	59	54	51	61*	66**	0,7	0,2	0,6	1,5	?	A 1996	4132	
3	3	06 Ft	F230G86M	76	55	55	59*	66*	0,7	2,1	2,2	2,0	?	M 1991	4321	

¹ = frühest mögliches Absterbedatum

² = Absteigende Reihenfolge der Synchronisierung (= zunehmend geringere Synchronisierungsindizes) mit Standortchronologien der Fl. 1 – 4

6. 6. 2. Wachstumsverlauf

In der Abbildung 23 und 24 sind die einzelnen Jahrringreihen abgestorbener Fichten sowie deren Mittelkurve abgebildet.

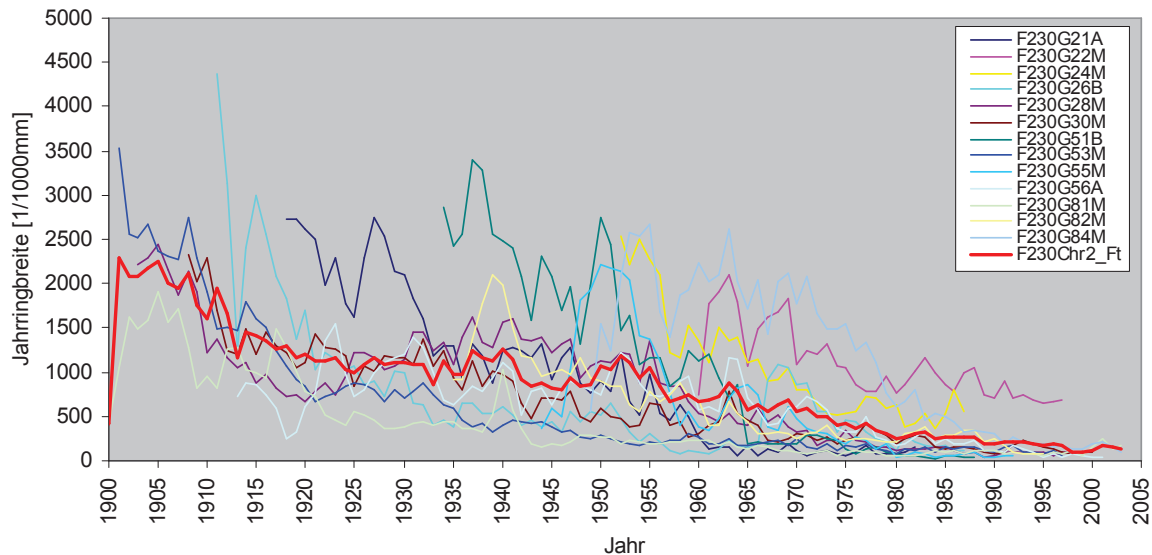


Abb. 23: Jahrringbreitenreihen absolut datierter abgestorbener Fichten und deren Mittelkurve (F230Chr2_Ft)

Bei Jahrringbreitenreihe der abgestorbenen datierten Fichten tritt der Einfluss des Alterstrends auf die Zuwachsrate deutlich zu Tage. In Abbildung 23 fällt weiters auf, dass die meisten abgestorbenen Fichten ab ca. 1960 nur noch sehr schmale Zuwachsraten aufweisen ($< 0,5$ mm/Jahr). Nach 1980 sterben die Bäume sukzessive ab (vgl. Tab. 6).

Einige der unsicher datierten abgestorbenen Fichten stimmen in Extremjahren mit dem generell vorliegenden Wachstumstrend überein. Z. B. lässt sich der Wachstumseinbruch im Jahr 1980 mehrfach nachweisen (siehe Abb. 24).

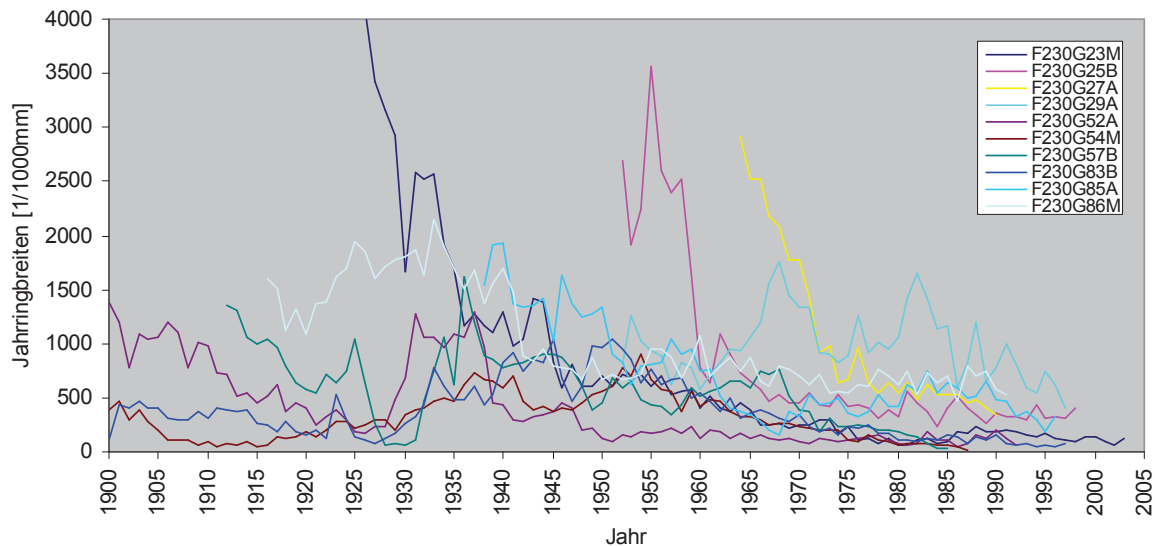


Abb. 24: Jahringbreitenreihen unsicher datierter abgestorbener Fichten

Die erforderlichen Synchronisierungskennziffern (Gleichläufigkeit und Signifikanz, t-Wert) sind jedoch nicht zufriedenstellend und auch ein optischer Kurvenvergleich lässt keine eindeutige absolute Datierung zu. Diese Wachstumsreihen wurden jedoch zur Aufklärung lokal auftretender Ereignisse, die zu abrupten Wachstumsreduktionen und/oder „Stressjahren“ führten, in die Analyse mit einbezogen.

6. 7. Radialer Wachstumsverlauf des Bergahornbestandes

Bergahorn stockt nur auf den überschotteten Versuchsflächen (Fl 1 – Fl 3). Im Bereich der Referenzfläche (Fläche 4) konnte der Bergahorn vermutlich auf Grund der starken Konkurrenz durch Fichte und Latsche (*Pinus mugo*) nicht aufkommen. Alle innerhalb der Versuchsflächen vorgefundenen alten Bergahornbäume wurden beprobt. Eine Altersbestimmung war, aufgrund der Kernfäule und z. T. sehr geringen Zuwachsraten verbunden mit Jahrringausfällen, nicht möglich. Alle beprobten Bäume waren kernfaul und die Messung der Jahrringbreiten sehr schwierig. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die auf den einzelnen Versuchsflächen beprobten Bäume.

Tab. 7: Bergahornproben

Fl	Probe	Bezeichnung
1	01 Al	F230H08A
1	02 Al	F230H09A
1	03 Al	F230H10A
1	04 Al	F230H07A ¹
2	01 Al	F230H11A
2	02 Al	F230H12A
2	03 Al	F230H13A
2	04 Al	F230H14A
2	05 Al	F230H15A
3	01 Al	F230H16A
3	02 Al	F230H17A
3	03 Al	F230H18A ¹

¹ Jahrringgrenzen zum Teil undeutlich

Die erstellte Jahrringbreitenreihe der Bergahornbäume zeigen auf allen Einzelflächen kaum synchrone Wachstumsschwankungen. Ein mittlerer Zuwachsverlauf auf den einzelnen Versuchsflächen sowie aller Bäume (n = 10 Bäume) ist in Abbildung 28 dargestellt.

Ergebnisse

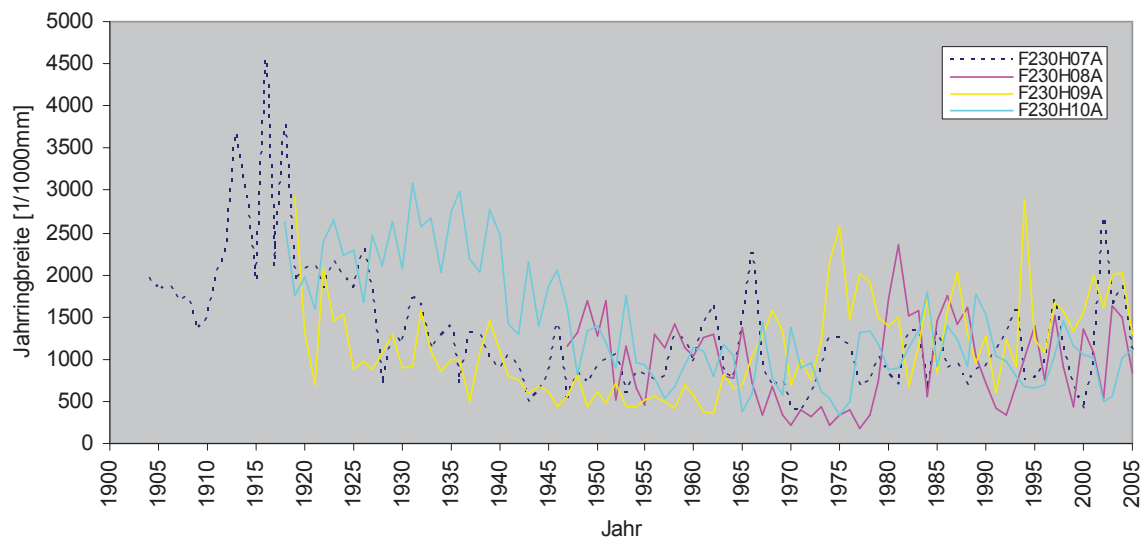


Abb. 25: Jahringbreitenreihen einzelner Bergahornbäume der Fläche 1 (strichlierte Linie = unsichere Datierung)

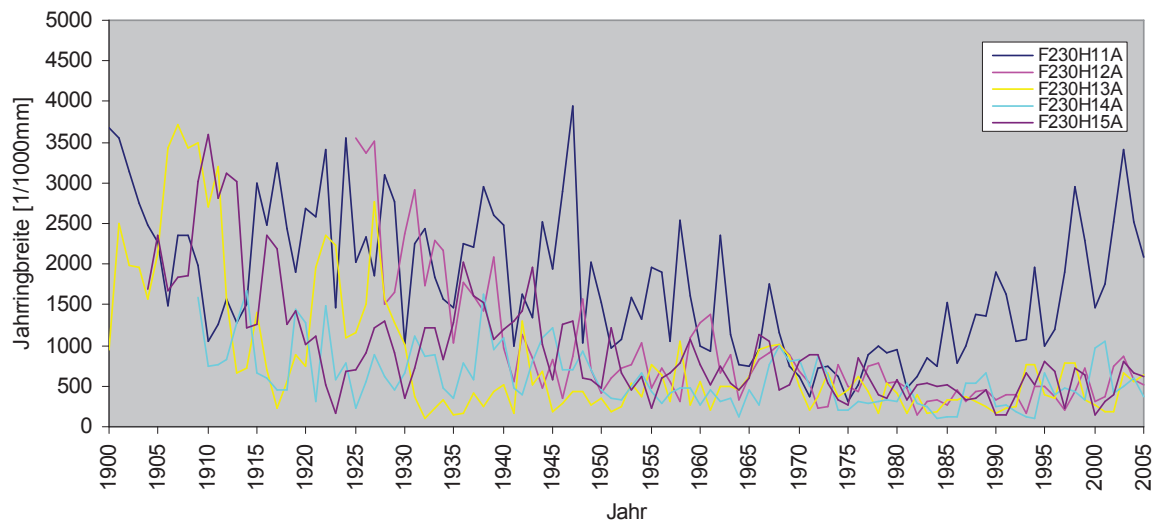


Abb. 26: Jahringbreitenreihen einzelner Bergahornbäume der Fläche 2

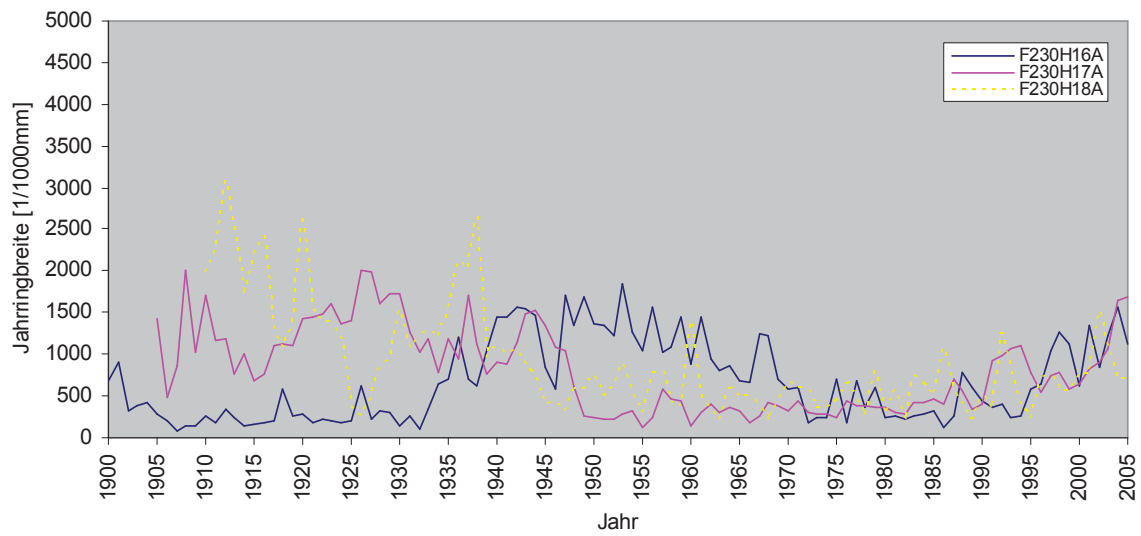


Abb. 27: Jahringbreitenreihen einzelner Bergahornbäume der Fläche 3 (strichlierte Linie = unsichere Datierung)

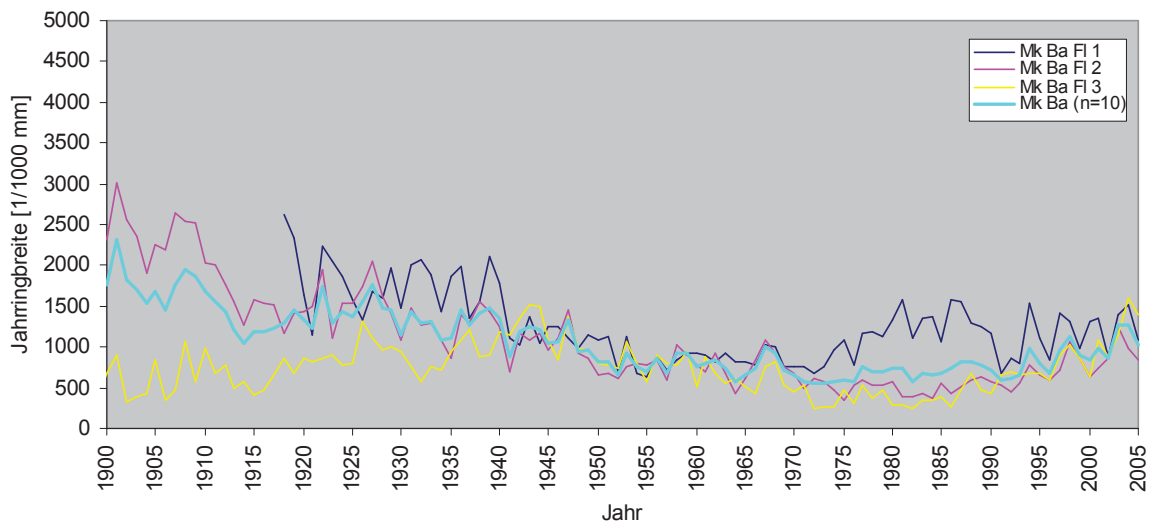


Abb. 28: Mittlerer radialer Wachstumsverlauf der Bergahornbäume der Fläche 1 – 3 (unsicher datierte Einzelreihen nicht inkludiert)

Synchrone Wachstumseinbrüche traten in den Jahren 1914, 1930, 1941, 1952, 1964, 1996, 2002 und 2005 auf, Zuwachserholungen in den Jahren 1922, 1943, 1947, 1953, 1967, 1994, 1998 und 2003.

6. 8. Ermittlung des Einflusses von Klimafaktoren auf das Radialwachstum

Das Radialwachstum der Fichte korrelierte signifikant ($p < 0,05$) mit den Monatsmitteltemperaturen im Mai, Juni und Juli (siehe Tab. 8). Der Übergang vom Frühling zum Sommer stellt also die wichtigste wachstumslimitierende Zeitperiode dar. Für die Jahrringbildung ist aber nicht nur die Temperatur während der Vegetationsperiode von Bedeutung, sondern auch die klimatischen Bedingungen im Vorjahr. Im Vorjahr spielt der Herbst die größte Rolle. Die Temperaturen vom Oktober und November korrelierten signifikant mit dem Radialwachstum des Folgejahres. Der Herbst des Vorjahres ist aber von geringerem Einfluss als die Temperatur in der Zeitspanne Mai bis Juli des laufenden Jahres (niedrigerer Korrelationskoeffizient r). Monatliche und saisonale Niederschlagssummen korrelierten mit den Residualchronologien der Versuchsflächen statistisch nicht signifikant und sind deshalb nur im Anhang angeführt.

Aus Abbildung 29 und 30 geht hervor, wie synchron sich Temperaturanomalien von Mai - Juli mit den Zuwachsraten (Residualchronologien) der einzelnen Bestände decken.

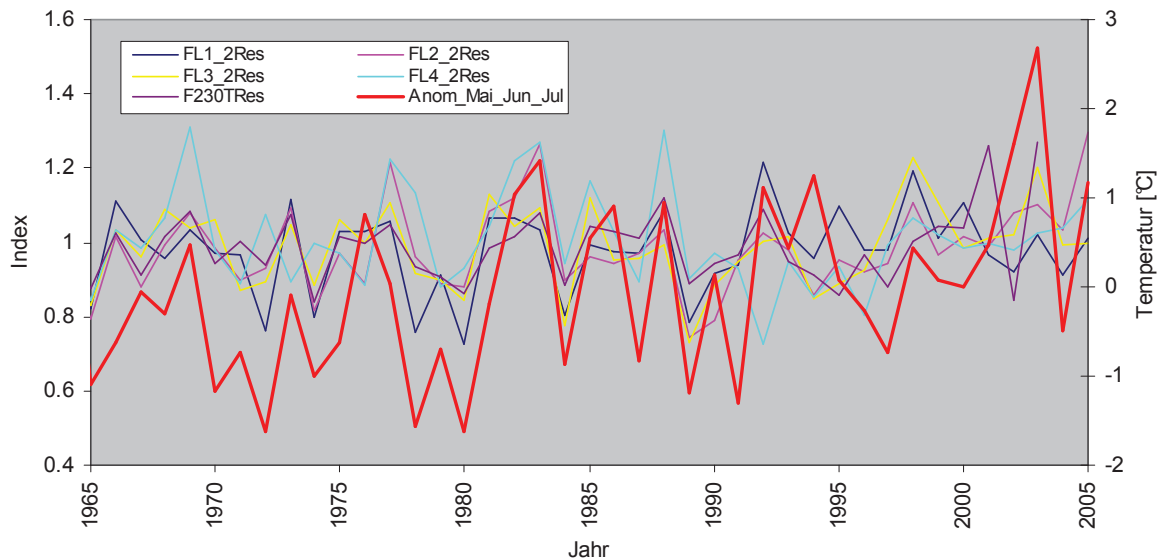


Abb. 29: Residualchronologien der vier Versuchsflächen sowie der abgestorbenen Fichten (F230TRes) und Temperaturanomalien im Zeitraum Mai bis Juli. Zeitspanne: 1965 bis 2005

Eine deutliche Zuwachsreaktion auf die Mai – Juli Temperatur tritt z. B. in den Jahren 1984, 1988, 1998 und 2003 auf.

In Scharnitz sind Temperaturaufzeichnungen erst seit 1963 vorhanden. Diese korrelieren jedoch sehr stark mit Mitteltemperaturen von Innsbruck (vgl. Tab. 9).

Tab. 9: Pearsonkorrelation zwischen Temperaturen der Klimastationen Innsbruck und Scharnitz im Zeitraum 1963 – 2003. r = Korrelationskoeffizient, N = Überlappszeitraum, p = Signifikanz, IbK = Innsbruck, Stz = Scharnitz

Variable	Korrelation: Klimadaten (Temperatur) Innsbruck - Scharnitz		
	T_Stz_Mai_Jun	T_Stz_Mai_Jun_Jul	T_Stz_Jun_Jul
T_IbK_Mai_Jun	$r=0,9206$ $N=42$ $p=,000$	$r=0,7597$ $N=42$ $p=,000$	$r=0,4978$ $N=42$ $p=,001$
T_IbK_Mai_Jun_Jul	$r=0,8240$ $N=42$ $p=,000$	$r=0,8922$ $N=42$ $p=,000$	$r=0,7283$ $N=42$ $p=,000$
T_IbK_Jun_Jul	$r=0,5916$ $N=42$ $p=,000$	$r=0,7796$ $N=42$ $p=,000$	$r=0,9041$ $N=42$ $p=,000$

Um einen Wachstumsvergleich mit Temperaturen für den Zeitraum von 1906 bis 1963 darstellen zu können, wurden die Innsbrucker Daten zu Hilfe genommen. Wie eingangs erwähnt handelt es sich hierbei nicht um absolute Daten, sondern lediglich um Anomalien (= Abweichungen vom langjährigen Mittelwert in Grad Celsius).

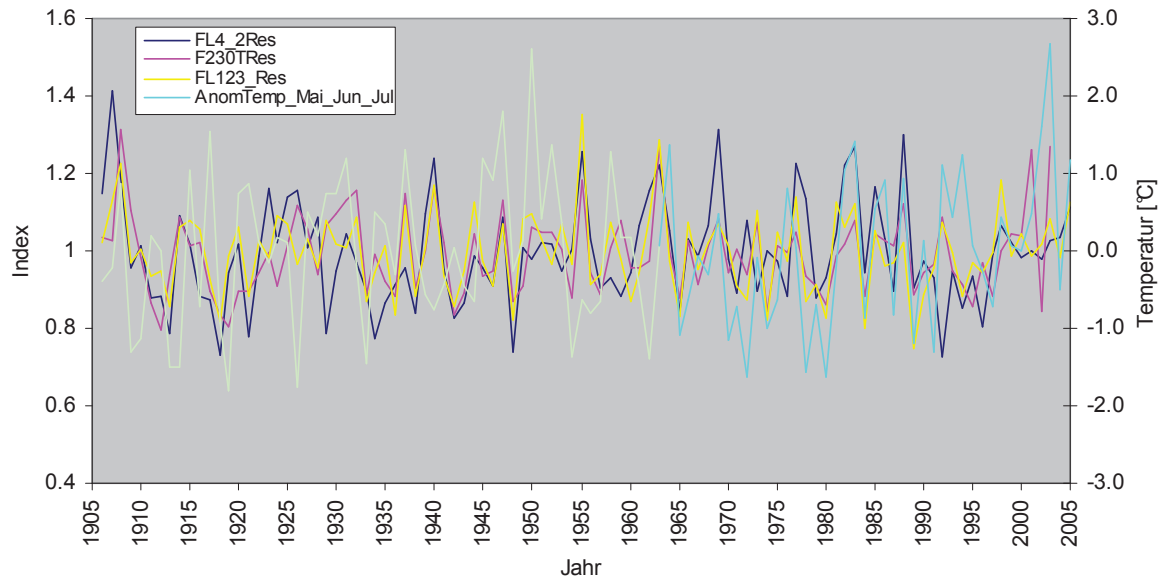


Abb. 30: Vergleich der Residualchronologien der Versuchsfläche 4 (FL4_2Res), der Mittelwerte der Versuchsflächen 1 – 3 (FL123_Res) sowie der abgestorbenen Fichten (F230TRes) mit Temperaturanomalien im Zeitraum Mai bis Juli für den Zeitraum 1906 – 2005. Die Temperaturanomalien basieren auf Daten der Station Scharnitz (hellblau) bzw. Innsbruck (hellgrün).

In Abbildung 30 wurden aus Gründen der besseren Übersicht die drei auf der Überschotterungsfläche positionierten Versuchsflächen zusammengefasst (FL123_Res). Mai - Juli Temperaturanomalien und Radialwachstum verlaufen ausgesprochen gleichsinnig.

6. 9. Datierung möglicher Murgänge im Untersuchungsgebiet

6. 9. 1. Extreme Niederschlagsereignisse

Aufgrund fehlender Aufzeichnungen über geomorphologische Vorkommnisse, wie Murgänge, wurden extreme Niederschlagsereignisse als potentielle Auslöser dafür angesehen. Dieser Zusammenhang wurde von Ortskundigen bestätigt. Tage mit dem höchsten Jahresniederschlag können aus Abbildung 31 entnommen werden.

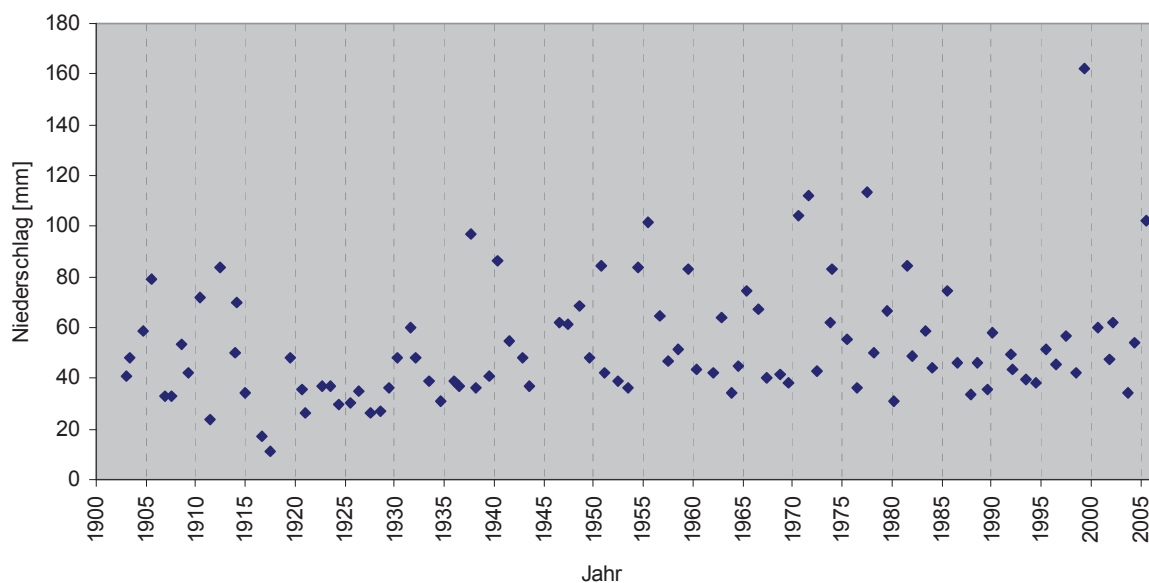


Abb. 31: Höchste Tagesniederschlagssummen in Scharnitz im Zeitraum 1900 – 2005

Am 21.05.1999 wurde mit 160 mm ($= 160 \text{ l m}^{-2}$) die höchste Tagesniederschlagsmenge seit Beginn der Aufzeichnungen gemessen. Ferner überschritten die Niederschläge am 08.07.1955, 09.08.1970, 13.07.1971, 31.07.1977 und 22.08.05 die 100 mm Marke. Erwartungsgemäß traten die Starkniederschlagsereignisse überwiegend in den Sommermonaten auf.

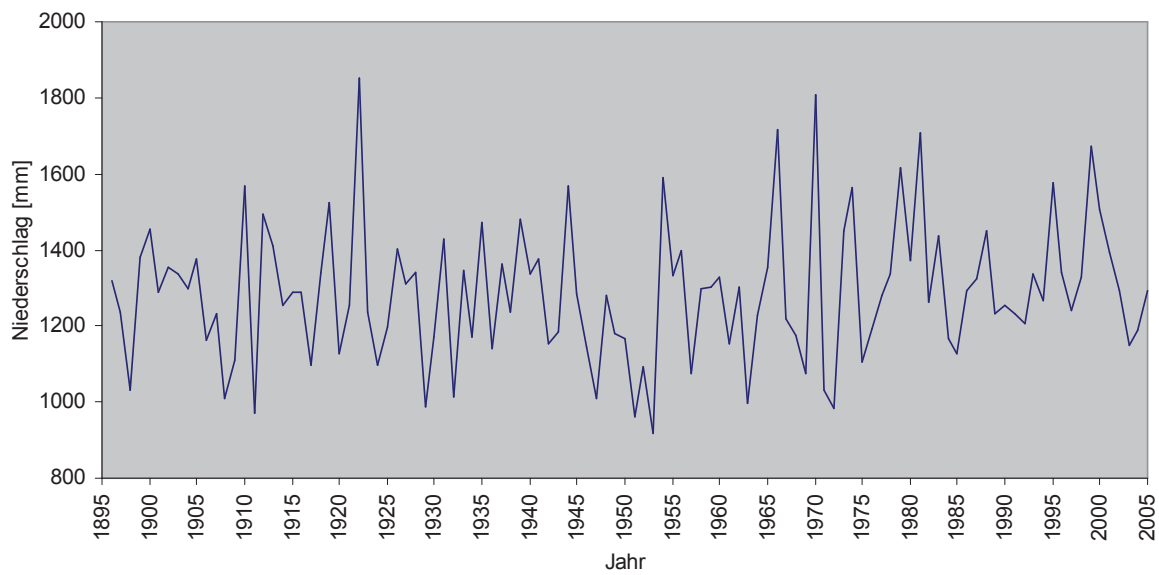


Abb. 32: Jahresniederschlagssummen in Scharnitz im Zeitraum 1895 – 2005

Die Gesamtjahresniederschläge in den Jahren 1922, 1966, 1970, 1979, 1981 und 1999 waren überdurchschnittlich hoch. Entscheidender für die Auslösung von Murgängen als die Jahresniederschlagssummen sind jedoch die Niederschlagssummen in den Frühjahrs- bzw. Sommermonaten (siehe Abb. 33).

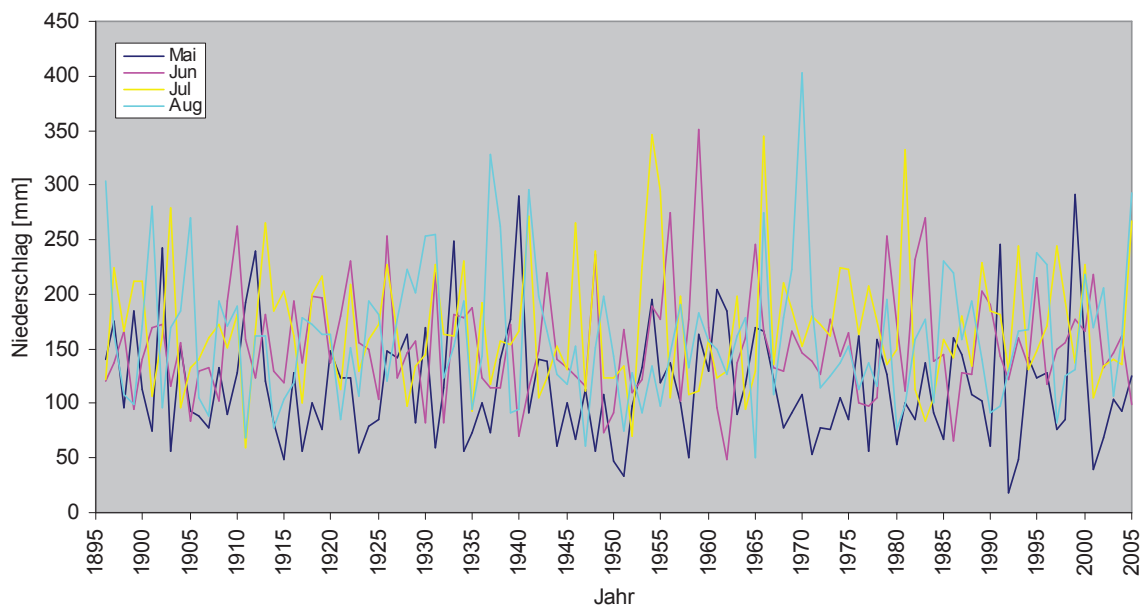


Abb. 33: Niederschlagssummen in den Monaten Mai – August in Scharnitz im Zeitraum 1896 – 2005

Die höchsten Niederschläge treten in den Monaten Mai – August auf. Im Frühling sowie in der Sommerperiode ist somit das Auftreten von Überschotterungen am wahrscheinlichsten. Die Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme vom langjährigen Mittelwert spiegeln somit Jahre mit hoher Überschotterungswahrscheinlichkeit wider (siehe Abb. 34 und Tab.10).

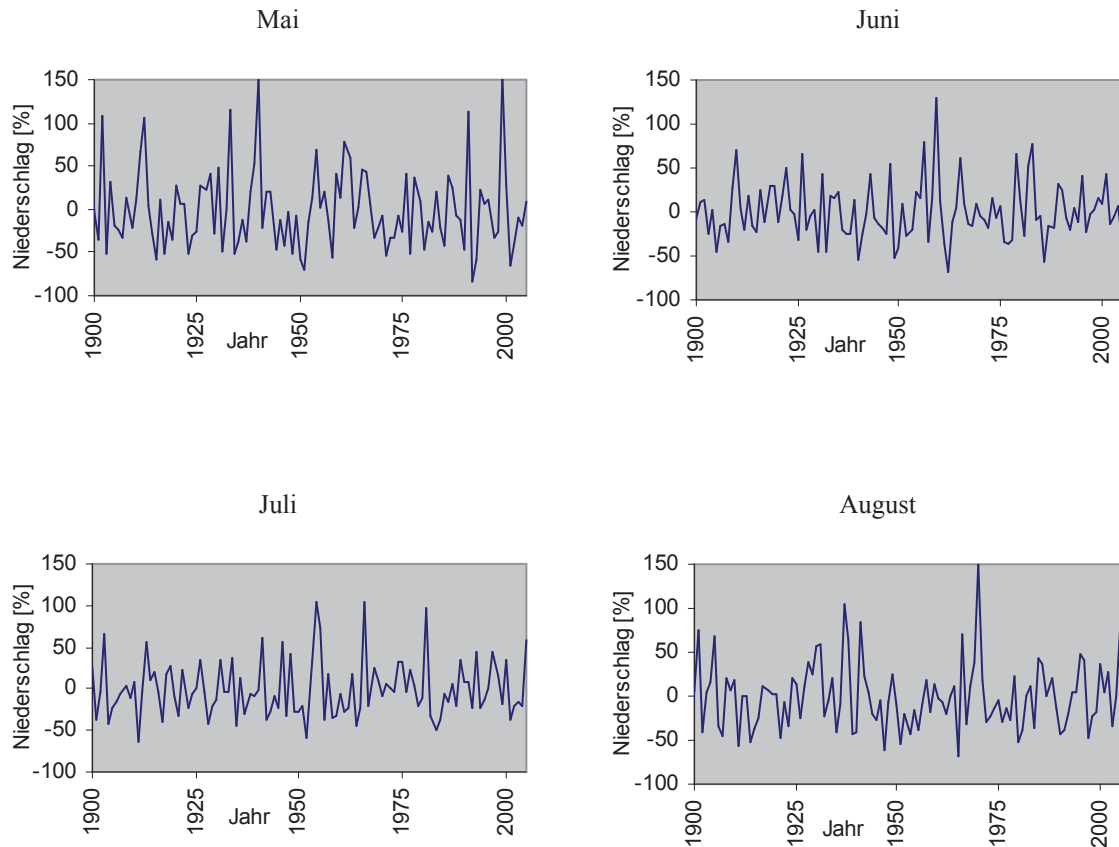


Abb. 34: Prozentuelle Abweichung der Monatsniederschlagssummen (Mai, Juni, Juli und August) vom langjährigen Mittelwert

Tab. 10: Niederschlagsreiche Jahre, Monate bzw. Tage im Zeitraum 1900 und 2005
(Extremereignisse in Fettdruck)

Jahresniederschlag ≥ 1600 mm	Monatsniederschlag ≥ 250 mm (!≥300, !! ≥400)	Tagesniederschlag ≥ 80 mm (!≥100)	≥100% (!= ≥150%) Abweichung der Monatsniederschlagsmittelwerte
	Aug 1901		Mai 1902
	Jul 1903		
	Aug 1905	06.08.1905 (79,4)	
	Jun 1910		
		08.05.1912	Mai 1912
	Jul 1913		
1922	Jun 1926		
	Aug 1930		
	Aug 1931		
	Aug 1937!	23.08.1937	Mai 1933
	Mai 1940	31.05.1940	Aug 1937
	Jul, Aug 1941		Mai 1940! (150,9%)
	Jul 1946		
		14.09.1950	
	Jul 1954!	07.07.1954	Jul 1954
		08.07.1955!	
	Jun 1956		
	Jun 1959!	13.06.1959	Jun 1959
1966	Jul, Aug 1966!		Jul 1966
1970	Aug 1970!!	09.08.1970!	Aug 1970! (150,7%)
		13.07.1971!	
		18.01.1974	
		31.07.1977!	
1979	Jun 1979		
1981	Jul 1981!	18.07.1981	Jul 1981 (97%)
	Jun 1983		
			Mai 1991
1999	Mai 1999	21.05.1999!	Mai 1999! (151,8%)
	Jul, Aug 2005	22.08.2005!	

Zeitabschnitte mit extremen Niederschlagsereignissen sind in Tabelle 10 dargestellt, womit die Überschotterungswahrscheinlichkeit zu diesen Zeitpunkten als sehr hoch angesehen werden kann.

Jahre mit Wachstumseinbrüchen in den jeweiligen Residualchronologien, welche nicht durch niedrige Temperaturen in den Monaten Mai – Juli erklärt werden können (siehe Abb. 30 und Abb. 35), geben Aufschluss auf andere wachstumslimitierende Faktoren, wobei als Hauptfaktor Überschotterungsereignisse anzusehen sind. In den Jahren 1942, 1945, 1952 und 1994 wurden trotz steigender Temperaturen geringe Jahrringe ausgebildet.

In der Abbildung 36 sind die am stärksten durch Überschotterung beeinflussten Versuchsflächen, im Vergleich zu Niederschlagsanomalien der Monate Mai – August, als indirekte Indikatoren von Murgängen, dargestellt. Wachstumseinbrüche erfolgten in oder nach Extremniederschlägen den Jahren 1912, 1933, 1937, 1941, 1946, 1954, 1956, 1959, 1965, 1966, 1970, 1979, 1983, 1989, 1996 und 1997. Möglicherweise trat ein Überschotterungsereignis 1945 ein. Diese Vermutung stützt der Wachstumseinbruch 1946.

Ergebnisse

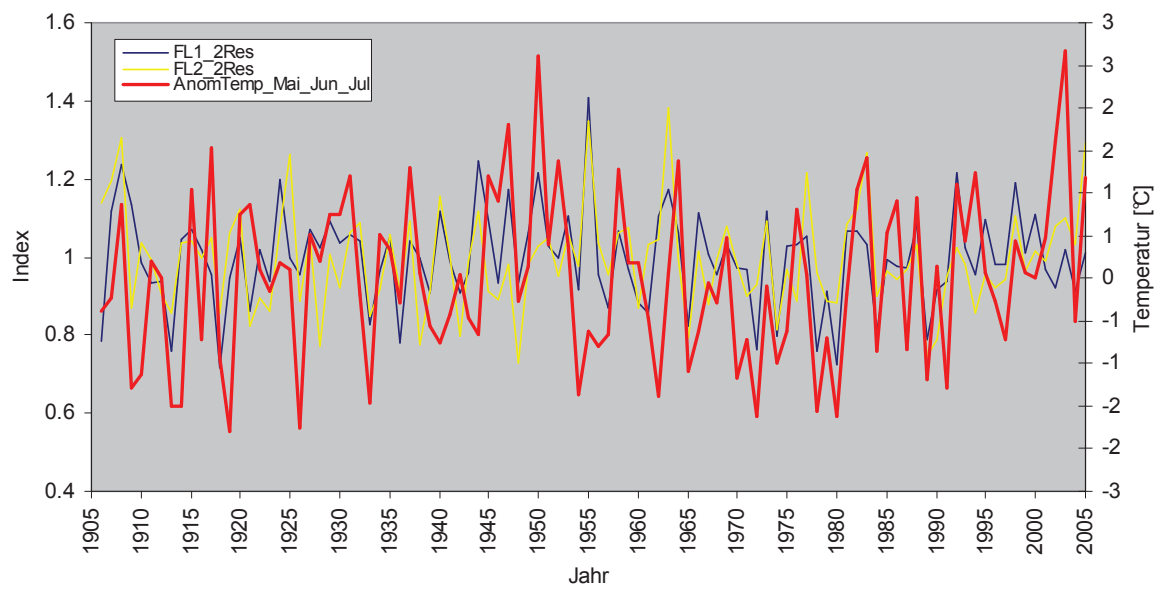


Abb. 35: Vergleich der Residualchronologien der Versuchsflächen 1 und 2 mit Temperaturanomalien der Monate Mai – Juli

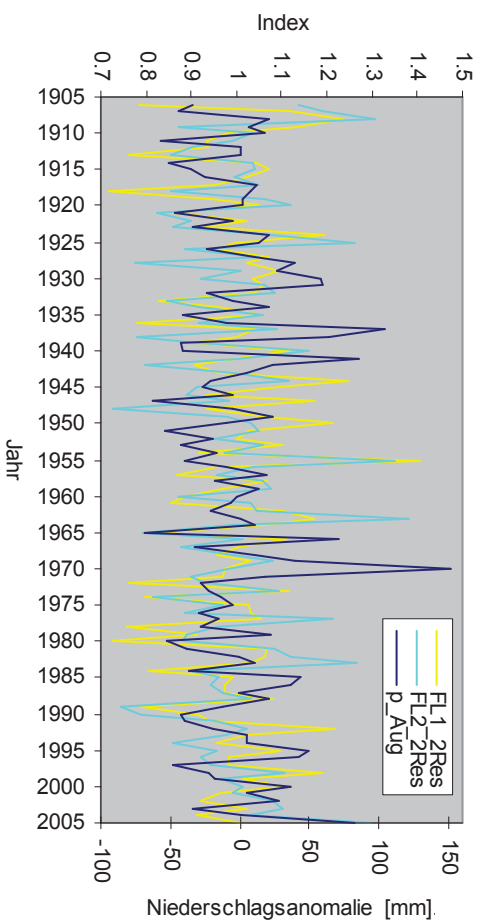
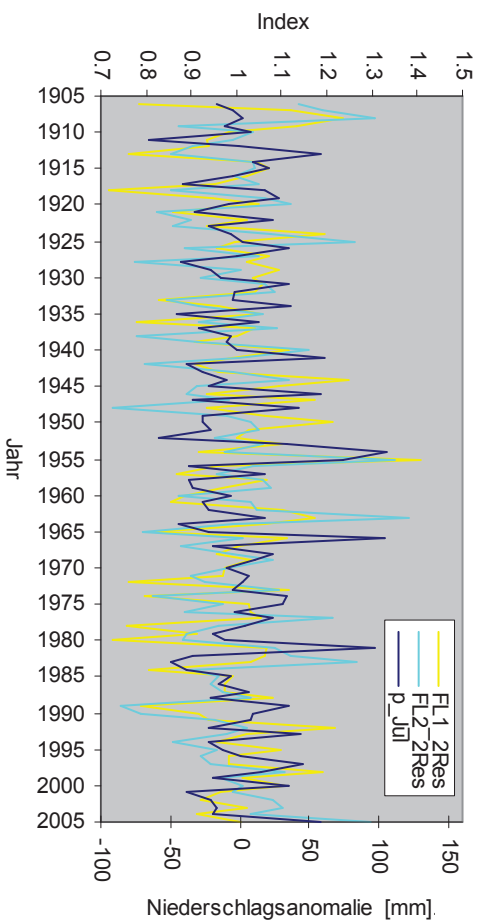
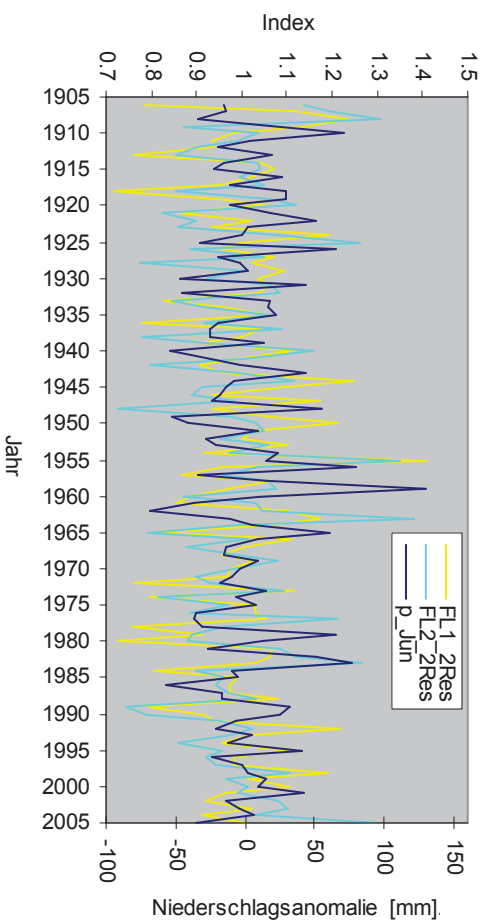
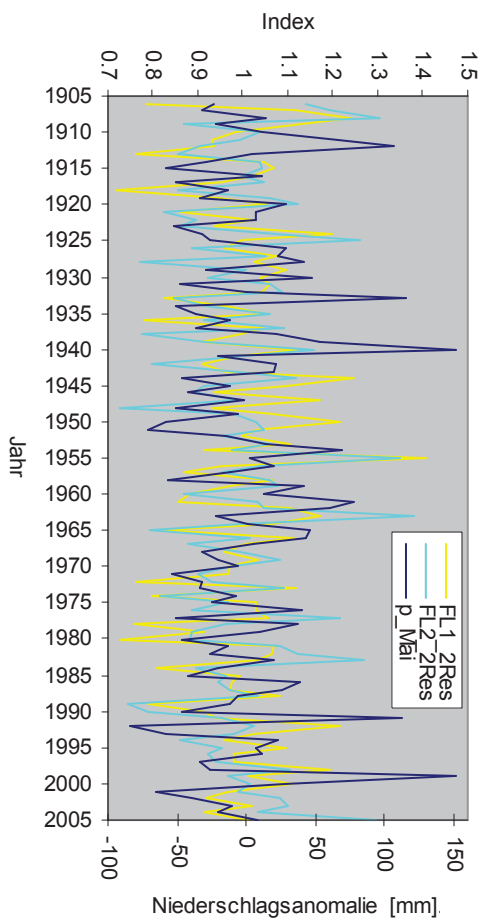


Abb. 36: Vergleich der Residualchronologie der Versuchsfäche 1 und 2 mit Niederschlagsanomalien der Monate Mai - August

6. 9. 2. Luftbildauswertung

Luftbilder des Untersuchungsgebietes wurden vom Amt der Tiroler Landesregierung (Abteilung Umweltschutz tiris) zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um Aufnahmen vom September 2005 bzw. Oktober 1996. Weitere Luftbilder aus den Jahren 1954, 1973 und 1983 wurden in die Analyse der Dynamik des Schotterkegels miteinbezogen.

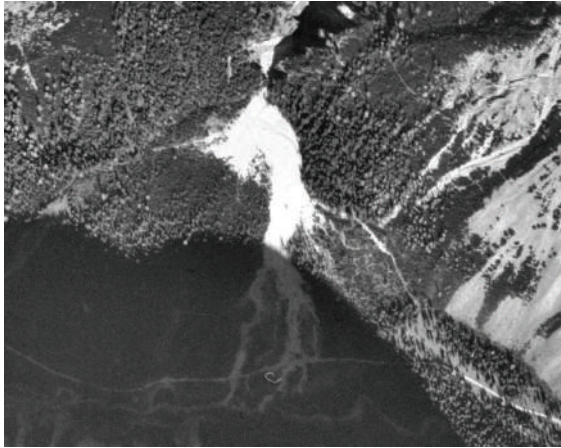


Abb. 37: Luftbild des Untersuchungsgebietes vom Okt. 1996

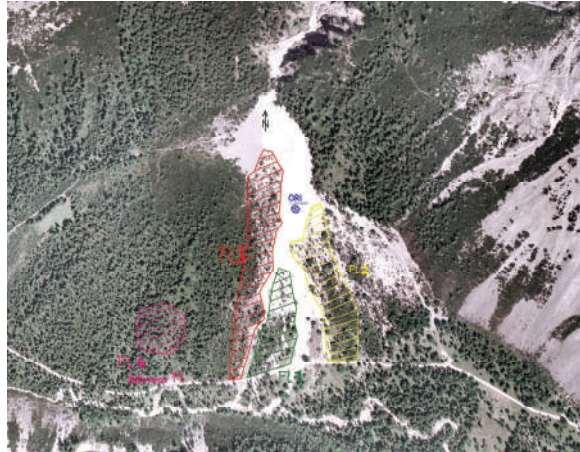


Abb. 38: Luftbild des Untersuchungsgebietes vom Sept. 2005 mit Eingrenzung der Untersuchungsflächen

Wie auf diesen Aufnahmen deutlich erkennbar, kam es in der Zeitspanne zwischen Okt. 1996 bis Sept. 2005 zur starken Überschotterung der Versuchsflächen 1 – 3, wobei besonders Fläche 2 und Fläche 3 betroffen wurden. Die Referenzfläche (Fläche 4) blieb unverändert. Die Luftbilder der Aufnahmen 1954, 1973 und 1983 sind aufgrund der Unschärfe von minderer Qualität. Es ist jedoch erkennbar, dass zwischen 1954 und 1973 starke Überschotterungen auftraten, die die Flächen 1 und 2 durch einen Schotterkegel trennten (Abb. 35). Die Flächen 3 und 4 blieben unverändert. In den Jahren zwischen 1973 und 1983 traten keine auffälligen Murgänge auf. Der Schotterkegel zwischen Fläche 1 und 2 wurde lediglich breiter und die Fläche 1 wurde zusätzlich überschottert.

Zwischen 1983 und 1996 konnte sich die Baumvegetation, vor allem auf Fläche 1, wieder ausbreiten. Die dort wachsenden Bergahornbäume hielten Überschotterungen stand (siehe Abb. 39), während im Schotterkegel zwischen Fläche 1 und 2 einige abgestorbene Fichten vorgefunden wurden.



Abb. 39: Überschotterter Bergahorn (Fläche 2)

Die absolut datierten abgestorbenen Fichten mit der Probennummer F230G21A (Fläche 1) mit dem frühest möglichen Absterbedatum 1982 und F230G51B (Fläche 2) mit dem frühest möglichen Absterbedatum 1988, sind innerhalb der Versuchsflächen am nördlichsten positioniert. D. h., es handelt sich hierbei um Bäume, die im vollen Ausmaß von Überschotterungsereignissen erfasst wurden.

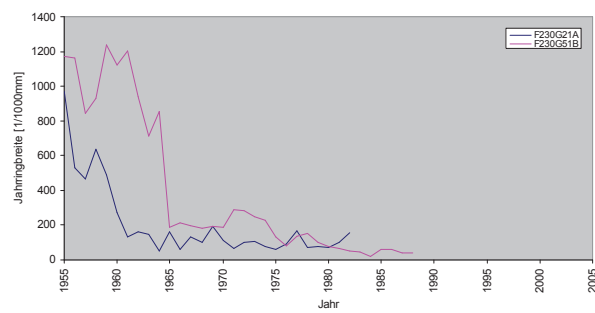


Abb. 40: Jahringreihen von zwei absolut datierten abgestorbenen Fichten im Schotterkegel Fläche 1 (F230G21A) und 2 (F230G51B).

Beide Bäume zeigen starken Wachstumseinbruch in der Zeit zwischen 1958 bis 1965, möglicherweise zurückzuführen auf eine Überschotterung im Juni 1956 bzw. 1959, (vgl. Tab. 10) und zeigen in der Folge bis zu ihrem Absterben keinen Anstieg im Zuwachs (siehe Abb. 40).

7. Diskussion

Besonders in den letzten Jahrzehnten konnte sich die Jahrringforschung weitestgehend nicht nur in der Dendroökologie sondern auch in anderen Forschungsrichtungen wie der Geowissenschaft (insbesondere Klimatologie), Archäologie oder der Kulturwissenschaft, etablieren. Das Hauptaugenmerk der Dendrochronologie liegt auf dem Erfassen, Rekonstruieren und Datieren vergangener Umweltbedingungen (BRÄUNING 1995).

Vielfältige interne und externe Faktoren beeinflussen die äußere Form und Jahrringstruktur eines Baumes. An verschiedenen Standorten bedingen unterschiedliche Umweltfaktoren Unterschiede in den Jahrringstrukturen (SCHWEINGRUBER 1996). Ziel der dendrochronologischen Arbeit ist es, Prozesse zu datieren die zur „Abweichung“ des normalen Wachstums führen. Das normale Wachstum ist laut ROSEN et. al. (1999) und SITTE et. al. (1998) die negativ gravitrope Ausrichtung des Haupttriebes am Schwerfeld der Erde. Wenn ein Stamm deutliche Neigung und/oder Krümmung zeigt, ist dies auf externe Einflüsse zurückzuführen (GÄRTNER et. al. 2004). Als Grundlage der dendrogeomorphologischen Forschung führte SHRODER (1978) den Begriff der „Process-Event-Response-Chain“ ein, um Effekte unterschiedlicher Massenbewegungen auf das Wachstum der Bäume zu beschreiben.

7. 1. Bestandesdynamik

Bäume sind standortstreue Lebewesen, die auf Umweltbedingungen wie Licht, Wärme, Feuchtigkeit und Boden vielfältige Reaktionen zeigen (SCHWEINGRUBER 1983a). Der Standort und die Gegebenheiten im Gelände gelten als wesentlicher wachstumsbeeinflussender Faktor (STRASBURGER et. al. 1998). Die am Untersuchungsgebiet vorherrschende Baumart ist die Fichte (*Picea abies*). Die Fichte kann, in Gunstlagen, eine Höhe von bis zu 40 m erreichen (ZOLLER 1981; SCHÜTT et. al. 1992). Auf dem Untersuchungsstandort erreicht sie nur Höhen von 20 bis 25 m. Die Temperatur während der Vegetationsperiode ist hier der primär wachstumslimitierende Faktor. Auf stark überschotterten Bereichen wächst die Fichte nur maximal 10 bis 15 m hoch. Als Grund für das geringere Wachstum gilt hier die Beeinträchtigung durch Geschiebematerial (ALESTALO 1971) und der dadurch resultierende hohe Geschiebedruck, geringe Bodenmächtigkeit sowie geringe Nährstoffverfügbarkeit. Die daraus resultierende

Schädigung der unter- und oberirdischen Wachstumsfunktionen führen mitunter zum Absterben der Fichte im Bereich des Schotterkegels (KNY 1877; RUBNER 1910). Einzelne durch Schädigung des Wurzelsystems bereits abgestorbene oder absterbende Fichten stehen schief oder sind geknickt. Auch Wasserknappheit, aufgrund der geringen Speicherfähigkeit des grobschotterigen Bodens, kann ein Absterben der Bäume bewirken. Im Jahrringbild abgestorbener Fichten tritt meist ein stark wachstumslimitierendes Ereignis auf. Es kommt zum rapiden Wachstumseinbruch und infolge dessen zu nur sehr geringmächtigen Jahrringausbildungen in den Folgejahren, bis hin zum vollständigen Absterben (siehe Abb. 40). Überschotterungsereignisse zeigen hier aber keinen, die ganze Versuchsfläche überspannenden Effekt, sondern nur lokale Einzelbäume betreffende Auswirkungen. Ein Hinweis dafür, dass sich das Geschiebematerial sehr inhomogen verteilt und auf die Bäume wachstumsbegünstigend durch Freistellung, wie auch wachstumshemmend auf Grund von Geschiebedruck, auswirken kann (GÄRTNER et. al. 2004; STOFFEL et. al. 2005a).

Der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) kann in Gunstlagen eine Höhe bis zu 40 m erreichen (SCHÜTT et. al. 1992). Innerhalb des Schuttkegels im Untersuchungsgebiet erreicht der Bergahorn 15 bis 20 m und zeigt einen gut entwickelten Habitus. Als wachstumslimitierender Faktor kann ebenfalls die Sommertemperatur gelten. Gegen Geschiebedruck scheint der Bergahorn wesentlich resistenter als die Fichte. In überschotterten Bereichen wachsen keine geknickten oder schief stehenden Bergahornbäume. In Abb. 42 ist zudem eine deutliche Wachstumssteigerung des Bergahorns in den Jahren 1975 bis 2005 erkennbar. Die Fichte hingegen weist fortschreitend immer engere Jahrringe auf. Besonders die abgestorbenen Fichten zeigen trotz kurzzeitiger Erholung um 2000, nur noch geringe Wachstumsraten.

Die Ermittlung der Altersstruktur des Waldbestandes liefert Informationen über Stabilität und Störungsereignisse sowie Verjüngungsmuster innerhalb des Schotterkegels (z. B. AGREN & ZACKRISSON 1990; FRITTS & SWETNAM 1989; PARKER & PEET 1984).

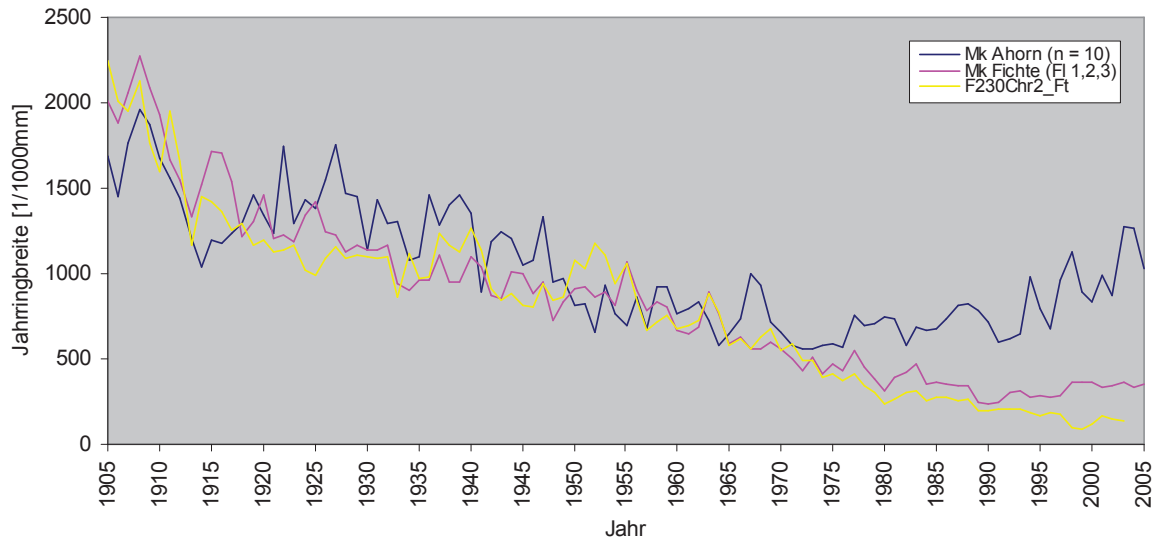


Abb. 41: Vergleich der Wachstumszeitreihen von Fichte und Bergahorn

In Abbildung 41 erkennt man deutlich, dass sich ab etwa 1975 die Bergahornbäume wesentlich besser entwickelten als die lebenden bzw. abgestorbenen Fichten. Laut Luftbildanalyse kam es zwischen 1954 und 1973 auf den Versuchsflächen 1 und 2 zu Überschotterungen, welche auf extreme Niederschläge in den Jahren 1966 und 1970 zurückzuführen sein dürften (vgl. Tab. 10).

Das Fehlen einer Fichtenaltersklasse < 50 Jahre führt in den überschotterten Bereichen des Untersuchungsgebietes zu einer asymmetrischen Altersverteilung. Auf der von Überschotterung nicht beeinträchtigten Referenzfläche ist die Altersverteilung homogen. Die Bäume auf der ungestörten Referenzfläche weisen, im Gegensatz zu den anderen Versuchsflächen, ein höheres Alter und größere Baumhöhen auf.

Im Schotterkegel (Versuchsfläche 1, 2 und 3) stocken vorwiegend Fichten, welche um etwa 1880 aufkamen. Die Altersdatierung dieser Bäume gibt somit Aufschluss über das Mindestalter des Schuttfächers (z. B. OSTERKAMP & HUPP 1987). Durch die zunehmende Konkurrenz zeigen ältere Individuen einen Wachstumsrückgang in den Jahren nach 1900. Nach WALTER & BREKELE (1991) ist Konkurrenz der hemmende Einfluss, den die auf engem Raum miteinander wachsenden Pflanzen aufeinander ausüben. Vertikale Differenzierung wird durch die Licht- und Raumverhältnisse im Kronen- und Wurzelbereich gesteuert. Mit zunehmendem Alter steigt der Konkurrenzdruck im Engstand, was ebenfalls zum Absterben von Einzelindividuen führen kann (SCHÜTZ 1990; BIGLER & BUGMANN 2003). Vor 1900 kam es zu rapiden Wachstumssteigerungen der älteren Individuen. Dieser Effekt kann dadurch erklärt werden, dass möglicherweise ein

Überschotterungsereignis um 1880 große Teile der damals wachsenden Fichtenbestände vernichtet hat. Die dadurch aufgetretene Auflichtung des Bestandes führte zu besseren Wachstumsbedingungen, sowie geringerem Konkurrenzdruck auf die überlebenden Fichten (STOFFEL et. al. 2005a). Auch BRÄKER & BAUMANN (2002) wiesen nach, dass Fichten auf Bestandesöffnung mit deutlichen Zuwachsraten reagieren. Auflichtung könnte aber auch durch anthropogene Einflussnahme (Abholzung) oder durch Schädlinge entstanden sein. Das Fehlen von Baumstümpfen und die Homogenität der Vegetation auf der Referenzfläche schließen diese Vermutungen jedoch weitgehend aus.

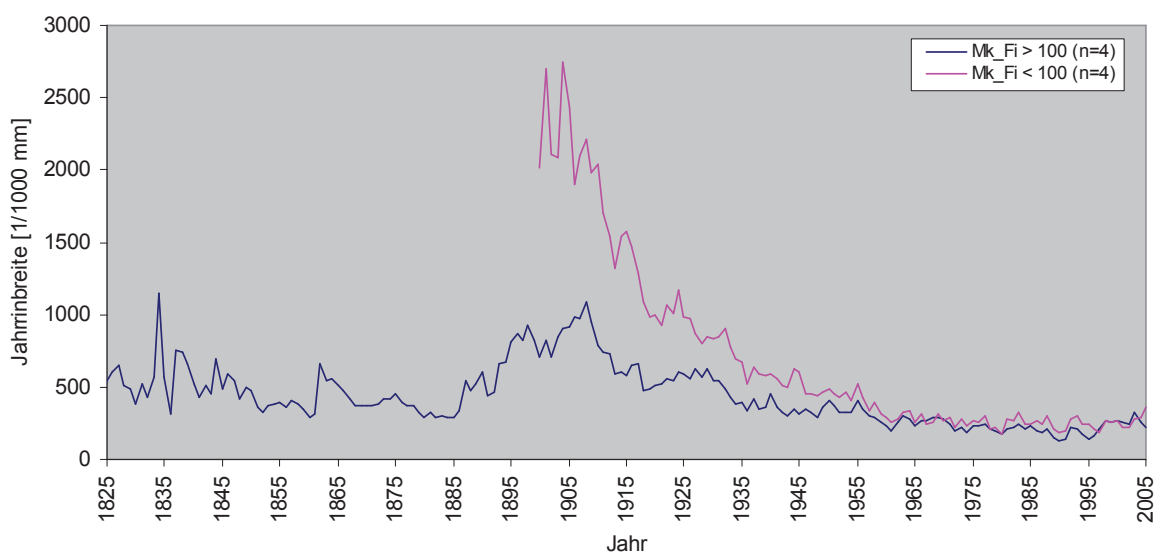


Abb. 42: Hinweis auf Bestandesauflichtung und Verjüngung in Wachstumsreihen verschiedener Fichtenaltersklassen

7. 2. Wachstumsbeeinflussung durch Umweltfaktoren

Wälder sind, als dominante Elemente in der Landschaft, natürlicherweise einem stetigem Wandel unterworfen. Dieser Wandel hängt von der räumlichen Ausdehnung und der Ablaufgeschwindigkeit der beteiligten walddynamischen Prozesse ab (GLAVAC 1996). Die Witterung und das Klima sind die hauptlimitierenden Wachstumsfaktoren von Bäumen. Die Abfolge wachstumsbegünstigender bzw. wachstumshemmender Zeitperioden spiegelt die große bzw. geringe Jahrringmächtigkeit der einzelnen Individuen wider (FRITTS 1976). Im Untersuchungsgebiet Hinterautal/Isargrund ist die Temperatur in den Monaten Mai, Juni und Juli der hauptwachstumslimitierende Faktor. Generell ist die Temperatur und hier v. a. die Sommertemperatur an der alpinen Waldgrenze und in borealen Regionen der

hauptideutlichste Wachstumsfaktor (TRANQUILLINI 1979, WIESER & TAUSZ 2007). Um Abweichungen in den Jahrringreihen interpretieren zu können, wurde eine Klimakorrelation mit den Temperatur- bzw. Niederschlagswerten durchgeführt. Bei enger Korrelation des Wachstums mit der Temperatur sind Abweichungen der Wachstumskurve von der Temperaturkurve durch andere Einflüsse bedingt, z. B. Murgänge. Schwankungen von Temperaturaufzeichnungen und Jahrringreihen zeigen, besonders auf den Versuchsflächen 1, 2 und 3, eine hohe Parallelität (siehe Abb. 29 und 30). Die Referenzfläche (Versuchsfläche 4) reagiert weniger sensitiv auf Temperaturänderungen. Ein Grund hierfür könnte die Dichte des Bestandes sein. Aufgrund der hohen Bestandesdichte treten Temperaturschwankungen auf der Referenzfläche wesentlich abgeschwächer auf als auf den Überschotterungsflächen, die durch ihren lichten Deckungsgrad Temperaturänderungen der Umgebung unmittelbar ausgesetzt sind. Bei starker Sonneneinstrahlung kommt es auf den überschotterten Flächen zu einer rascheren Temperaturerhöhung als auf der dichtbewachsenen Referenzfläche und somit möglicherweise zu ausgeprägteren Wachstumsreaktionen.

Klima-Wachstumskorrelationen weisen zudem darauf hin, dass die Niederschlagssummen im Untersuchungsgebiet mit dem Baumwachstum in keiner Beziehung stehen und daher im langjährigen Mittel nicht von wachstumslimitierender Bedeutung sind. Allerdings geben besonders niederschlagsreiche Zeitperioden einen Hinweis auf mögliche Überschotterungsereignisse (vgl. Tab. 10). Korrelationen von auftretenden Bodenbewegungen und Niederschlagsereignissen lassen sich nur schwer herstellen. Hangrutschungen können aber bei einer Tagesniederschlagsmenge von 35-40 mm, während der Sommermonate gehäuft auftreten (SANTILLI & PELFINI 2002). Es spielt jedoch nicht nur die absolute Niederschlagsmenge eine Rolle, entscheidend ist eine Zeitspanne von nur 2 bis 4 Stunden starken Niederschlags (SANDERSEN 1997; COROMINAS & MOYA 1999; FLAGEOLLET et. al. 1999).

Da es aufgrund von Überschotterungen nicht nur zu Wachstumseinbrüchen, sondern auch zu Wachstumszunahmen aufgrund absterbender konkurrierender Bäume kommen kann, sind diese mitunter nur schwer datierbar (STOFFEL et. al. 2005a). Da die Fichte Überschotterungen bis zu einer Höhe von 1,6 bis 1,9 m toleriert, kann es auch zu später kaum merkbaren Wachstumsbeeinträchtigungen kommen (STRUNK 1997). Außerdem kann es durch wiederholte Einschotterung der Baumstämme zu einer erhöhten Stabilität der selben Bäume kommen und somit Feinwurzelschäden bei Folgeereignissen minimiert werden. Auch der Eintrag neuer Nährstoffressourcen durch Bodenfluktuation kann wachstumsfördernd wirken.

In zeitlicher Folge aufgenommene Luftbilder stellen bei der Datierung und Abschätzung der Intensität von Überschotterungsereignissen eine wesentliche Grundlage dar (GÄRTNER et. al. 2004). Mit ihrer Hilfe können die Ereignisse innerhalb einer Zeitspanne fixiert werden. Z. B. wurde die Versuchsfläche 3 im Zeitraum von 1996 bis 2005 weitreichend überschottert. Innerhalb dieser Zeitspanne sticht das Jahr 1999 als besonders niederschlagsreich heraus. Es kam aber, aus vermutlich oben genannten Gründen, zu keiner merklichen Beeinträchtigung des Baumwachstums bzw. erhöhtem Absterben von Individuen. Im Untersuchungsgebiet Hinterautal/Isargrund traten in der Vergangenheit einige geomorphologische Großereignisse auf. Anhand von Karten und Luftbildern können landschaftliche Veränderungen eruiert werden (GÄRTNER et. al. 2004). Die Dendroanalyse hilft ein geomorphologisches Großereignis datieren zu können, dazu wurden vor allem einzelne abgestorbene Fichten beprobt. Anhand absolut datierter Proben, kann man ihr frühest mögliches Absterbdatum feststellen. Die Ermittlung des exakten Absterbdatums ist jedoch eingeschränkt, da bei abgestorbenen Fichten, durch Verwitterung des Holzes, Jahrringe in äußeren Bereichen nicht mehr vorhanden sein können. Das Keimungsjahr ist nur dann ermittelbar, wenn die Probennahme durch das Mark des Baumes und im Bereich des Wurzel-Spross-Übergangs erfolgte.

Die Methodik der Dendroanalyse trägt einen großen Teil zur Klärung offener geomorphologischer Fragen bei, darf aber nicht isoliert betrieben werden. Die Kombination und Vernetzung mit zusätzlichen Informationsquellen, wie Klimadaten, geomorphologischen Daten, Informationen aus Gemeindechroniken sowie der Bevölkerung usw. ist unumgänglich (GÄRTNER et. al. 2004).

7. 3. Methodischer Ausblick

Zusätzliche, erweiternde und auf diese Arbeit aufbauende Aspekte könnten in zukünftigen Analysen Beachtung finden:

- 1) Eine rein jahrringanalytische Auswertung der Daten erlaubt zwar eine Datierung des Störungsereignisses, weitere Aussagen über den Umfang und die Intensität der Störung können aber nicht getroffen werden. In diesen Fällen muss eine geomorphologische Standortansprache und Prozessanalyse durchgeführt werden (GÄRTNER et. al. 2004). Es handelt sich hierbei um die Einsichtnahme in das Ursprungsgebiet des Schuttstromes bzw. der

Hangbewegungen (Birkarkklamm) und die Analyse der dort herrschenden geomorphologischen Bedingungen. Bei der Untersuchung von Murgängen in alpinen Gebieten liegt das Ursprungsgebiet (Anrisszone) einer Mure häufig in vegetationsfreien Bereichen, oberhalb der Baumgrenze (GÄRTNER & STOFFEL 2002). Die Anrisszone befindet sich in der Birkarkklamm auf ca. 1500 m. Die Umweltbedingungen der einzelnen Teilbereiche (Anrissgebiet, Transportstrecke und Ablagerungsbereich) unterscheiden sich oft deutlich voneinander. In vielen Fällen sind Temperatur und Niederschlagsbedingungen im Anrissgebiet grundlegend anders als im, meist über 1000 m niedriger gelegenen, Ablagerungsbereich (GÄRTNER 2003). Auch die Überschotterungstiefe kann an mehreren Punkten auf den Untersuchungsflächen ermittelt und kartiert werden.

2) Im August 2005 wurde das Untersuchungsgebiet Hinterautal/Isargrund sehr stark überschottert. Aus der Birkarkklamm kommendes Geschiebematerial reichte bis an die gegenüberliegende Talseite und überschotterte den im Süden gelegenen Weg zur Kastenalm. Die langfristigen Auswirkungen dieses Großereignisses auf die Bestandesentwicklung können mittels eines „Monitorings“ des Radialsystems erfasst werden.

3) Die Altersbestimmung von Adventivwurzeln wird durch dendrogeomorphologische Wurzelanalysen ermöglicht (MARIN & FILION 1992; STRUNK 1989). Diese eignen sich zur Datierung von Verschüttungsprozessen wie z. B. Murgängen (STRUNK 1995, 1997), der Veränderung von Flussläufen (SIGAFOOS 1964) und der daraus resultierenden Veränderungen der hydrologischen Verhältnisse des Untergrunds (LAMARCHE 1966, BEGIN et. al. 1991). Bereits SHRODER (1975) und JACKSON (1977) fanden, dass mit zunehmenden Überschotterungsschichten die Fichte weitere Adventivwurzelhorizonte ausbildet. Aufgrund der schwierigen Datierbarkeit von Überschotterungsereignissen kann die Bestimmung des Sprossungszeitpunktes der ältesten Adventivwurzel der Fichte eine Absolutdatierung, mit einer Sicherheit von ± 0 bis ± 3 Jahren, garantieren (STRUNK 1997).

4) Nur durch die jahrgenaue Datierung der Jahrringe können vergangene Ereignisse exakt rekonstruiert werden. Störungen im Jahrringmuster der Bäume des Untersuchungsstandortes müssen als solche erkannt werden und vom „normalen“, d. h. gebietsspezifischen Jahrringbild, unterschieden werden. Als gebietsspezifisch gelten Jahrringvariationen, die sich in der Jahrringchronologie unbeeinflusster Referenzstandorte darstellen. Um dies sicherzustellen, muss für jede zu untersuchende Baumart eine Referenzchronologie erstellt

werden. Diese repräsentiert das mechanisch ungestörte, negativ gravitrope Wachstum der Bäume unter gleichen Umweltbedingungen wie die des Untersuchungsstandortes, d. h. unter Ausschluss jeglichen Einflusses durch den zu rekonstruierenden Prozess (GÄRTNER et. al. 2004). Bei der Auswahl des Referenzstandortes muss, da das Wachstum eines Baumes grundlegend durch die biotischen und abiotischen Faktoren seines Standortes gesteuert wird (RIGLING et. al. 2004), darauf geachtet werden, dass die Standortparameter denen des Untersuchungsstandortes entsprechen. Dies wird erreicht indem Standorte gleicher Höhenlage, Exposition und Artenzusammensetzung gewählt werden (GÄRTNER et. al. 2004). Die Analyse weiterer Referenzstandorte mit den entsprechenden Luftbildern und die Analyse ähnlicher Waldbestände in benachbarten Regionen, sowie Datenerhebungen zusätzlicher Referenzflächen zu höherer Datierungssicherheit am Untersuchungsstandort Hinterautal/Isargrund könnten weitere Ergebnisse zu den Auswirkungen von Murgängen auf das Baumwachstum liefern.

5) Nicht nur Geschiebedruck sondern auch Lawinenereignisse können Wachstumseinbrüche in Beständen zur Folge haben (SCHWEINGRUBER 1996, BEBI et. al. 2004). Aufgrund der topographischen Gegebenheiten kann besonders der nördliche Bereich der Untersuchungsfläche (Richtung Birkkarklamm) im Winter von Lawinen betroffen sein. Auftretende Lawinen können genau wie Muren eine Auflichtung und somit Verjüngung des Bestandes erwirken (STOFFEL et. al. 2006).

6) Jahrringreihen geben nicht nur durch Wachstumseinbrüche Aufschluss über Umwelteinflüsse sondern auch durch Modifikationen der Holzstruktur, z. B. der Bildung von Reaktionsholz (SHRODER 1980). Weiteres Augenmerk sollte deshalb auf holzanatomische Veränderungen, wie die Bildung von Kallusgewebe, welches Stammverletzungen überwächst, und auf die Anhäufungen von Harzkanälen (traumatische Harzkanalreihen) gelegt werden. Ausbildung von Harzkanälen und Rindennarben sind stets Reaktionen auf äußere mechanische Störungen und helfen bei der Erfassung und Datierung von geomorphologischen Prozessen (SCHWEINGRUBER 2001). Ferner liefert die intra-annuelle Position holzanatomischer Merkmale (STOFFEL et. al. 2005b) weitere Informationen über das Wachstum und somit über geomorphologisch bedingte Störungen während des Jahres. Am Beginn des Jahrrings auftretende Harzkanäle (Frühholz) weisen z. B. auf Störung durch Lawinen hin, während gehäuft auftretende Harzkanäle im Spätholz auf Hangrutschungen hinweisen (STOFFEL et. al. 2006).

8. Schlussfolgerung

Durch die globale Erwärmung, verbunden mit dem Auftreten von Witterungsextremen erhalten dendroökologische Analysen und die Rekonstruktion von Hangbewegungen, zusätzliches Gewicht. Besonders Gebirgsregionen könnten, durch das Auftauen von Permafrostböden, welche zu verstärkten geomorphologischen Prozessen führt, zunehmend von Permafrostböden betroffen werden (STOFFEL et. al. 2005a). Besonders im Alpenraum sind Erosion und Murenabgängen mit Gefahren verbunden. Ihr schnelles und oft nicht vorhersehbares Auftreten bedroht nicht nur infrastrukturelle Einrichtungen, sondern auch unmittelbar die Menschen, die dort leben. Die dendrogeomorphologische Analyse und Dokumentation von Murenabgängen die auf Basis der Wachstumsreduktion mehrerer hundertjähriger Bäume erfolgen kann, erhält somit immer größere Bedeutung (STOFFEL 2006).

9. Literatur

- AGREN J., ZACKRISSON O. (1990): Age and size structure of *Pinus sylvestris* populations on mires in central and northern Sweden. *Journal of Ecology* 78: 1049-1062.
- ALESTALO J. (1971): Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia, Soc. Geog. Fenniae* 105: 1-140.
- BAILLE M. G. L., PICHLER J. R. (1973): A simple cross-dating programm for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin* 38: 35-43.
- BEBI P., CASTELLER A., MAYER A. C., STÖCKLI V. (2004): Jahrringe als Indikatoren für extreme Standortbedingungen im Gebirge: Schnee, Lawine und Permafrost. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 6(4): 208-212.
- BEGIN Y., LANGLAIS D., COURNOYER L. (1991): Tree-Ring Dating of Shore Erosion Events (Upper St. Lawrence Estuary, Eastern Canada). *Geografiska Annaler* 73A, 1: 53-59.
- BIGLER C., BUGMANN H. (2003): Growth-dependent tree mortality models based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 210-221.
- BRÄKER O. U. (1981): Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. *Mitt. D. forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien* 142: 75-102.
- BRÄKER U. O., BAUMANN E. (2002): Gebirgsfichten. Zuwachsreaktionen nach einseitiger Freistellung. *Wald und Holz* 83: 8-24.
- BRÄUNING A. (1995): Zur Anwendung der Dendrochronologie in den Geowissenschaften. *Die Erde* 126: 189-204.
- COOK E. R., KAIRIUKTIS L. A. (Eds.) (1990): *Methods of dendrochronology: applications in the environmental science*. International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 394.
- COROMINAS J., MOYA J. (1999): Reconstructing recent landslides activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, 30 (1-2): 79-93.
- ERLBECK R., HASEDER I. E., STINGLWAGNER G. K. F. (1998): *Das Kosmos Wald- und Forstlexikon*. Frack-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart.
- ESPER J., GÄRTNER H. (2001): Interpretation of tree-ring chronologies. *Erdkunde* 55: 277-288.
- FLAGEOLLET J. C., MAQUAIRE O., MARTIN B., WEBER D. (1999): Landslides and climatic conditions in the Barcelonnette and Vars basins (Southern French Alps, France). *Geomorphology*, 30 (1-2): 65-78.
- FRITTS H. C. (1976): *Tree rings and climate*. Academic press, London.
- FRITTS H. C., SWETNAM T. W. (1989): Dendroecology: a tool for evaluation variations in past and present forest environments, *Advances in Ecology Research* 19: 111-188.
- FRITTS H. C. (2001): *Tree rings and climate*. The Blackburn Press, Caldwell: 567.
- GÄRTNER H., STOFFEL M. (2002): Detailed mapping and dendrogeomorphological analysis of a debris flow torrent in Switzerland. In: *Interpraevent 2002 in the Pacific Rim*, Congress Publication 1: 199-207.
- GÄRTNER H. (2003): The applicability of roots in Dendrogeomorphology. In: Schleser G., Wininger M., Bräuning A., Gärtner H., Helle G., Jansma E., Neuwirth B., Treydte K., (Eds.): *Trace – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, Vol. 1, *Proceedings of the Dendrosymposium 2002*, April 11th-13th 2002, Bonn/Jülich: 120-124.

- GÄRTNER H., ESPER J., TREYDTE K. (2004): Geomorphologie und Jahrringe – Feldmethoden in der Dendrogeomorphologie. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 6(4): 198-207.
- GLAVAC V. (1996): Vegetationsökologie. Gustaf Fischer Verlag, Jena: 358.
- HEGI G. (1975): V. Band, 1. Teil Dicotyledones. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg.
- HOLMES R. L. (1994): Dendrochronology program library's user's manual. Laboratory of Tree Ring Research. University of Arizona, Tucson.
- HUGHES M. K. (2002): Dendrochronology in climatology - the state of the art. *Dendrochronologia* 20/1-2: 95-116.
- JACKSON L. E. (1977): Dating and recurrence frequency of prehistoric mudflows near Big Sur, Monterey County, California. *US Geol. Surv. J. Res.* 5: 17-32.
- KAENNEL M., SCHWEINGRUBER F. H. (1995): Multilingual Glossary of Dendrochronology: terms and definitions in English, German, French, Spanisch, Italian, Portuguese, and Russian. Haupt, Birmensdorf (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft), Bern; Stuttgart; Wien.
- KNY L. (1877): Das Dickenwachstum des Holzkörpers an beblä Herten Sprossen und Wurzeln und seine Abhängigkeit von äußeren Einflüssen, insbesondere von Schwerkraft und Druck. *Botanische Z.* 35: 415-423; 434-438; 446-454; 463-466.
- LAMARCHE V. C. (1966): An 800-year History of Stream Erosion as Indicated by Botanical Evidence. U. S. Geological Survey Professional Paper 550-D: D83-D86.
- MARIN P., FILION L. (1992): Recent Dynamics of subarctic dunes as determined by tree-ring analysis of white spruce, Hudson Bay, Quebec. *Quaternary Research* 38: 316-330.
- OSTERKAMP W., HUPP R. (1987): Dating and interpretation of debris flows by geologic and botanical methods at Whitney Creek gorge, Mount Shasta, California, *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, v. 7: 157-163.
- PARKER A. J., PEET R. K. (1984): Size and age structure of conifer forests. *Ecology* 65: 1685-1689.
- RIGLING A., WEBER P., CHERUBINI P., DOBBERTIN M. (2004): Bestandesdynamik zentralalpiner Waldföhrenwälder aufgezeigt anhand dendroökologischer Fallstudien aus dem Wallis, Schweiz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 6(4): 178-190.
- RINN F. (2003): TSAP-Win, Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications. Frank Rinn, Heidelberg.
- ROSEN E., CHEN R., MASSON P.H. (1999): Root gravitropism: a complex response to a simple stimulus? *Trends in Plant Science Reviews* 4, 10: 407-412.
- RUBNER K. (1910): Das Hungern des Cambiums und das Aussetzen der Jahrringe. *Naturwiss. Z. Forst- und Landwirtschaft* 8: 212-262.
- SANDERSEN F. (1997): The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows in Norway. In Matthews J.A., Burnsdon D., Frenzel B., Gläser B., Weiss M.M. (eds). *Rapid mass movement as a source of climatic evidence for Holocene. Paläoklimaforschung – Paleoclimate Research*, 19: 321-332.
- SANTILLI M., PELFINI M. (2002): Dendrogeomorphology and dating of debris flows in the Valle del Gallo, Central Alps, Italy. *Dendrochronologia* 20/3: 269-284.
- SCHIECHTL H. M., STERN R., MEISEL K. (1987): Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1/100 000 XI, Teil: Blatt 2, Lechtaler Alpen – Wetterstein. *Documents de Cartographie Ecologique* XXX: 25-49.
- SCHÜTT P., SCHUCK H. J., STIMM B. (Hrsg.) (1992): Lexikon der Forstbotanik, Morphologie, Pathologie, Ökologie und Systematik wichtiger Baum- und Straucharten. Ecomed Verlagsgesellschaft mbh, Landsberg/Lech: 23-26; 339-345.

- SCHÜTZ J. P. (1990): Sylviculture 1. Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne: 254.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1983a): Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Haupt, Bern.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1983b): Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Haupt, Bern: 234.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1996): Tree Rings and Environment. Dendroecology. Haupt, Bern: 609.
- SCHWEINGRUBER F. H. (2001): Dendroökologische Holzanatomie. Haupt, Bern.
- SHRODER J. F. (1975): Dendrogeomorphologic analysis of mass movement. Proc. Assoc. Am. Geogr. 7: 222-226.
- SHRODER J. F. (1978): Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. Quaternary Research 9: 168-185.
- SHRODER J. F. (1980): Dendrogeomorphology: review and new techniques of tree-ring dating. Progress in Physical Geography 4: 161-188.
- SIGAFOOS R. H. (1964): Botanical evidence of floods and floodplain deposition. US Geological Survey Professional Paper 485-A: 35.
- SITTE P., ZIEGLER H., EHRENDORFER F., BRESINSKY A. (Hsrg.) (1998): Strasburger Lehrbuch der Botanik. Fischer, Stuttgart: 1007.
- STOFFEL M., LIEVRE I., CONUS D., GRICHTING M. A., RAETZO H., GÄRTNER H. W., MONBARON M. (2005a): 400 Years of Debris-Flow Activity and Triggering Weather Conditions: Ritigraben, Valis, Switzerland. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 37(3): 387-395.
- STOFFEL M., LIEVRE I., MONBARON M., PERRET S. (2005b): Seasonal timing of rockfall activity on a forest slope at Täschgufer (Valis, Swiss Alps) – a dendrochronological approach. Zeitschrift für Geomorphologie 49(1): 89-106.
- STOFFEL M. (2006): Estimating Magnitude-Frequency Relationships for Debris Flows on Forested Cones – Working Concept and Preliminary Results, Universal Academy Press, Tokyo, Japan: 159-165.
- STOFFEL M., BOLLSCHWEILER M., HASSLER G. R. (2006): Differentiation past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach. Earth Surface Processes and Landforms, Published online in Wiley InterScience: 1424-1437.
- STRASBURGER M., SITTE P., ZIEGLER H., EHRENDORFER F., BRESINSKY A. (1998): Strasburger. Lehrbuch der Botanik, 34. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag mbH, Heidelberg: 179-182.
- STRUNK H. (1989): Dendrogeomorphology of debris flows. Dendrochronologia 7: 15-25.
- STRUNK H. (1995): Dendrogeomorphologische Methoden zur Ermittlung der Muffrequenz und Beispiele ihrer Anwendung. Theorie und Forschung, Bd. 317, Geographie 1, Roderer, Regensburg: 196.
- STRUNK H. (1997): Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. Elsevier Science B. V. Catena 31: 137-151.
- TRANQUILLINI W. (1979): Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps. Springer Verlag, Berlin.
- WALTER H., BREKELE S. (1991): Ökologische Grundlagen in globaler Sicht, 2. bearb. Auflage, Fischer Verlag, Stuttgart.
- WIESER G., TAUSZ M. (2007): Trees at their upper limit. Treelife limitation at the alpine timberline. Plant Ecophysiology vol. 5, Springer, Dordrecht.

Literatur

WIGLEY T. M. L., JONES P. D., BRIFFA K. R. (1987): Cross dating methods in dendrochronology. *Journal of Archaeol. Science* 14: 51-64.

ZOLLER H. (1981) In: CONERT H. J. (Hrsg.), Gustav HEGI (Begr.), *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg: 11-148.

Abbildungen

Abb. 1: Karwendelgebirge: (Verändert nach Screenshot Google Earth 2006)

Abb. 2: Hinterautal Blickrichtung Westen: (Foto Zangerle Peter 2005)

Abb. 3: Geologie im Hinterautal: (verändert nach SCHIECHTL et. al. 1987)

Abb. 4: Klimadiagramme von Seefeld und Mittenwald: (SCHIECHTL et. al. 1987). 32

Abb. 5: Vegetation im Hinterautal: (verändert nach SCHIECHTL et. al. 1987). 43

Abb. 6: Schema der Untersuchungsfläche Hinterautal/Isargrund (Karwendel): (Zangerle Peter 2006)

Abb. 7: Untersuchungsgebiet: (Luftbild: Amt der Tiroler Landesregierung – Umweltschutz tiris)

Abb. 8: Versuchsflächen im überschotteten Talbereich: (Foto Zangerle Peter 2005)

Abb. 9: Untersuchungsgebiet: (Fotos: Walter Oberhuber, Peter Zangerle)

Abb. 10: Fichte: (Foto Zangerle Peter 2005)

Abb. 11: Verbreitung der Fichte: (SCHÜTT et. al. 1992)

Abb. 12: Bergahorn: (Foto Zangerle Peter 2005)

Abb. 13: Auf die Holzleiste fixierter und bearbeiteter Bohrkern: (Zeichnung: Zangerle Peter 2006)

Abb. 14: Mittelkurve der Rohdaten (Fläche 3): (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 15.: Standardchronologie (Fläche 3): (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 16: Langjährige mittlere monatliche Niederschlagssummen im Jahresverlauf: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 17: Mitteltemperaturen der Monate Mai, Juni und Juli: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 18: Mitteltemperaturen der Monate Mai, Juni und Juli: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 19: Fichtenchronologien der vier Versuchsflächen (Fl 1 – Fl 4) sowie der abgestorbenen Fichten (Ft): (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 20: Belegung (= Stichprobenanzahl) der Fichtenchronologie: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 21: Standardchronologien der vier Versuchsflächen und der abgestorbenen datierten Fichten: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 22: Residualchronologien der vier Versuchsflächen sowie der abgestorbenen Fichten: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 23: Jahrringbreitenreihen absolut datierter abgestorbener Fichten und deren Mittelkurve: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 24: Jahrringbreitenreihen unsicher datierter abgestorbener Fichten: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 25: Jahrringbreitenreihen einzelner Bergahornbäume der Fläche 1: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 26: Jahrringbreitenreihen einzelner Bergahornbäume der Fläche 2: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abbildungen

Abb. 27: Jahrringbreitenreihen einzelner Bergahornbäume der Fläche 3: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 28: Mittlerer radialer Wachstumsverlauf der Bergahornbäume der Fläche 1 – 3: (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 29: Residualchronologien der vier Versuchsflächen sowie der abgestorbenen Fichten und Temperaturanomalien: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 30: Vergleich der Residualchronologien (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 31: Höchste Tagesniederschlagssummen in Scharnitz im Zeitraum 1900 – 2005: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 32: Jahresniederschlagssummen in Scharnitz im Zeitraum 1895 – 2005: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 33: Niederschlagssummen in den Monaten Mai – August in Scharnitz im Zeitraum 1896 – 2005: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 34: Prozentuelle Abweichung der Monatsniederschlagssummen: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 35: Vergleich der Residualchronologien: (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 36: Vergleich der Residualchronologien (Grafik: Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Abb. 37: Luftbild (1996): (Luftbild: Amt der Tiroler Landesregierung – Umweltschutz tiris)

Abb. 38: Luftbild (2005): (Luftbild verändert: Amt der Tiroler Landesregierung – Umweltschutz tiris)

Abb. 39: Überschotterter Bergahorn (Photo: Zangerle Peter 2006)

Abb. 40: Jahrringreihen von zwei absolut datierten abgestorbenen Fichten (Grafik: Zangerle Peter 2006)

Abb. 41: Vergleich der Wachstumszeitreihen von Fichte und Bergahorn (Grafik: Zangerle Peter 2007)

Abb. 42: Hinweis auf Bestandesauflichtung und Verjüngung in Wachstumsreihen verschiedener Fichtenaltersklassen (Grafik: Zangerle Peter 2007)

Abb. 43: Bild im Lebenslauf (Foto: Walter Oberhuber)

Tabellen

Tab. 1: Standortcharakteristika des Untersuchungsgebietes: (Zangerle Peter 2006)

Tab. 2: Signifikanz: (Zangerle Peter 2006)

Tab. 3: Charakteristika der Fichten- (A) und Bergahornchronologien (B): (Zangerle Peter 2006)

Tab. 4: Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Fichtenchronologien der vier Untersuchungsstandorte (Fl 1 – Fl 4) und der abgestorbenen Fichten (Ft): (Zangerle Peter 2006)

Tab. 5: Vergleichschronologien im Alpenraum: (Zangerle Peter 2006, Daten: Walter Oberhuber)

Tab. 6: Synchronisierungskennziffern abgestorbener Fichten: (Zangerle Peter 2006)

Tab. 7: Bergahornproben: (Zangerle Peter 2006)

Tab. 8: Zusammenfassung der statistisch signifikanten Pearson Korrelationsfunktionen der Monatsmitteltemperaturen im Raum Scharnitz mit den Residualchronologien der 4 Versuchsflächen und der abgestorbenen Fichten: (Zangerle Peter 2006)

Tab. 9: Pearsonkorrelation der zwischen Temperaturen der Klimastationen Innsbruck und Scharnitz im Zeitraum 1963 – 2003: (Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Tab. 10: Niederschlagsreiche Jahre, Monate bzw. Tage: (Zangerle Peter 2006, Daten: Hydrographischer Dienst Tirol)

Anhang

Variable	Correlations (Klimadaten_Schornitzsar)				
	FL1_2Res	FL2_2Res	FL3_2Res	FL4_2Res	F230TRes
T_J	-.1864	-.1790	-.1722	.1368	-.1175
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.231	p=.251	p=.270	p=.382	p=.464
T_F	-.1446	-.3488	-.2369	-.0908	-.4163
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.355	p=.022	p=.126	p=.563	p=.007
T_M	-.2958	-.1331	-.0692	.1104	-.0943
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.054	p=.395	p=.659	p=.481	p=.557
T_A	.2788	.3062	.1855	.3032	.2379
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.070	p=.046	p=.234	p=.048	p=.134
T_M	.4521	.1766	.2849	.1751	.3905
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.002	p=.257	p=.064	p=.261	p=.012
T_J	.3411	.4558	.4538	.0555	.2997
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.025	p=.002	p=.002	p=.724	p=.057
T_J	.3391	.3053	.1788	.2624	.2923
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.026	p=.046	p=.251	p=.089	p=.064
T_A	.0730	-.0264	.0580	-.2115	.2567
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.642	p=.866	p=.712	p=.173	p=.105
T_S	.2123	.2383	.2606	.2797	.1193
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.172	p=.124	p=.091	p=.069	p=.457
T_O	.1650	.1023	-.0042	.2464	.1260
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.290	p=.514	p=.979	p=.111	p=.432
T_N	-.0383	.1308	-.0039	-.0189	.0145
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.807	p=.403	p=.980	p=.904	p=.928
T_D	-.1581	-.1544	-.1504	-.0801	-.3170
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.311	p=.323	p=.336	p=.610	p=.043
T_Mv	-.3885	-.1633	-.1198	-.0562	-.2069
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.011	p=.302	p=.450	p=.724	p=.200
T_Jv	-.0396	.1902	.0802	.1713	.2362
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.804	p=.228	p=.614	p=.278	p=.142
T_Jv	-.0561	.0373	-.2037	-.0461	-.0927
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.724	p=.815	p=.196	p=.772	p=.569
T_Av	.0151	.1285	.0713	-.0593	-.0522
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.924	p=.417	p=.654	p=.709	p=.749

Variable	Correlations (Klimadaten_ScharnitzIsar)				
	Marked correlations are significant at $p < .05000$				
	FL1_2Res	FL2_2Res	FL3_2Res	FL4_2Res	F230TRes
T_Sv	.1942	.0134	-.0740	.1520	.0935
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.218	p=.933	p=.641	p=.337	p=.566
T_Ov	-.2481	.1046	-.0969	.3308	-.0355
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.113	p=.510	p=.541	p=.032	p=.828
T_Nv	.1218	.2669	.2757	.3750	.2399
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.442	p=.087	p=.077	p=.014	p=.136
T_Dv	-.1915	-.1080	-.0698	.1566	.2257
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.224	p=.496	p=.660	p=.322	p=.161
T_Fr	.1921	.1646	.2067	.3297	.2728
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.217	p=.292	p=.184	p=.031	p=.084
T_So	.3928	.3894	.3614	.0681	.4287
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.009	p=.010	p=.017	p=.664	p=.005
T_Her	.1830	.2575	.1299	.2762	.1416
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.240	p=.096	p=.407	p=.073	p=.377
T_Mai_Jun	.4937	.3835	.4522	.1459	.4312
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.001	p=.011	p=.002	p=.351	p=.005
T_Mai_Juli	.5639	.4581	.4537	.2440	.4919
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.000	p=.002	p=.002	p=.115	p=.001
T_Jun_Jul	.4675	.5237	.4357	.2178	.4088
	N=43	N=43	N=43	N=43	N=41
	p=.002	p=.000	p=.003	p=.161	p=.008
T_Mai_Junvj	-.2778	.0051	-.0313	.0641	-.0194
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.075	p=.974	p=.844	p=.687	p=.906
T_Mai_Julivj	-.2530	.0222	-.1241	.0298	-.0652
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.106	p=.889	p=.434	p=.851	p=.690
T_Jun_Julvj	-.0661	.1564	-.0865	.0856	.0785
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.677	p=.322	p=.586	p=.590	p=.630
T_Frv	-.1753	-.0809	-.1466	-.1161	-.0614
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.267	p=.611	p=.354	p=.464	p=.707
T_Sov	-.0430	.1781	-.0323	.0372	.0367
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.787	p=.259	p=.839	p=.815	p=.822
T_Herv	.0262	.2200	.0637	.4835	.1657
	N=42	N=42	N=42	N=42	N=40
	p=.869	p=.162	p=.688	p=.001	p=.307

Variable	Correlations (Klimadaten_ScharnitzIsar)				
	Marked correlations are significant at $p < .05000$				
	FL1_2Res	FL2_2Res	FL3_2Res	FL4_2Res	F230TRes
NS_J	-.1209	.0001	.0127	.0632	-.0820
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.208	p=.999	p=.895	p=.512	p=.399
NS_F	.0545	-.0479	-.0645	-.0152	-.0342
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.572	p=.619	p=.503	p=.875	p=.725
NS_M	.1023	-.0534	.0056	.0637	-.0572
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.287	p=.579	p=.954	p=.509	p=.556
NS_A	-.0241	.0330	-.0761	-.0228	-.1717
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.803	p=.732	p=.429	p=.813	p=.076
NS_M	-.1726	-.0531	-.0642	.0222	-.1057
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.071	p=.582	p=.505	p=.818	p=.276
NS_J	-.1300	-.1763	-.2744	-.1558	-.0421
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.176	p=.065	p=.004	p=.104	p=.665
NS_J	-.0122	.0565	.0638	.0345	-.0959
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.899	p=.558	p=.508	p=.720	p=.324
NS_A	.1008	.0519	-.0184	-.0815	.0891
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.295	p=.590	p=.849	p=.397	p=.359
NS_S	-.0775	.0909	.0038	-.0266	-.0553
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.421	p=.345	p=.968	p=.782	p=.570
NS_O	-.0782	-.1126	.0117	-.1494	.0082
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.417	p=.242	p=.903	p=.119	p=.933
NS_N	.1083	-.0502	.1157	-.0068	.1118
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.260	p=.602	p=.229	p=.944	p=.249
NS_D	-.1218	-.0679	-.0047	.1067	-.0202
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.205	p=.481	p=.961	p=.267	p=.835
NS_Mai-Jun	-.2181	-.1618	-.2381	-.0919	-.1074
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.022	p=.091	p=.012	p=.340	p=.268
NS_Mai_Jul	-.1838	-.0945	-.1514	-.0521	-.1472
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.055	p=.326	p=.114	p=.589	p=.128
NS_Jun_Jul	-.0970	-.0755	-.1359	-.0785	-.1008
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.314	p=.433	p=.157	p=.415	p=.299
NS_Fr	-.0597	-.0499	-.0759	.0416	-.1893
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.536	p=.605	p=.431	p=.666	p=.050

Variable	Correlations (Klimadaten_Scharnitzlsar)				
	Marked correlations are significant at $p < .05000$				
	FL1_2Res	FL2_2Res	FL3_2Res	FL4_2Res	F230TRes
NS_So	-.0099	-.0248	-.1171	-.1135	-.0218
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.919	p=.797	p=.223	p=.238	p=.823
NS_Her	-.0243	-.0367	.0693	-.0951	.0344
	N=110	N=110	N=110	N=110	N=108
	p=.801	p=.704	p=.472	p=.323	p=.723
NS_Mai-Junvj	.0126	-.0540	-.1092	-.1211	-.0860
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.897	p=.577	p=.258	p=.210	p=.378
NS_Mai_Julvj	.1657	.0223	.0263	.0434	-.0090
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.085	p=.818	p=.786	p=.654	p=.927
NS_Jun_Julvj	.1065	.0455	.0613	.1074	-.0311
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.271	p=.639	p=.527	p=.266	p=.751
NS_Frv	.0361	-.0510	-.0100	-.0767	.0350
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.709	p=.599	p=.918	p=.428	p=.720
NS_Sov	-.0095	-.0663	-.0629	-.0246	-.0014
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.922	p=.493	p=.516	p=.800	p=.989
NS_Herv	-.1714	-.0625	-.0069	-.0065	-.0125
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.075	p=.519	p=.943	p=.947	p=.899
NS_Mv	.1289	-.0260	-.0414	-.0768	.0282
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.182	p=.789	p=.669	p=.427	p=.773
NS_Jv	-.1200	-.0502	-.1135	-.0928	-.1544
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.214	p=.604	p=.240	p=.337	p=.112
NS_Jv	.2468	.1045	.1815	.2239	.0960
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.010	p=.280	p=.059	p=.019	p=.325
NS_Av	-.1447	-.1586	-.1726	-.1693	.0359
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.133	p=.100	p=.073	p=.078	p=.714
NS_Sv	-.1297	-.0528	.0378	.0881	.0530
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.179	p=.585	p=.696	p=.362	p=.587
NS_Ov	-.1449	.0041	-.0054	-.0936	-.0603
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.133	p=.966	p=.956	p=.333	p=.537
NS_Nv	-.0506	-.0684	-.0455	-.0089	-.0191
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.601	p=.480	p=.639	p=.927	p=.845
NS_Dv	.1431	.1116	.0159	.0865	.0200
	N=109	N=109	N=109	N=109	N=107
	p=.138	p=.248	p=.870	p=.371	p=.838

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Peter Zangerle
Geboren: 28.07.1978 in Innsbruck
Zivilstand: ledig
Vater: Dr. Heinrich Zangerle, Kinderpsychologe
Mutter: Beate (geb. Raffl) Zangerle, Volksschullehrerin
Geschwister: Dr. Andreas Zangerle, Arzt



Bis 1980 Wohnhaft in Innsbruck

Von 1981 bis 1986 in Völs

VS Völs 1984 bis 1986

Ab 1986 Wohnhaft in Grinzens

VS Grinzens 1986 bis 1988

1989 ÜHS Pädagogische Akademie in Innsbruck

1993 Oberstufenrealgymnasium Fallmerayerstr. Innsbruck

1997 Juni: Matura

1997 Bundesheer: Einjährig Freiwilliger

1998 Wohnhaft in Innsbruck

1998 Studium an der Pädagogischen Akademie des Bundes in Tirol

2000 Studienabschluss: Lehramtsprüfung Pädagogische Akademie

2001 Okt: Bakkalaureatsstudium, Biologie (Leopold Franzens Universität in Innsbruck)

2004 Studienabschluss: Bakkalaureat

2004 Okt: Magisterstudium, Ökologie (Leopold Franzens Universität in Innsbruck)

2006 Diplomarbeit im Bereich Dendroökologie