

Diplomarbeit von Frank Krumm

**Einfluss von extremen Warmjahren auf das
Dickenwachstum von Lärchen (*Larix decidua* MILL.) und
Arven (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze**



Angefertigt am Eidgenössischen Institut für Lawinenforschung (SLF) in Davos, und am Institut für Waldwachstum (IWW) in Freiburg i. Breisgau

Referent: Prof. Dr. H. Spiecker (IWW) Freiburg i. Br.
Koreferent: Prof. Dr. Albert Reif Inst. Für Waldbau, Abt.
Vegetationskunde Freiburg i. Br.

Betreuung in Davos: Dr. Andrea Corina Mayer, Dr. Peter Bebi
Betreuung in Freiburg: Prof. Dr. H. Spiecker

Dezember 2004

DANKSAGUNG

Mein Dank gilt vor allem Herrn Prof. H. Spiecker (Inst. Für Waldwachstum, Freiburg) für die Übernahme des Referats, für das Eingehen auf meine eigenen Vorschläge und für das Einbringen konstruktiver Kritiken und Ideen.

Für die Übernahme des Koreferats bedanke ich mich bei Herrn Prof. A. Reif (Inst. für Waldbau, Abteilung Vegetationskunde, Freiburg).

Weiterhin bedanken möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Instituts für Waldwachstum in Freiburg, im besonderen bei Clemens Koch und Felix Baab, für die kompetente Betreuung im Labor und für eine schöne Zeit, die ich dort verbringen durfte.

Besonders bedanken möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Instituts für Lawinenforschung (SLF) in Davos für eine unvergessliche Zeit, die ich dort erleben durfte.

Einen ganz speziellen Dank richte ich dabei an Dr. Peter Bebi für die vielfältige Unterstützung, die vielen Diskussionen und für eine äußerst angenehme Zusammenarbeit.

Ein weiteres herzliches Dankeschön geht an Dr. Andrea Corina Mayer für die Betreuung meiner Diplomarbeit während meiner Zeit in Davos und für die vielen nützlichen Anregungen und Lösungsvorschlägen.

Für statistisches Fachwissen und moralische Unterstützung bedanke ich mich bei Alejandro Casteller, Sonja Wipf und Anja Rammig.

Weiterhin möchte ich meinen Studienkameraden Tobi Möller, Max Gewecke und Gerhard Kuske für das gemeinsame Studium, und die Durchsicht des Manuskripts danken.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Eltern dafür bedanken, dass Sie mir dieses Studium ermöglicht haben und mich in allen Lebenslagen unterstützt haben. Auch meinem Bruder Thomas sei hier gedankt, für die Durchsicht des Manuskripts und für die moralische Unterstützung in jeder Hinsicht.

Zu guter Letzt bedanke ich mich von Herzen bei meiner Freundin Renat, die mich immer bedingungslos unterstützt hat!

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	1
Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	3
1.2. Dendroökologie	4
1.2.1. Dendrochronologie.....	5
1.2.2. Dendroklimatologie	6
1.2.3. Reaktionsholz	6
1.2. Bemerkungen zur Höhengrenze des Waldes.....	7
1.3. Bemerkungen zum Lärchenwickler (<i>Zeiraphera diniana Gn.</i>).....	8
1.4. Ziele der Arbeit.....	10
1.6. Hypothesen	11
2. Das Untersuchungsgebiet	12
2.1. Geographische Lage.....	12
2.2. Klima	15
2.3. Geologie und Böden	16
2.4. Vegetation	16
3. Material und Methoden	20
3.1. Kriterien zur Bestimmung des Probekollektivs	21
3.2. Biologie und Verbreitung der Lärche (<i>Larix decidua</i>)	22
3.3. Biologie und Verbreitung der Arve (<i>Pinus cembra</i>) 24_Toc91263776	
3.3.1. Lebensgemeinschaft Arve und Tannenhäher	27
3.4. Entnahme der Bohrkerne	28
3.5. Analyse der Bohrkerne.....	30
3.6. Synchronisation.....	32
3.6. Vegetationsaufnahmen	33
3.7. Klimadaten	34

3.8. Statistische Auswertung	34
4. Ergebnisse	35
4.1. Analyse der Klimawerte	35_Toc91263786
4.2. Jahrringdaten	41
4.2.1. Vergleich Jahrringzuwachs von Extremjahren	42
4.2.1.1. Vergleich Jahre 2003/2002/2001	42
4.2.1.2. Vergleich Jahre 1994/1993/1992	43
4.2.1.3. Vergleiche Jahr 1983/1982/1981	45
4.2.1.4. Vergleiche Jahr 1976/1975/1974	46
4.2.1.5. Vergleiche Jahr 1952/1951/1950	47
4.2.1.6. Vergleiche Jahr 1947/1946/1945	48
4.3. Vergleich von Jahrringbreiten an verschiedenen Expositionen	49
4.4. Direkter Vergleich des Extremjahres 2003 mit anderen Extremjahren	50
4.5. Vergleich der Jahrringbreiten beider Baumarten	53
4.6. Betrachtung der mikrostandörtlichen Verhältnisse und deren Einflüsse auf das Jahrringbreitenwachstum	55
4.7. Mögliche Prognosen für das Wachstumsverhalten in den folgenden beiden Jahren nach einem Extremereignis, anhand von Vergleichen mit früheren Ereignissen	58
5. Diskussion	64
6. Zusammenfassung	74
7. Literaturverzeichnis	76
ANHANG	81

1. Einleitung

Der Sommer 2003 war in vielen Ländern Mitteleuropas der wärmste Sommer seit Beginn der klimatischen Aufzeichnungen. Der extreme Witterungsverlauf des Jahres 2003 hat auch im Jahrringbild von Bäumen Spuren hinterlassen. Bäume sind standortstreue Lebewesen und in der Lage, sich veränderten Umweltbedingungen anzupassen. Die Reaktionsmuster spiegeln sich unter anderem in der Jahrringbreite wieder. Leidet ein Baum unter Trockenstress, ist eine Verminderung des Dickenwachstums die Folge. Je nach Ausprägung des Ereignisses sind die Folgen, häufig in Form von geringeren Jahrringbreiten, mehrere Jahre im Querschnitt eines Baumes erkennbar (SPIECKER 1987 / SCHWEINGRUBER 1996). Jahrringanalysen sind somit eine passende Methode, um die Auswirkungen extremer Witterungsverhältnisse auf das Wachstum von Jahrringen zu untersuchen.

Die Lufttemperatur ist der entscheidende Faktor, der das Jahrringwachstum an der alpinen Waldgrenze steuert (TRANQUILLINI 1979 / HOLTMEIER 1993). Die jährliche Niederschlagsmenge wirkt sich in subalpinen Wäldern nur an Extremstandorten als wachstumslimitierender Faktor aus (ELLENBERG 1996). Spannend ist die Frage, ob und inwiefern sich der Sommer 2003, mit ungewöhnlich geringen Niederschlägen und sehr heißen Lufttemperaturen, auf das Dickenwachstum von Lärchen (*Larix decidua* MILL.) und Arven (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze hat.

1.2. Dendroökologie

In gemäßigten bis borealen Breiten der nördlichen Hemisphäre zwingen niedrige Wintertemperaturen Bäume zu einer Wachstumsunterbrechung. Diese Unterbrechung ist im axialen Querschnitt als Jahrringgrenze sichtbar. Im Verlaufe einer Vegetationsperiode bildet das den Stamm umgebende Kambium unterschiedliche Holzzellen. Nadelgehölze bestehen vorwiegend aus Tracheiden, die sowohl der Wasserleitung als auch der Stabilisierung dienen. Zu Beginn einer Vegetationsperiode werden weitlumige, sogenannte Frühholzzellen gebildet, welche dünne Zellwände haben und vornehmlich dem Stoff- und Wassertransport dienen. Im Laufe des Sommers werden die Zellwände der neu gebildeten Zellen dicker und die Lumina kleiner. Das Spätholz hat daher eine eher stabilisierende Funktion, dementsprechend sind die Zellwände dicker, das Holz erscheint dunkler (Abb. 1.1.1.). Die Unterschiede in der Helligkeit und Farbe zwischen Frühholz und Spätholz ermöglichen es, die Zuwachszonen einzelner Jahre, also die Jahrringe, voneinander zu unterscheiden (STRASBURGER 1991, LYR et al. 1992, CHERUBINI et al. 2004).

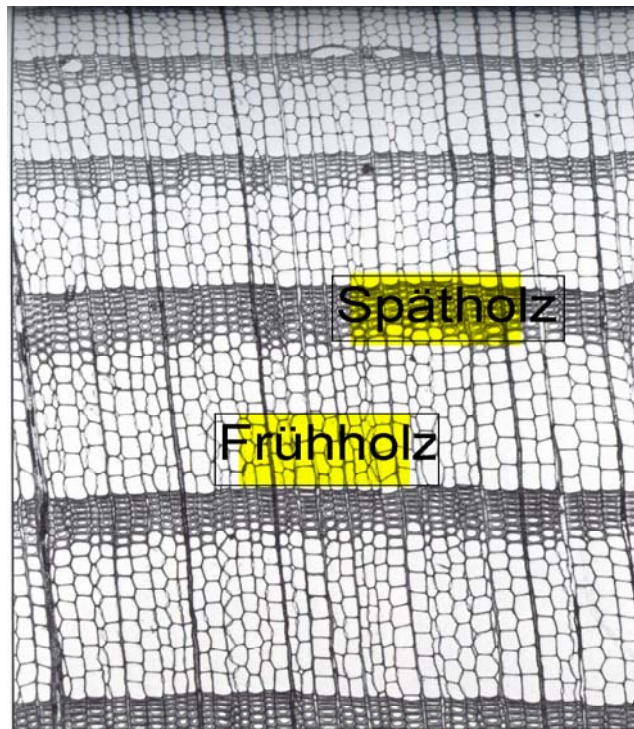


Abb. 1.1.1.: Querschnitt einer Lärche (*Larix decidua* Mill.). Wachstumsverlauf von unten nach oben: Zunächst große Frühholzzellen mit dünnen Zellwänden und großen Lumina, dann kleinere Zellen mit dicken Zellwänden (Spätholz). Jahreswechsel jeweils am abrupten Übergang von Spätholz zu Frühholz (SCHWEINGRUBER 1990).

1.2.1. Dendrochronologie

Die Dendrochronologie ist eine Forschungsdisziplin, die sich mit dem Baumwachstum und dessen Interaktion zur Umwelt in Abhängigkeit von Raum und Zeit beschäftigt (CHERUBINI et al. 2004). Um Jahrringstrukturen und exogene, auf einen Baum einwirkende Faktoren zu determinieren, ist es für viele wissenschaftliche Fragen wichtig, jeden Jahrring einem bestimmten Kalenderjahr zuordnen zu können (CHERUBINI et al. 2004 / SCHWEINGRUBER 1983). Zur Überprüfung einer korrekten Datierung der Jahrringe werden die Jahrringserien synchronisiert (crossdating – Überlappungsverfahren) (SCHWEINGRUBER 1983). Betrachtet man den Querschnitt eines Lärchenstammes (Abb. 1.1.2.), erkennt man deutlich die wechselnde Abfolge von breiten und schmalen Jahrringen. Ähnliche klimatische Variationen wirken sich in großen geographischen Regionen gleich aus, folglich sind auch die Abfolgen von schmalen und breiten Ringen über weite Gebiete ähnlich. Dieser Zusammenhang erlaubt es, die Muster, die sich aus Messserien von Jahrringbreiten verschiedener Bäume ergeben, zu synchronisieren (siehe FRIEDRICH 1997).

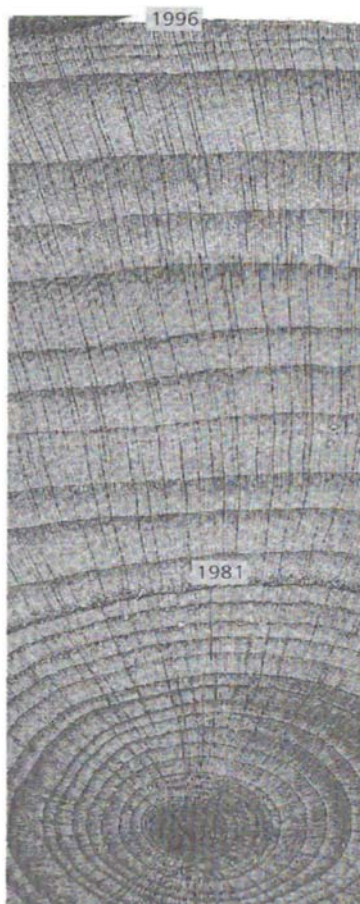
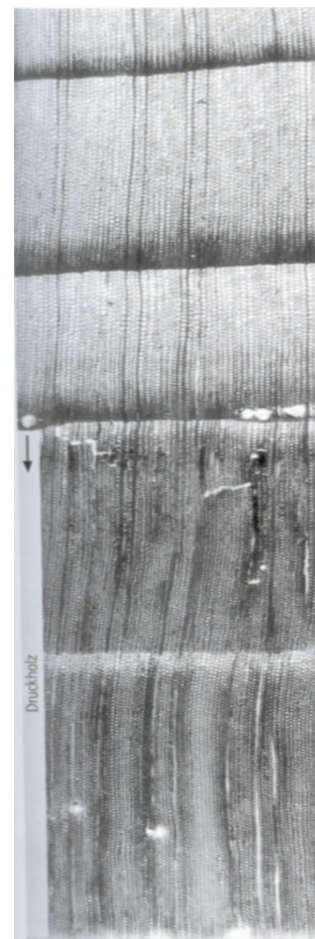


Abb. 1.1.2. links:
Querschnitt einer Lärche.
Durch exogene Einflüsse
bedingte jährliche
Variationen im
Jahrringbild (Foto aus
SCHWEINGRUBER 2001)

Abb. 1.1.3. rechts:
Querschnitt einer Lärche.
Oben normal gewachsene
Jahrringe, unten zwei
Jahrringe mit starker
Druckholzbildung. (Foto
SCHWEINGRUBER 2001)



1.2.2. Dendroklimatologie

Die Identifikation klimatischer Signale im Jahrringbild wird als Dendroklimatologie bezeichnet und ist ein Teilgebiet der Dendroökologie (SCHWEINGRUBER 1996). Der Einfluss des Klimas auf die Jahrringbreite wurde bereits von dem amerikanischen Astronomen Andrew Ellicot Douglass (1867-1961) erkannt. Als Begründer der Dendroklimatologie versuchte Douglass Zusammenhänge zwischen dem Dickenwachstum von Bäumen und dem elfjährigen Zyklus der Sonnenflecken herzustellen (SCHWEINGRUBER 1988). FRITTS (1976) entwickelte verschiedene Techniken, um den Einfluss des Klimas auf die Jahrringbreite herauszufiltern. In seinen statistischen Modellen versuchte er die Erkenntnisse zu berücksichtigen, dass neben der Witterung auch andere Faktoren, wie Mastjahre, Bodenbeschaffenheit, die Konkurrenzsituation im Bestand oder Immissionen einen Einfluss auf die Jahrringbildung haben. Der positive Zusammenhang zwischen den Sommertemperaturen und dem Wachstum bewirkt, dass in kalten Jahren schmale Jahrringe ausgebildet werden und der Zuwachs in wärmeren Jahren breiter ausfällt (SPIECKER 1998 / TRANQUILLINI 1979 / RIGLING et al. 2002).

1.2.3. Reaktionsholz

Reaktionsholz ist ein Richtgewebe des Baumes, welches nach mechanischen Einwirkungen gebildet wird. Bei Nadelgehölzen wird in der Beanspruchung entgegengesetzten Seite vermehrt Lignin in die Zellwände eingelagert. Dadurch entsteht sogenanntes Druckholz (LYR et al. 1992, Abb.1.1.3.). An Hängen müssen Nadelbäume an der Talseite, vor allem am Stammfuß, Druckholz ausbilden, um der Hangabtriebskraft entgegen zu wirken und ein aufrechtes Wachstum zu erreichen (Abb. 1.1.4).

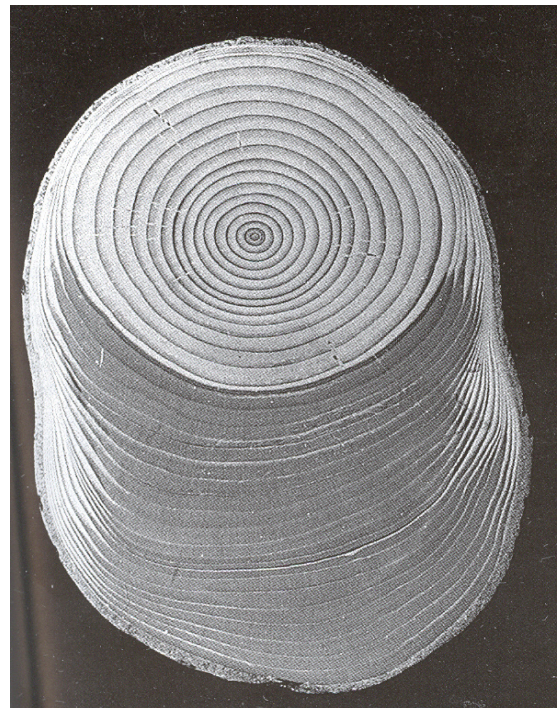


Abb. 1.1.4.: Zunächst konzentrisch gewachsener Stamm der Gattung *Pinus*. Dann starke Druckholzbildung auf der Stammunterseite. (Foto LYR 1992)

Auch Lawinen, Schneedruck, Wind, Murgänge und Menschen oder Tiere können Impulse geben, sodass Bäume Reaktionsholz ausbilden (SCHWEINGRUBER 2001). Die Jahrringe mit Druckholzzonen sind überdurchschnittlich breit, dadurch ergibt sich im Querschnitt ein uneinheitliches Jahrringbild (Abb. 1.1.4.). Bei der Entnahme von Bohrkernen ist dies zu berücksichtigen. Würde man lediglich an einer oder zwei Seiten des Baumes eine Probe entnehmen, könnte die tatsächliche Jahrringbreitenermittlung, je nach Reaktionsholzausbildung im Stamminnern, zu einem falschen Ergebnis führen. Dies sind Faktoren, die auch bei der Interpretation von Jahrringbreiten berücksichtigt werden müssen.

1.2. Bemerkungen zur Höhengrenze des Waldes

Nach ERLBECK et al. (2002) ist die Waldgrenze klimatisch, edaphisch oder orographisch bedingt und bildet mehr oder weniger eine Linie, bis zu der geschlossener Wald vorkommt. Wald wird hier definiert als ein Bestand, der Bäume von mindestens 5 Metern Höhe und einen Kronenschlussgrad von etwa 30 – 40 % aufweist. Die potentielle natürliche Waldgrenze im beprobten Gebiet kann bei etwa 2250 m.ü.M. angenommen werden. Vermutlich hat hauptsächlich die Beweidung durch Vieh die Waldgrenze auf das heutige Niveau verdrängt (BLASER 1980). Die Baumgrenze wird definiert als Linie, bis zu der noch Bäume von mindestens 2 Metern Höhe vorkommen. Die Baumgrenze im Untersuchungsgebiet liegt etwa bei 2350 – 2400 m.ü.M. (ERLBECK et al. 2002). Nach JEFFREE und JEFFREE (1994) gibt es eine lebenskritische Temperatur, die das Überleben eines Organismus limitiert und somit auch die Höhe der Baumgrenze beeinflusst (TRANQUILLINI 1979, HOLTMEIER 1993). Waldgrenzstandorte lassen prinzipiell deutlichere Klimasignale erwarten als sogenannte „Normalstandorte“ (ESPER et al. 2004). Nach LAMARCHE (1974) reagieren Jahrringbreiten an Grenzstandorten stärker auf klimatische Einflüsse als auf „Normalstandorten“. Die Wald- und die Baumgrenze steigen mit dem Grad der Kontinentalität an, da die Strahlungsintensität größer wird. Dadurch wird die Photosyntheseleistung erhöht, alle Gewebearten können sich vollständig ausdifferenzieren. Die Intensität der Schäden durch Frosttrocknis und Spätfrostereignisse nimmt ab, da intakte Cuticularschichten ausgebildet werden können (LANGE & SCHULZE 1966).

1.3. Bemerkungen zum Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* Gn.)

Der Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* Gn., *Lepidoptera*, *Tortricidae*) tritt vor allem in der subalpinen Höhenstufe der Alpen in Lärchen- Arvenwäldern (*Larici-Pinetum cembrae*) auf, die oberhalb von 1800m.ü.M., vorzugsweise an Südhängen, gelegen sind. Dabei unterscheidet man zwei Unterarten des Lärchenwicklers. Eine gräulich-schwarze Art ist auf Lärchennadeln spezialisiert, eine andere hellere Art befällt Fichten und Arven (WEBER 1999) (Abb. 1.3.1.).



Abb. 1.3.1.: links: Ein dämmerungsaktiver adulter Lärchenwickler



rechts: Larve in einem Gespinst an einem Lärchenzweig. (Fotos BALTENSWEILER)

Nach einem Massenbefall der Lärchen treiben diese, je nach Befallszeitpunkt, im Spätsommer noch einmal aus, bilden jedoch härtere und kürzere Nadeln mit einem erhöhten Rohfasergehalt. Die folgende Generation der auf Lärchen spezialisierten Wicklerart muss auf andere Wirtsbäume ausweichen, bis die Population aufgrund mangelnden Nahrungsangebots zusammenbricht. Die etwas robustere, auf immergrüne Nadeln spezialisierte Unterart ist nun deutlich in der Überzahl, bis die Lärchen wieder beginnen „normale“ Nadeln zu bilden (BALTENSWEILER et al. 1977). Die auf Lärchennadeln spezialisierte Wicklerart erholt sich und der Zyklus beginnt von vorne. Im Gegensatz zur Lärche sterben immergrüne Nadelbäume infolge eines starken Befalls durch die Insekten ab. Das ist ein Grund, warum sich die Lärche gegen die Klimax-Baumart Arve in dieser Höhenstufe behaupten kann (BALTENSWEILER & RUBLI 1984). Nach WEBER 1997 (TAB. 1.3.1.) tritt der Zyklus des Lärchenwicklers, bis auf wenige Ausnahmen, mit grosser Konstanz alle 8,58 Jahre auf. Eine Lärche, deren gesamte Krone kahlgefressen wurde, lässt das Wachstum zum Stillstand kommen (GEER 1975). Bis zu fünf Jahre nach einem massiven Befall ist die Beeinträchtigung des Dickenzuwachses im Jahrringbild einer

Lärche erkennbar (WEBER 1997) (Abb.1.3.2.). Für die vorliegende Arbeit ist es deshalb wichtig, den Zyklus des Lärchenwicklers zu kennen, um Auswirkungen eines Befalls von klimatischen Signalen unterscheiden und herausfiltern zu können. Der letzte Ausbruch fand im Jahr 1990 statt und ist, aufgrund für die Lärchenwickler ungünstiger Witterungsbedingungen in drei aufeinanderfolgenden Jahren, zu Ende gegangen, ohne grössere Schäden zu hinterlassen. Seither fand kein Ausbruch mehr statt. Dies könnte an den relativ milden Wintern der letzten Jahre liegen, was ungünstige Bedingungen für die Fortpflanzung des Lärchenwicklers darstellt (BALTENSWEILER 1993).

Tab. 1.3.1.: Gradationen des Lärchenwicklers nach WEBER (1997). Ausbrüche in diesem Zeitraum, mit großer Konstanz, durchschnittlich alle 8.58 Jahre.

1902	1912	1919	1926	1936	1945	1953	1963	1972	1982
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

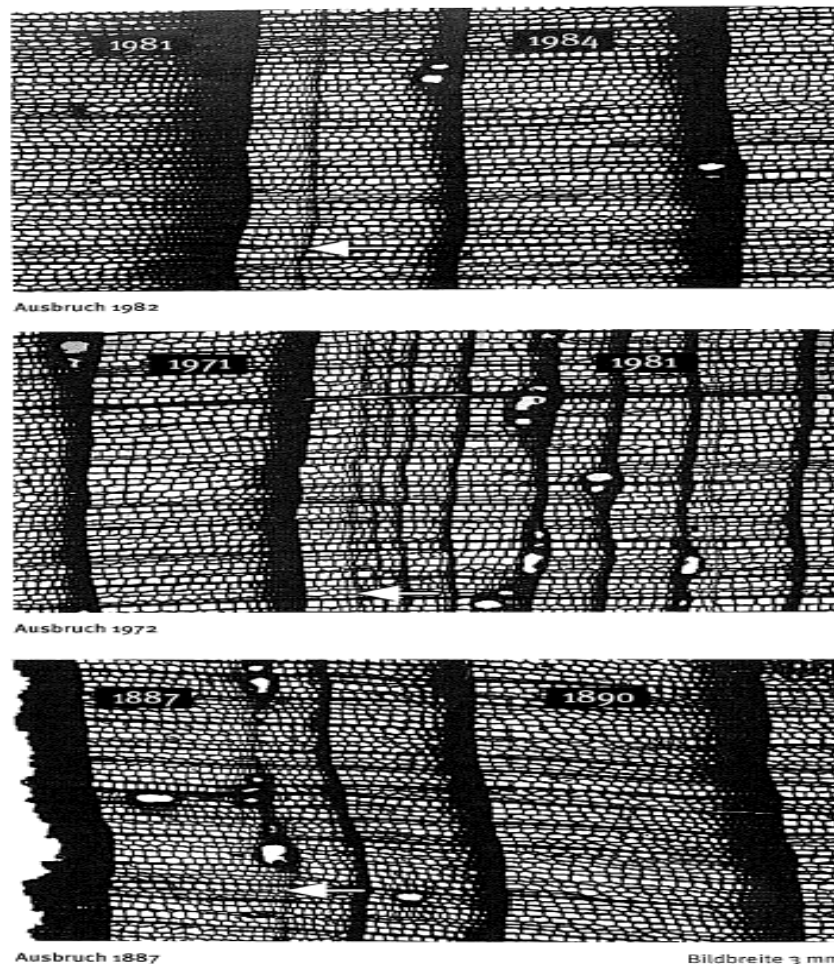


Abb. 1.3.2.: Lärchenwicklergradation. Weiße Pfeile signalisieren jeweils eine Lärchenwicklergradation. In den jeweiligen Ausbruchsjahren erkennt man das abrupte Ende des Jahrringwachstums im betroffenen Jahr. Oberes Bild Ausbruchsjahr 1982, mittleres Bild Ausbruch im Jahre 1972 mit deutlicher Wachstumsverringderung in den Folgejahren. Im unteren Bild fand der Ausbruch gegen Ende des Jahres 1887 statt (Foto aus SCHWEINGRUBER 1990).

1.4. Ziele der Arbeit

1. Ein Ziel ist es herauszufinden, ob und inwiefern sich ein Sommer wie 2003 im Jahrringbild von Lärchen (*Larix decidua* MILL.) und Arven (*Pinus cembra* L.) an der alpinen Waldgrenze niederschlägt. Dabei ergibt sich die Frage, inwieweit Bäume in diesen Höhenlagen in Jahren mit extremen Witterungsbedingungen an Trockenstress leiden.
2. Ein weiteres Ziel besteht darin zwei unterschiedliche Expositionen miteinander zu vergleichen. Ein Nordosthang (NO – Hang) und ein Südwesthang (SW – Hang) mit wesentlich längerer Sonnenscheindauer.
3. Des Weiteren sollen die Baumarten, Lärchen und Arven, bezüglich Ihrer spezifischen Reaktionen, hinsichtlich ihrer physiologischen Unterschiede auf die jeweiligen Bedingungen, miteinander verglichen werden.
4. Die mikrostandörtlichen Bedingungen der untersuchten Bäume gilt es zu erfassen und mit dem jeweiligen Jahrringwachstum in Zusammenhang zu bringen.
5. Ein letztes Ziel besteht darin, eine Einschätzung für das Jahrringbreitenwachstum in den Folgenden beiden Jahre nach einem Extremjahr abgeben zu können.

Mit diesen Zielsetzungen sind folgende Hypothesen verbunden:

1.6. Hypothesen

1. Lärchen und Arven an der alpinen Waldgrenze reagieren auf Trockenheit und extrem hohe Lufttemperaturen mit einem verringerten Dickenwuchs, ähnlich den Bäumen in tieferen Lagen.
2. Aufgrund der stärkeren und längeren Sonneneinstrahlung am Südwesthang wird erwartet, dass dort der Dickenzuwachs in „normalen“ Jahren größer ist als am Nordosthang. Im Jahr 2003 ist hingegen zu erwarten, dass der relative Zuwachs aufgrund der geringen Niederschlagsmenge und der, durch die stärkere Einstrahlung bedingten früheren Ausaperung, geringer ist als am Nordosthang.
3. Die Bäume zeigen im Extremjahr 2003 eine ähnliche Reaktion im Jahrringbild wie in früheren Jahren, mit vergleichbaren extremen klimatischen Ereignissen.
4. Lärchen und Arven zeigen unterschiedliche Reaktionen, bedingt durch physiologische und biologische Unterschiede.
5. Durch die Topografie bedingt gibt es zahlreiche Standorte mit unterschiedlichen mikroklimatischen Verhältnissen. Bäume in Runsenstandorten sind im Allgemeinen besser mit Wasser versorgt als Bäume auf Rippenstandorten. In Runsen ist die Ausaperung durch Faktoren wie Lawinenschnee, Windverfrachtung oder geringere Sonneneinstrahlung gegenüber den Rippenstandorten verzögert. Im Frühjahr steht den Pflanzen in Runsenstandorten länger Schmelzwasser zur Verfügung.
6. Da die Jahrringzuwächse in Jahren nach Extremereignissen einen typischen Verlauf aufweisen, kann für die Jahrringzuwächse der Folgejahre des Extremsommers 2003, also in den nachfolgenden Jahren, eine Prognose aufgestellt werden.

2. Das Untersuchungsgebiet

Die im Folgenden beschriebenen Standorte eignen sich optimal, um die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit zu untersuchen. Um Dendroklimatologische Aussagen zu treffen, eignen sich Beobachtungen aus ökologisch extremen Lagen, weil in solchen Gebieten entweder die Temperatur oder die Niederschläge das kambiale Wachstum begrenzen (KIENAST 1987). Ein weiterer wichtiger Grund, für die Auswahl des Untersuchungsgebietes war die Vielzahl der Forschungsarbeiten, die bereits in diesem alpinen Tal durchgeführt wurden.

2.1. Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Osten der Schweiz, im Kanton Graubünden, nahe Davos. (Abb.2.1.). Die flächenmässig zweitgrösste Gemeinde der Schweiz (253 km²), liegt auf einer mittleren Höhe von 1500 – 1600 m.ü.M.. Der Hauptort der Landschaft Davos, so der offizielle Begriff für die politische Gemeinde, ist die städtische Siedlung Davos mit nahezu 12000 Einwohnern (Davos-Dorf und Davos-Platz). Das Landwassertal, Haupttal der Landschaft Davos, ist ein flachsohliges alpines Längstal, welches sich von Nordost nach Südwest erstreckt. Von diesem Haupttal Zweigen die Seitentäler Flüela-, Dischma- und Sertigtal ab.

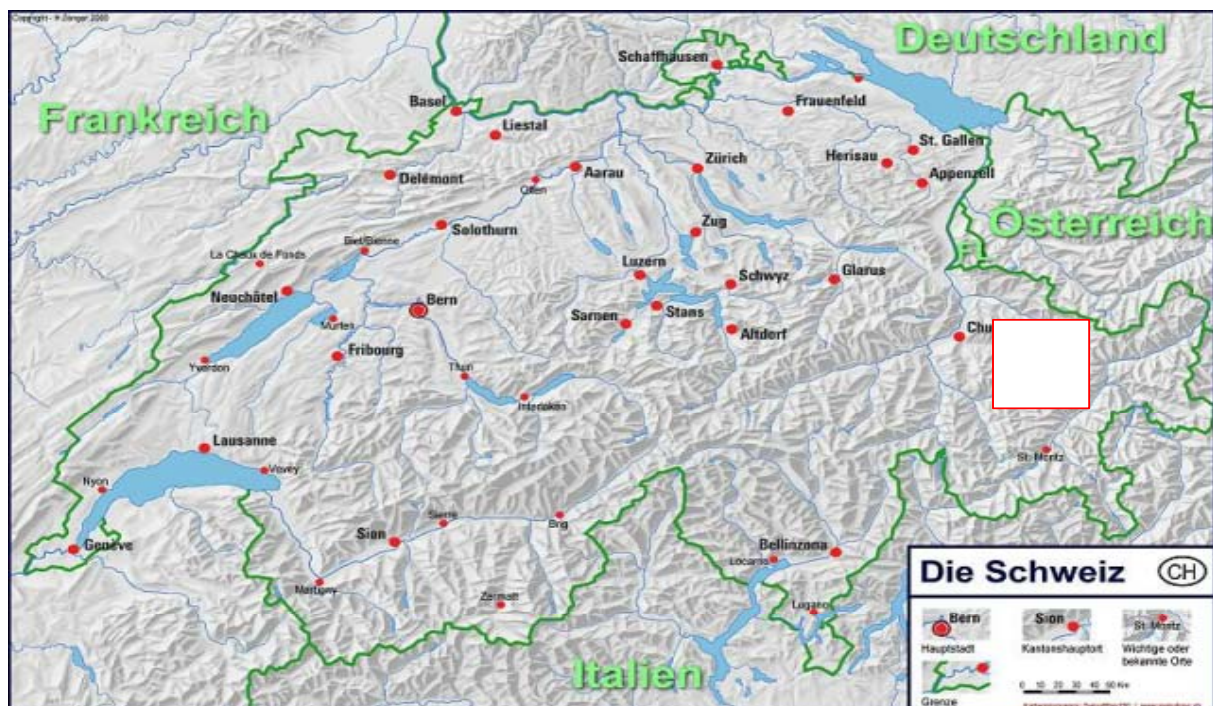


Abb. 2.1.: Übersichtskarte der Schweiz. Rotes Kästchen am rechten Bildrand: Landschaft Davos. (Karte: swissinfo-geo.org)

Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsflächen liegen im Dischmatal, das sich über etwa 14 Kilometer Länge, in nordwestlicher Richtung vom Scalettapass, einem Übergang ins Engadin, bis zur Einmündung in das Landwassertal bei Davos, erstreckt (Abb.2.2.).

Die Proben wurden an einem Nordosthang, bei der Stillbergalp, und an einem Südwesthang, oberhalb der Luckschalp, genommen (**Koordinaten:** Stillberg 09°52'E 46°47'N; Lucksalp 09°53,5'E 46°47'N).

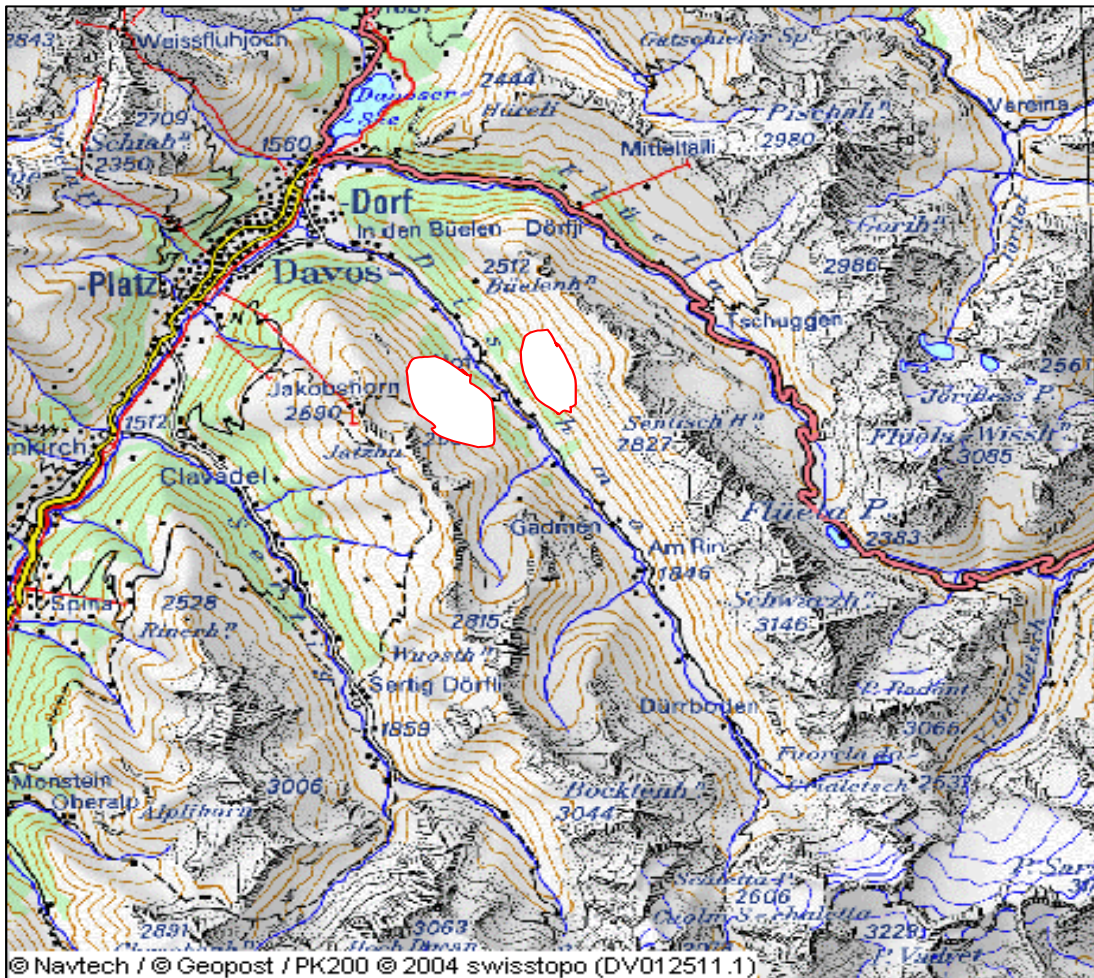


Abbildung 2.2.: Die Untersuchungsgebiete liegen im Bereich der rot umrandeten Flächen in der Bildmitte, Südwesthang unterhalb (linke Fläche), Nordosthang oberhalb des Dischmabaches (rechte Fläche). (Kartenausschnitt www.swissinfo-geo.org)



Abb.2.3.: Luftbild des Untersuchungsraumes Nordosthang "Stillberg". Rot umrandete Fläche = Untersuchungsgebiet. Weiter unten im Bild Jatzhorn, darüber das Jakobshorn. Foto aus dem Archiv des SLF, hergestellt von Swisstopo.

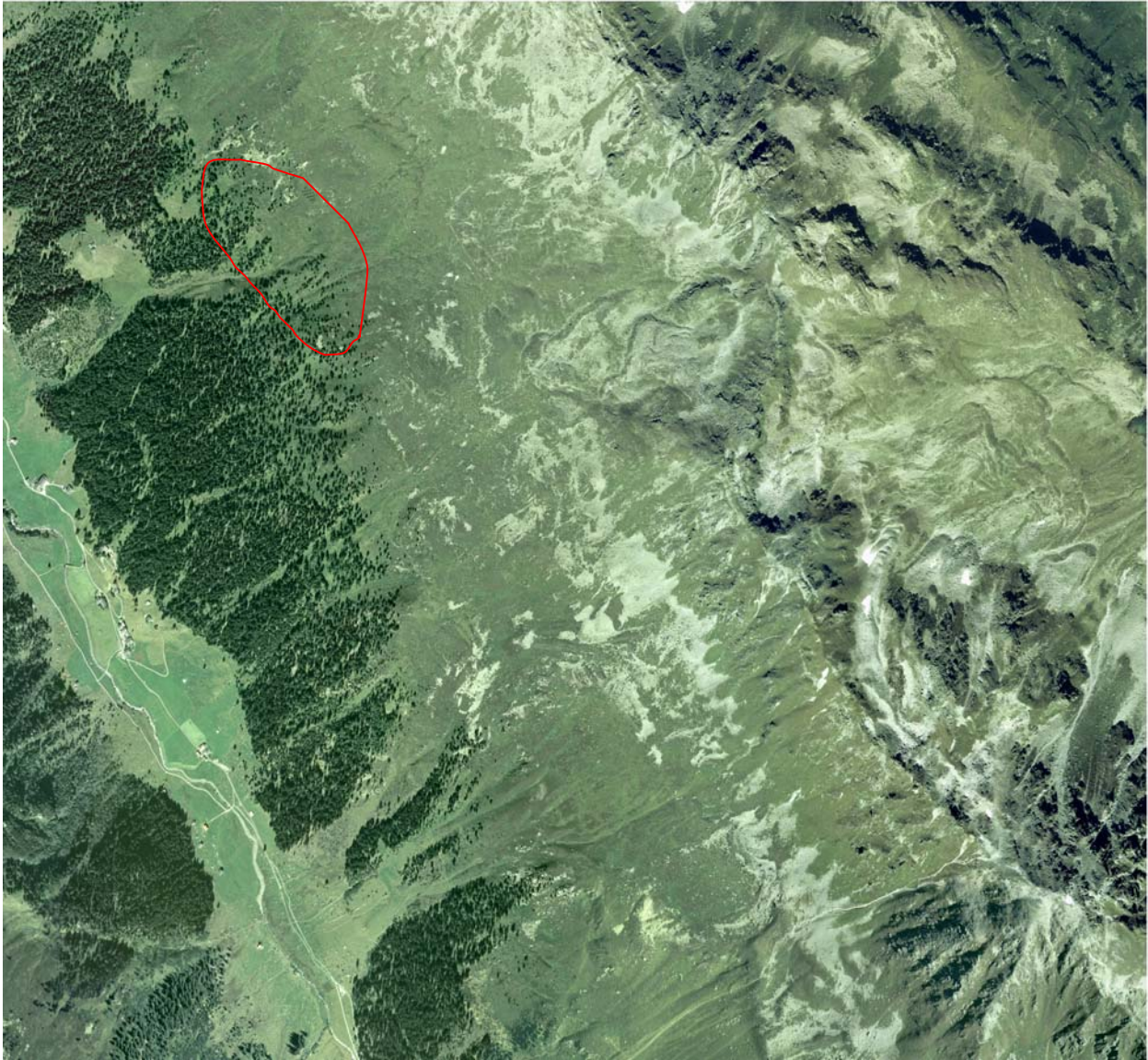


Abb. 2.4.: Luftbild Südwesthang des Untersuchungsareal. Rot umrandete Fläche = Untersuchungsgebiet. Bildmitte Sentischhorn. Foto aus dem Archiv des SLF, hergestellt von Swisstopo.

2.2. Klima

Das Dischmatal liegt im Bereich der gebirgskontinentalen Hochalpen, das heisst, das Klima ist gemässigt zentralalpin bis kontinental. Der Untersuchungsraum liegt im Übergangsbereich zwischen den feuchten nördlichen Randalpen und den trockenen Zentralalpen (ZINGG 1961).

Klimadaten der Klimastation Stillberg (2090 m.ü.M.):

Jahresmitteltemperatur C°:	1.4°C
Jährliche Amplitude der Lufttemperatur:	15.2°C
Mittlere Tages-Lufttemperatur:	im Juli 9.4°C, im Januar –5.8°C
Jährliche Niederschlagssumme mm:	1050 mm (Max. Juli: 131mm)
Mittlere Dauer der Vegetationsperiode: (Mittlere Temperatur > 5°C):	134 Tage
Frosttage:	137 Tage pro Jahr
Eistage (Lufttemperatur unter 0°C):	80 Tage pro Jahr

Das Klima ist ganzjährig geprägt von relativ wenigen Niederschlagsmengen, geringer Bewölkung und langer Sonnenscheindauer. Im nahe gelegenen Klosters beispielsweise, gibt es mehr Niederschläge pro Jahr, obwohl Davos 350 m höher liegt.

2.3. Geologie und Böden

Das Dischmatal gehört tektonisch zur Silvrettadecke, einer Deckenscholle, die einer jüngeren Unterlage aufliegt. Orthogneise, Paragneise und Amphibolite sind die dominierenden Gesteine in diesem Gebiet (BLESS 1999). Auf diesen Gesteinen hat sich, bis auf einige Sonderstandorte, wie z.B. vernässte Stellen, ein Eisenhumuspodsol gebildet (BLASER 1980).

An vielen Standorten herrschen ungünstige Bedingungen für den Streuabbau, sodass unterschiedlich mächtige Moder- und Rohhumusformen vorliegen.

2.4. Vegetation

Die untersuchten Gebiete liegen in der subalpinen Stufe, welche die Fettwiesen der Talsohlen, die Waldgesellschaften und die Zwergstrauchheiden einschliesst, und bis etwa an die potentiell natürliche Waldgrenze reicht, die etwa bei 2200-2250 m.ü.M. liegt.

Hierbei sind in den höher gelegenen Wäldern Lärchen (*Larix decidua*) und Arven (*Pinus cembra*) bestandesbildend, während in den tieferen Lagen die Fichte (*Picea abies*) dominiert. Die Zwergstrauchheiden werden an sonnenexponierten Osthängen

von der Besenheide (*Calluna vulgaris*), und dem Wacholder (*Juniperus communis*, bzw. *Juniperus nana*) dominiert, während die schwächer besonnten Nordflanken hauptsächlich mit der Krähenbeere (*Empetrum nigrum*), den Vaccinien (*Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *V. Vitis-idaea*) und der Alpenazalee (*Loiseleuria procumbens*) bewachsen sind. In den Humusreichen Lawinenrutschen findet man vor allem das Wollige Reitgras (*Calamagrostis villosa*) und die typische alpine Hochstaudenflur mit Arten wie dem Alpendost (*Adenostyles ssp.*), dem Alpenmilchlattich (*Cicerbita alpina*) und dem Meisterwurz (*Peucedanum ostruthium*). Die Rostblättrige Alpenrose (*Rhododendrum Ferugineum*) ist hauptsächlich auf Rippenstandorten zu finden. Die Alpenazalee (*Loiseleuria ssp.*) eher an schattigen, kühleren Standorten.

1. Stillberg - Nordosthang

Der Stillberg ist ein nordöstlich exponierter Hang mit einer Neigung von 60-100%.

Geprägt wird das Gebiet durch einen häufigen Wechsel von Lawinenrutschen und Geländerippen. Dadurch entwickelten sich Standorte mit mikroklimatischen Unterschieden und zum Teil scharf voneinander abgegrenzten Pflanzengesellschaften.

Die windig – kühlen, nordost – exponierten Rippenstandorte apert meistens bereits in der ersten Maihälfte aus und beherbergen Windheiden (*Cetrario - Loiseleurietum cladonietosum*) und Beerenheiden (*Empetro – Vaccinietum cetrarietosum*).

Die kühlen, schattigen Nordhänge apert gewöhnlich erst Ende Mai aus. Charakteristisch sind hier Beerenheidengesellschaften (*Empetro – Vaccinietum hylocomietosum*) mit einem hohen Anteil an Moosen.

Die Osthänge sind windgeschützt und werden stark besonnt. Durch die hohe Einstrahlung sind diese Flächen, auf welchen Wacholder – Bärentraubenheiden (*Junipero – Arctostaphyletum*) dominieren, bereits Anfang Mai schneefrei.

In den nordost – exponierten Lawinenrutschen bleibt der Schnee häufig bis in den Juni hinein liegen. Aufgrund des Nährstoffreichtums in den Rutschen bildet das Reitgras (*Calamagrostietum villosae*) eine dichte Vegetationsdecke, die anderen Pflanzen kaum eine Möglichkeit gibt sich durchzusetzen (KUOCH 1970).

Typischerweise ist die obere Waldgrenze in den Alpen vertikal stark zerrissen. Reliefbedingt ist es deshalb kaum möglich, eine allgemein gültige Waldgrenze zu definieren (MATTES 1980). Auf Rippenstandorten sind Bäume bis in Höhen von

2200 m.ü.M. zu finden, während in Runsen bereits auf ca. 2000 m.ü.M. keine Bäume mehr anzutreffen sind.



Abbildung 2.4.1.: Untersuchungsgebiet Stillberg Nordosthang des Dischmatal. Rasterartige Fläche in der oberen Bildhälfte: Hochlagenaufforstung Stillberg. Aus dem Lärchen- Arvenwald darunter wurden die Proben des Nordosthangs entnommen. Foto: F. Krumm (2004)

2. Luckschalp – Südwesthang

Der südwestlich exponierte Hang oberhalb der Luckschalp hat eine Neigung von 60-100%. Nach FREY und SCHÖNENBERGER (1988), gibt es an diesem Südwesthang, ein etwas weniger ausgeprägtes Relief. Bedingt durch eine gleichmäßigere Sonneneinstrahlung gibt es deshalb weniger mikroklimatische

Unterschiede, als am gegenüber liegenden Nordosthang. Bereits Ende Mai ist der Großteil der Flächen ausgeapert. Entsprechend weniger scharf lassen sich die Pflanzengesellschaften voneinander abgrenzen.

Die aktuelle Waldgrenze, welche dort angenommen werden soll, wo ein noch einigermaßen geschlossener Bestand endet (BERNADZKI 1976, KUOCH / AMIET 1970), liegt am Südwesthang bei etwa 2200 m.ü.M., und damit etwas höher als am Nordosthang. Auch die natürliche Waldgrenze dürfte, aufgrund der stärkeren Sonneneinstrahlung am südwestlich exponierten Hang etwas höher liegen, als am schattigeren Nordosthang.



Abb.: 2.4.2.: Untersuchungsgebiet am Südwesthang. Rippenstandorte sind typischerweise bis in grössere Höhen bewachsen. *Pinus cembra* dominiert den Waldgrenzgürtel, weiter unten ist *Larix decidua* vermehrt beigemischt.

3. Material und Methoden

Innerhalb einer Fläche, die sich über eine Länge von 200 Metern erstreckte und maximal 180 Meter breit war, wurden an beiden untersuchten Expositionen, an einem Nordosthang und an einem Südwesthang, jeweils 20 Lärchen (*Larix decidua*) und 20 Arven (*Pinus cembra*) nach im Folgenden Kapitel beschriebenen Kriterien in das Probekollektiv aufgenommen.

Hinsichtlich einer Jahrringanalyse ist die Jahrringbreite die entscheidende Variable. Um die erforderlichen Werte der Jahrringbreiten zu ermitteln, wurden von jedem Baum des Probekollektivs wurden 4 Bohrproben auf Brusthöhe entnommen, und zwar von der Bergseite, der Talseite, der linken Seite und der rechten Seite. Insgesamt wurden 322 Bohrkerne entnommen und analysiert. Analog zur Referenzhöhe von Inventuren und Betriebsmodellen werden die Proben auf 1,3m Höhe entnommen (BRÄKER, RIGLING 2004). Aus praktischen Gründen wurde der Brusthöhendurchmesser (BHD 1,3m) jeweils an den Seiten der Bäume (rechts oder links) ermittelt. Nach KRAMER / AKCA 1995, wird der BHD in geneigtem Gelände von der Bergseite des Baumes her bestimmt. Das Gefälle beträgt im Untersuchungsraum dieses Projektes bis 45°, dadurch wäre es unmöglich eine Bohrprobe von der Talseite aus zu entnehmen, aus einer Höhe die 1,30m an der Bergseite entspricht.

Einerseits sollte somit der Fehler, der im schmalen Ausschnitt eines Kern (5 mm) möglicherweise enthalten ist, das heisst fehlende Jahrringsequenzen, nicht im gesamten Radius auftretende Frostringe, auskeilende Jahrringe, falsche Jahrringe oder schlecht erkennbare Jahrringe, minimiert werden. Zum anderen soll die Exposition des Baumes und damit die Bildung von Reaktionsholz und exzentrisches Wachstum berücksichtigt werden.

3.1. Kriterien zur Bestimmung des Probekollektivs

1. Die Fragestellung der Diplomarbeit bezieht sich auf Lärchen und Arven an der oberen Baumgrenze, deshalb wurden die Proben, nach Berücksichtigung der im Folgenden beschriebenen Punkte, in möglichst großer Höhe entnommen.
2. Die Bäume sollten frei stehen, um den Faktor Konkurrenz möglichst aus dem Jahrringbild zu eliminieren. Nach PRESSLER 1883 ist „die Strahlung neben der Bodenkraft und der Bodenfrische der wichtigste Zuwachsfaktor“. Bodenkraft bedeutet in diesem Fall Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanze. Starke Beschattung hemmt das Wachstum von Bäumen in jeder Hinsicht (MITSCHERLICH 1981 / LARCHER 1994). Im Xylem wird die Zellteilung durch Lichtmangel reduziert, wobei vor allem ältere Pflanzen den Zuwachs abrupt verringern, und bei jüngeren Pflanzen vor allem die Zellwandstreckung bei wasserleitenden Elementen negativ beeinflusst wird (SCHWEINGRUBER 2001).
3. Um das Jahrringbild des Warmjahres 2003 mit Jahrringbildern früherer Warmjahre zu vergleichen, sollten die beprobten Bäume ein hohes Alter haben.
4. Die ausgewählten Individuen sollten möglichst keine äusserlich erkennbaren Schäden aufweisen. Die Konsequenz von Verletzungen ist häufig ein verändertes Wachstum, und dadurch eine Beeinflussung und Störung des Jahrringbildes (SCHWEINGRUBER 2001).
5. Um den Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung zu ermitteln wurden zwei Expositionen miteinander verglichen: Einen sonnenexponierten Südwesthang, sowie ein Nordosthang, der weniger Sonneneinstrahlung erhält. Abbildung 3.3.1. zeigt das Untersuchungsgebiet Nordosthang unterhalb der Hochlagenaufforstung Stillberg.
6. Bei einer Pilzinfektion im Stamminnern wurde der Baum aus dem Kollektiv herausgenommen, da in Stämmen, die von Pilzen befallen sind, ist häufig kaum ein Jahrringbild zu erkennen ist. Ausserdem sind von Pilzen infizierte Bäume in ihrem Wuchs beeinflusst.

Um später auf die möglicherweise unterschiedlichen Reaktionen der beiden untersuchten Baumarten eingehen zu können, sollen im folgenden Kapitel zunächst die ökologischen Materialien dargestellt werden, die für diese Untersuchung verwendet wurden. Danach werden die Methoden zur Analysierung der entnommenen Bohrkerne erläutert.

3.2. Biologie und Verbreitung der Lärche (*Larix decidua*)

Verbreitung:

Ursprünglich kam die Europäische Lärche (*Larix decidua*) in vier voneinander isolierten Gebieten Europas vor. Abbildung 3.1. zeigt das Vorkommen der Alpenlärche in den Alpen, sowie die Vorkommen der Sudetenlärche in den Sudeten, der Karpatenlärche in den Karpaten und der Tatalärche in der Hohen Tatra (OBERDORFER 1990).

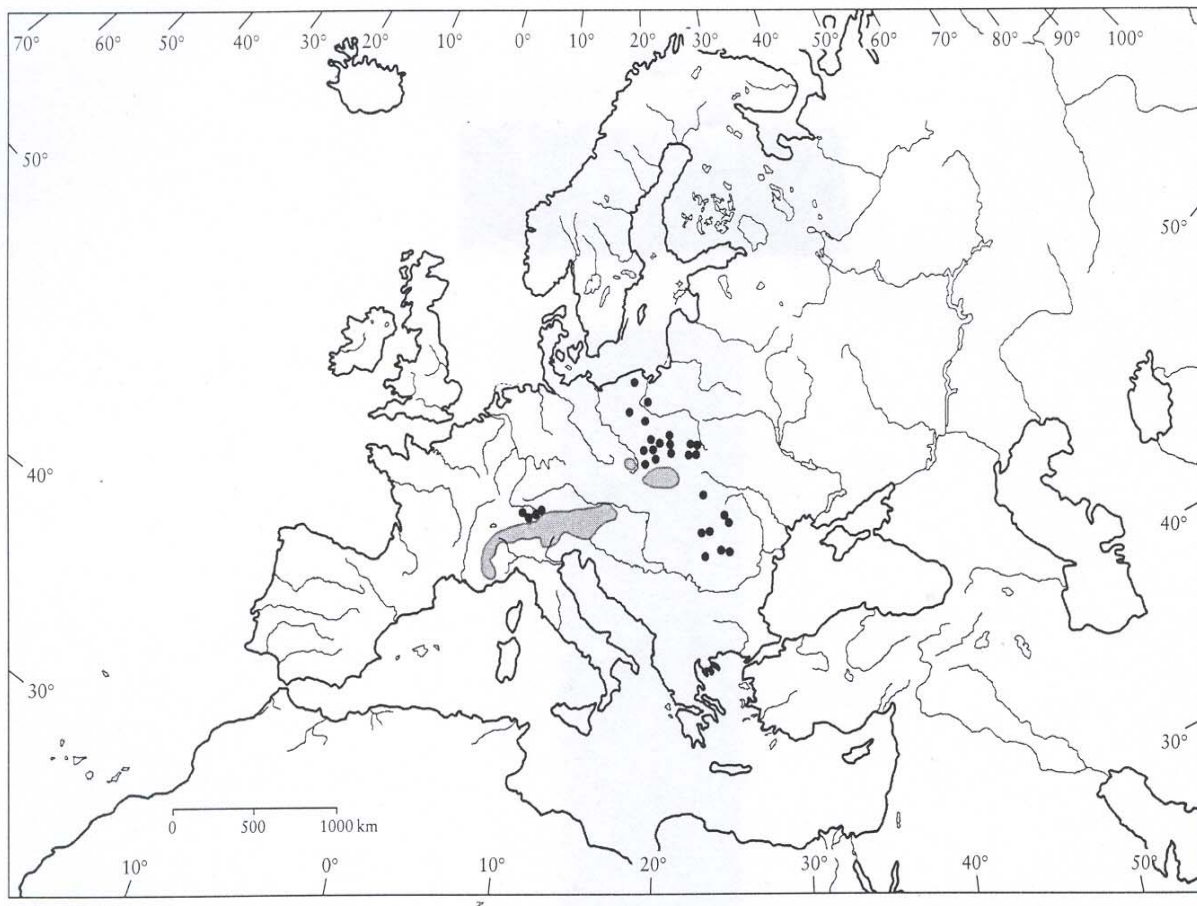


Abb. 3.2.1.: Frühere Verbreitung der Europäischen Lärche (*Larix decidua*) in Europa. Grau umrandete Flächen = flächige Vorkommen (Alpenbogen, Karpaten, Hohe Tatra). Schwarze Punkte = Einzelvorkommen. Aus SCHÜTT, STUCK, STIMM, Lexikon der Forstbotanik (1992).



Abb. 3.2.2.: Lärche aus dem Untersuchungsgebiet am Südwesthang, ca. 2250 m.ü.M. Foto: F. Krumm (2004)

In den Zentralalpen ist die Lärche typischerweise in Höhen zwischen 1300 – 2000 m.ü.M. zu finden. In den Randalpen sinkt die Obergrenze auf ca. 1600m.ü.M.(SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG 1994).

Standortsansprüche:

Die Nährstoff- und Wasseransprüche sind eher gering bis mittel. Standorte mit hoch anstehendem Grund- oder Stauwasser werden gemieden, ansonsten ist die Baumart bodenvag (SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG 1994). Bedingt durch hervorragende Anpassungen an die klimatischen Gegebenheiten hoher Lagen ist die Europäische Lärche relativ sturm- und schneebruchfest.

Je nach Standort kann die Europäische Lärche Höhen bis max. 50m erreichen und über 600 Jahre alt werden (BURSCHEL, HUSS 2003).

Fortpflanzung:

Im Bestand blüht die Lärche zum ersten Mal mit 30-40 Jahren, im Freiland nach 15-20 Jahren. Je nach Umweltbedingungen können sich diese Angaben verschieben, vor allem in den extremen Hochlagen der Alpen. Hier liegt der Zeitpunkt der ersten Fruktifikation später. Die Lärche ist einhäusig, d.h. männliche und weibliche Blüten kommen auf einem Individuum vor und erscheinen zwischen März und Mai (SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG 1994 / EBERT 2003). Alle 3 – 5 Jahre macht die

Lärche, je nach Umweltbedingungen, ein Mastjahr. Mastjahre bei Lärche sind jedoch nicht so stark ausgeprägt wie zum Beispiel bei der Arve. Die Reifung der Samen erfolgt erst im nächsten Frühjahr. Diese sind dann glänzend hellbraun, dreieckig-eiförmig 4mm lang und mit Flügeln verwachsen (AMANN 2002) (HECKER 1995). Nach dem Ausfliegen der Samen verblassen die Zapfen, die erst nach 10 Jahren mit dem Zweig zu Boden fallen (SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG 1994), (ERLBECK, HASEDER, STINGLWAGNER 2002).

3.3. Biologie und Verbreitung der Arve (*Pinus cembra*)

Die Arve lässt sich von anderen Arten der Gattung *Pinus* unter anderem darin unterscheiden, dass sich an einem Kurztrieb fünf, im Querschnitt dreieckige, bis zu 11 cm lange Nadeln befinden (AMANN 2002).

Verbreitung:

Die natürliche Verbreitung der Arve, auch Zirbe oder Zirbelkiefer genannt, gliedert sich in drei Teilareale, dargestellt in den schraffierten Flächen der Abbildung 3.3.(SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG 1994):

1. Das sibirische Teilareal wird von der Unterart *Pinus cembra var. Sibirica* (LOUD.) besiedelt.
2. Das Teilareal in der Hohen Tatra sowie in den Süd- und Ostkarpaten.
3. Das alpine Teilareal, hauptsächlich in den relativ kontinentalen Zentralalpen, wie z.B. im Ötztal, im Zillertal, im Engadin oder im Wallis.

In der Westschweiz, bzw. im Wallis gelangt die Arve in Höhen von bis zu 2800 m.ü.M., während die Zirbelkiefer in Graubünden, d.h. in der Ostschweiz in Höhen bis 2400 m.ü.M. vorkommt. In den oben beschriebenen Regionen ist die Arve Schlussbaumart des hochsubalpinen Waldes.

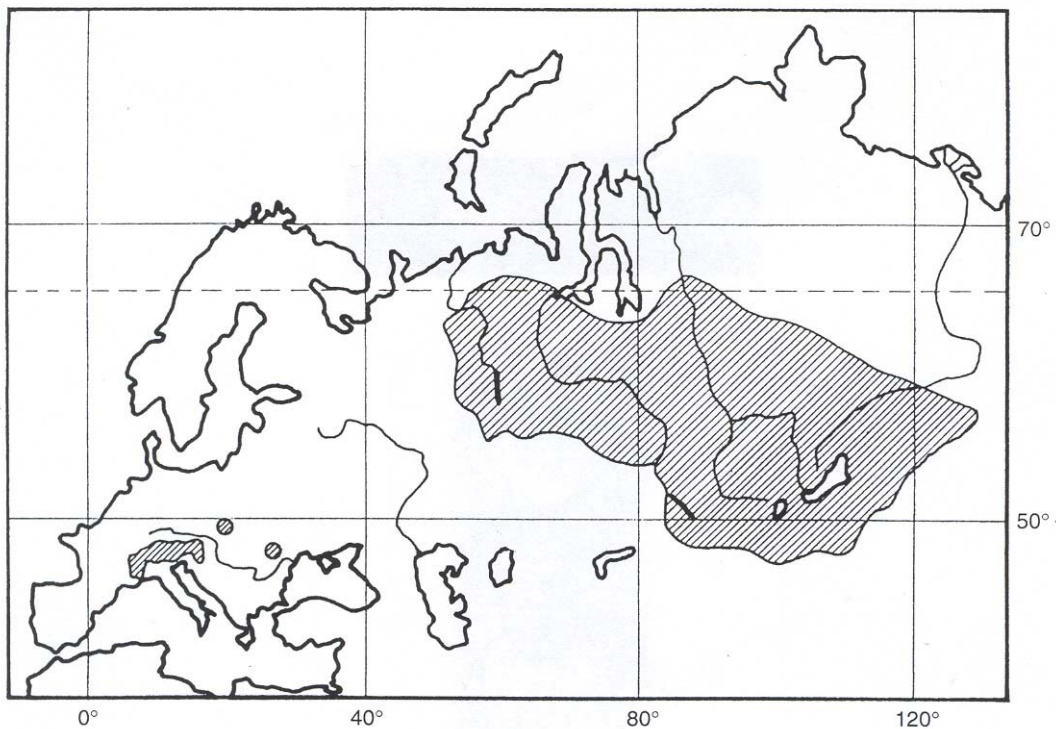


Abb. 3.3.1.: Natürliches Verbreitungsgebiet der Arve (*Pinus cembra*) – Schraffierte Flächen. Rechts im Bild, sibirisches Teilareal mit *Pinus cembra* var. *Sibirica* (LOUD.). Links unten Teilareal der Zentralalpen. Aus SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG 1994, Enzyklopädie der Holzgewächse.

Standortsansprüche:

Pinus cembra ist die frosthärteste Baumart, die in den Alpen vorkommt. (SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG, 1994 / EBERT 2003). Arven sind nicht spätfrostempfindlich und ertragen Temperaturen von bis -47°C im Winter. Die Bildung von Schutzkolloiden verhindert die Bildung schädlicher Eiskristalle. Auch Kältegrade von bis -10°C im Sommer hinterlassen keine Schädigungen (REICHHOLF, STEINBACH, 1993). Die Nährstoffansprüche sind gering bis mittel. In der Jugend erträgt die Zirbe Halbschatten, benötigt aber einen weiten Standraum und später genügend Licht, um optimal zu gedeihen (REICHHOLF, STEINBACH, 1993).



Abb. 3.3.2.: Arve im Untersuchungsgebiet am Nordosthang. Foto F. Krumm (2004)

Arven bevorzugen mäßig frische Rohhumusböden mit mächtigen, stark sauren Rohhumuspolstern. Auf guten Standorten kann die Zirbelkiefer Höhen von bis zu 25 m, und einen BHD von über 50 cm erreichen (SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG, 1994).

Fortpflanzung:

An natürlichen Standorten blüht die Arve nicht vor dem 40. Lebensjahr, in höheren Lagen häufig in einem Alter von 70-90 Jahren. Die Pflanzen sind monözisch (einhäusig). Dabei handelt es sich um eine Form der Getrenntgeschlechtlichkeit, das heißt männliche und weibliche Blüten sind stets auf derselben Pflanze (ERLBECK, HASEDER, STINGLWAGNER, 2002 / EBERT 2003).

Mastjahre kommen bei *Pinus cembra*, je nach Standort, alle 3-10 Jahre vor. Je extremer, bzw. lebensfeindlicher die Bedingungen, desto weniger häufig gibt es Vollmasten (SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG, 1994).

Einen entscheidenden Einfluss auf die Verjüngung der Arve hat der Tannenhäher. Da die Samen der Zirbelkiefer flugunfähig sind, ist diese Baumart auf zoochore Verbreitung angewiesen. Im Folgenden wird auf die, für die Existenz der *Pinus cembra* entscheidende Lebensgemeinschaft mit dem Tannenhäher, eingegangen.

3.3.1. Lebensgemeinschaft Arve (*Pinus cembra*) und Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes caryocatactes*)

Das Vorkommen des Tannenhähers, der zur Familie der Rabenvögel (*Corvidae*) gehört, ist abhängig von den Früchten der Zirbelkiefer (*Pinus cembra*) und der Haselnuss (*Corylus avellana*) (JONSSON 1993). Dementsprechend ist das gesamte Verhalten des Tannenhähers auf die Verwaltung des Kiefern Samen- und Haselnussvorrats, in den durchschnittlich 6000 angelegten Futterverstecken, ausgelegt. Montane und subalpine Wälder sind typischerweise Lebensräume des Tannenhähers.



Abb. 3.3.3.1.: Bild eines Tannenhähers mit vollem Unterkehlsack (bis zu 80 Samen).
Foto:<http://www.rabenvoegel.de/tannenhaeher.htm>

Die gesammelten Samen deponiert der Vogel in zahlreichen Futterverstecken. Jedes Depot kann bis zu 15 Samen enthalten. Depots auf tiefgründigeren Böden können auch bis zu 25 Samen enthalten. Bei einem Tagesbedarf eines Vogels von ca.115 Kiefern Samen, der damit sich selbst ernährt und seinen Anteil an der Jungenaufzucht leistet, werden durchschnittlich 6000 Verstecke mit bis zu 100.000 Samen pro Jahr angelegt (MATTES 1982).

Die Tannenhäher finden zwischen 80 – 95 % ihrer im Jahr zuvor angelegten Futterdepots wieder (MATTES 1982). Die 5 - 20 % Kiefern Samen, die von den Tannenhähern weder in das Brutgeschäft investiert, noch von den Altvögeln selbst gefressen werden, verbleiben im Boden und können auskeimen. Häufig werden freie Flächen, Füße von Baumstümpfen oder Horstgrasstrukturen als Futterverstecke gewählt. Die im Boden verbliebenen Samen haben somit ein günstiges Keimbett (MATTES 1978).

3.4. Entnahme der Bohrkerne

Die Beprobung der Bäume erfolgte in einem Zeitraum von Ende Juli bis Ende August 2004. Die Entnahme der Bohrkerne wurde mit einem Zuwachsbohrer (Abb.3.4.1.) durchgeführt.



Abb. 3.4.1.: Zuwachsbohrer der Firma Suunto mit den Einzelteilen, von unten: Griffrohr mit Schloss, Bohrkernlöffel und Bohrer. Darüber: Bohrer und Griffrohr zusammengesetzt.

Am jeweiligen Tag, oder spätestens 24 Stunden nach der Probenentnahme wurden die Bohrkern auf sogenannte Bohrkernträger aufgeklebt. Die Proben mussten relativ schnell verarbeitet werden, da sich die Kerne durch die Trocknung stark verwerfen und danach schwierig weiter zu Verarbeiten sind. Bohrkernträger sind längliche Holzstücke, die 1 cm hoch bzw. 1 cm breit sind, und auf der oberen Seite eine Nut von 5mm Breite und 2mm Tiefe haben. Die Proben werden in diese Nut gelegt, bzw. geklebt. Die Träger sind in verschiedenen Längen erhältlich, und werden je nach Länge der jeweiligen Holzprobe verwendet. Abbildung 3.4.3. zeigt mehrere bereits auf Träger geklebte Bohrproben.



Abb. 3.4.2.: Auf Bohrkernträger fixierte Bohrproben von *Pinus cembra*. Die Kerne sind auf der Abbildung bereits geschliffen, die Jahrringgrenzen deutlich erkennbar (Foto: Krumm 2004)

Das Aufkleben der Kerne fand mit gewöhnlichem Holzleim statt. Bis zur Trocknung des Leimes wurden die Proben mit herkömmlichem Klebeband fixiert.

Zu jedem Baum des Probekollektivs wurden folgende Parameter aufgenommen: (Aufnahmeformular im Anhang).

1. Meereshöhe des jeweiligen Standorts.
2. Baumhöhe.
3. Brusthöhendurchmesser.
4. Vegetationsaufnahme nach BRAUN-BLANQUET (1964) in einem Umkreis von 15m² um den Baum herum (Kapitel 3.6.).
5. Bemerkungen zur unmittelbaren Umgebung des Baumes, wie z.B. Besonderheiten im Relief, fließendes Wasser in der Nähe, oder ähnliches.

3.5. Analyse der Bohrkerne

Die Ansicht, bzw. die Analysen der Bohrkerne wurden im Labor des Instituts für Waldwachstum der Universität Freiburg (IWW) durchgeführt.

Um die Kontraste der Jahrringgrenzen zu erkennen, bzw. zu verstärken, wurde das gesamte Probenkollektiv mit einer Langbandschleifmaschine bearbeitet. Die Bearbeitung erfolgte mit 120er/ 240er Schleifpapier (P120 / P240 = Körnung des Schleifpapiers). Abb. 3.4.3. zeigt mit beschriebenen Schleifpapier behandelte Proben.

Beschreibung der Anlage zum automatischen Einlesen und Analysieren von Bohrkerne: Das automatische Einlesen geschah mit einer vom IWW entwickelten Anlage, die im Folgenden beschrieben wird. Stammscheiben und Bohrkerne werden automatisch eingelesen und die Daten werden auf einem angeschlossenen Rechner gespeichert.

Die einzelnen Probestücke werden auf einem Lineartisch fixiert. Eine 1m über dem Tisch fest installierte monochrome CCD Video Kamera von, macht von jedem Bohrkern Bilder mit einer Auflösung von ca. 900 dpi (Dots per inch). Die Aufnahmen werden von einem sogenannten „Frame grabber“ digitalisiert und mit einer Auflösung von 768*576 Pixel bei 256 Graustufen mit einer fortlaufenden Nummer auf dem angeschlossenen Computer abgespeichert.

Nachdem das zu untersuchende Holz auf dem Tisch fixiert ist, ermittelt das Programm den Anfang und das Ende des Holzstücks. Der Tisch fährt, nach manuellem Start der Messung über die Tastatur des Rechners, in Teilschritten von 18mm von rechts nach links, während die Kamera von jedem Teilabschnitt eine Aufnahme macht und abspeichert. Sobald die schwarze Tischoberfläche in den Fokus der Kamera gerät, erhält das Programm aufgrund des Farbunterschieds das Signal, dass die Probe zu Ende ist. Die zuvor abgespeicherten Bilder werden dann zu einem Gesamtbild zusammengefügt. Die Bohrkerne stehen darauf in digitaler Bildform der im folgenden beschriebenen Software zur Analyse zur Verfügung.

Das Programm „Woodscan“ wurde ebenfalls am Institut für Waldwachstum entwickelt, und ermöglicht eine genaue Messung der Jahrringbreite. Die von der

Kamera eingelesenen Schwarz - Weiß Bilder, bzw. die 256 verschiedenen Graustufen, die das Programm unterscheiden kann, werden auf einem Bildschirm sichtbar gemacht. Auf halber Höhe wird eine horizontal verlaufende Linie eingeblendet. Anhand manuell einstellbarer Parameter ermittelt die Software entlang dieser Linie den Grauwertunterschied zwischen den Werten rechts und links der aktuellen Position. Ist die Differenz der ermittelten Grauwerte größer als ein definierter Schwellenwert, blendet die Software an dieser Stelle einen vertikal verlaufenden Strich ein. Die entsprechende Jahreszahl wird jeweils dazugeschrieben.

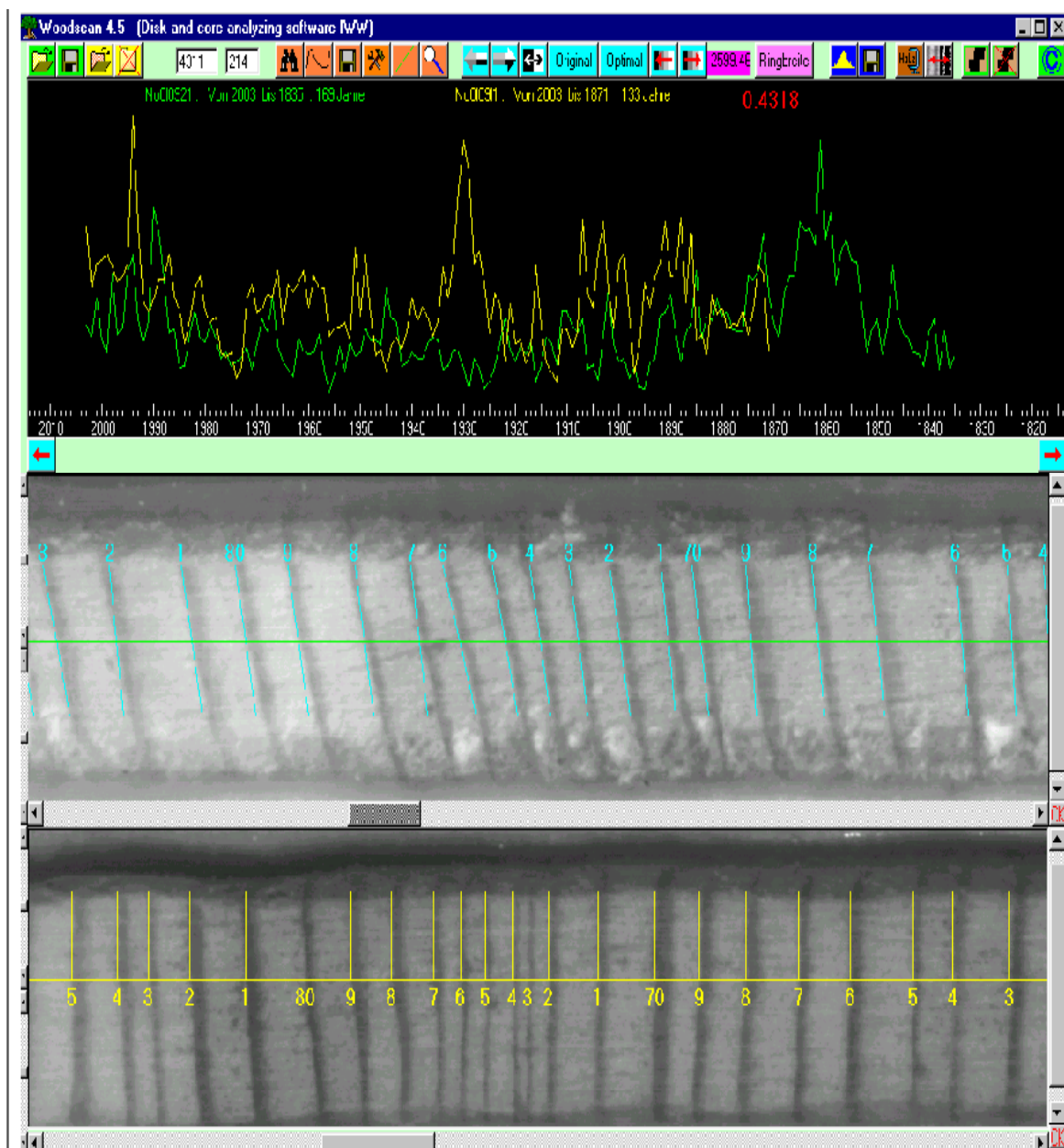


Abb.: 3.5.1.: Bildausschnitt aus dem Programm „Woodscan“.

Erklärungen zur Abbildung 3.5.1.:

Oben im Bild sieht man die Menüleiste des Programms mit verschiedenen Funktionen. Darunter sieht man die Kurven der Jahrringverläufe der beiden folgenden Abbildungen. Die grüne Kurve stellt den Jahrringverlauf der direkt folgenden Abbildungen dar, die gelbe Kurve den Verlauf der Referenzabbildung ganz unten, die je nach Bedarf gewechselt werden kann.

Über den Kurven, in den jeweiligen dazugehörigen Farben, erkennt man die zur Abbildung gehörigen Nummern, sowie das jeweilige Alter, bzw. das Jahr der Bohrkernentnahme und das Jahr des ersten auf der Abbildung aufgenommenen Jahrrings. Die Rot eingefärbte Zahl rechts daneben, gibt die Gleichläufigkeit beider Kurven wieder. Die Abbildungen entstammen in diesem Fall von zwei Proben aus dem selben Baum. In den Abbildungen selbst sieht man den horizontal verlaufenden Strich auf halber Bildhöhe und die in vertikaler Richtung verlaufenden Striche, welche die Jahrringgrenzen anzeigen.

Falsche oder fehlende Jahrringe können per Mausklick korrigiert werden. Auch Risse in der Probe können mithilfe einer Funktion herausgerechnet werden. Da die Jahrringgrenzen nicht immer parallel und senkrecht verlaufen, legt das Programm die vertikal verlaufenden Striche in einer Tangente an die Jahrringgrenzen und bestimmt über Winkelfunktionen die tatsächliche Jahrringbreite. Die Anzahl der Pixel, die zwischen zwei Jahrringen liegen, wird vom Rechner ermittelt und auf 1/100 mm genau angegeben. Auch hier besteht die Möglichkeit manuell Korrekturen zu tätigen.

3.6. Synchronisation

Die Synchronisation der Daten wurde mithilfe des Programms COFECHA durchgeführt (GRISSINO-MAYER 2001). Das Programm COFECHA prüft Jahrringdaten auf Plausibilität, indem das Programm jeden Bohrkern mit jedem anderen Bohrkern aus der Messreihe vergleicht. Deshalb ist es sinnvoll, wenn die Messreihen vollständig sind. Man erhält dadurch eine erhebliche Verbesserung der Ergebnisse. Zunächst wurde aus allen Proben eine „Master Serie“ erstellt, d.h. die besten Daten werden in einer Serie gespeichert. Die Einzelserien werden in Segmente zu definierender Länge zerlegt und diese einzelnen Segmente mit der Master Serie korreliert. COFECHA macht Vorschläge, wie viele Jahrringe

einzusetzen oder zu entfernen sind und wie sich dies auf die Korrelationswerte der einzelnen Segmente auswirkt.

Tab. 3.6.1.: COFECHA Synchronisationsausdruck

NO0P09L1 1925 to 2003 79 years														Series 22					
[A] Segment	High	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	+0	+1	+2	+3				
1950 1999	-1	-.21	-.15	-.01	-.15	-.11	.23	-.15	-.09	.20	.33*	.06	.07	.11	-.20	-	-	-	-
1954 2003	-1	-.19	-.16	.02	-.18	-.18	.18	-.10	-.19	.22	.31*	.01	-	-	-	-	-	-	-
[B] Entire series, effect on correlation (.127) is:																			
Lower 1998<	-.106	1970<	-.032	1984>	-.023	1947<	-.016	1993>	-.014	2001<	-.013	Higher	1925	.031	1948	.027			
1950 to 1999 segment:																			
Lower 1998<	-.135	1970<	-.041	1984>	-.028	1993>	-.016	1995<	-.011	1990>	-.009	Higher	1957	.034	1980	.029			
1954 to 2003 segment:																			
Lower 1998<	-.118	1970<	-.038	1984>	-.028	1993>	-.017	2001<	-.015	1995<	-.010	Higher	1957	.035	1980	.031			
[C] Year-to-year changes diverging by over 4.0 std deviations:																			
1997 1998	-7.0 SD	1998 1999	4.5 SD																
[E] Outliers	1	3.0 SD above or	-4.5 SD below	mean for year															
1998	-6.4 SD																		

Die Software zeigt für die Einzelserie des Bohrkerns mit der Nummer No0P09L1 unter Punkt [A] die Korrelationswerte jener Zeitabschnitte, die eine Korrelation unter 0.33 vorweisen (Spalte -1). Das Programm unterbreitet Verbesserungsvorschläge, sodass die höchstmögliche Korrelation in der Spalte +0 erscheint. So würden sich die Korrelationen, in diesem Fall um eine Position nach rechts verschieben, wenn in den unter Punkt [B] angegebenen Segmenten ein Jahrring hinzugefügt würde. Das Programm liefert neben den beschriebenen Funktionen weitere Instrumente zur statistischen Auswertung der Daten, die jedoch hier nicht von Bedeutung sind.

3.6. Vegetationsaufnahmen

Durch die Aufnahme der Vegetation in unmittelbarer Nähe des beprobten Baumes sollen Rückschlüsse über Wasserverfügbarkeit, Nährstoffverfügbarkeit und Wechselfeuchte hergeleitet werden.

Die Vegetation wurde nach der Methode von Braun-Blanquet aufgenommen (BRAUN-BLANQUET 1964). Die Größe der Flächen, die pro Baum aufgenommen wurde, betrug jeweils 15 m². Die erhobenen Daten wurden in das Programm „VegeDaz“ eingegeben, einem Programm zur Auswertung und Erfassung von Vegetationsdaten. Die Software wurde speziell für ein Forschungsprojekt der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) entwickelt und erlaubt unter anderem die Berechnung verschiedener Zeigerwerte.

In diesem Projekt werden Feuchtezahl, Nährstoffzahl und Wechselfeuchtezahl ermittelt und in Skalen von 1 bis 5, nach LANDOLT 1977 wiedergegeben.

Am Beispiel der Feuchtezahl zeigen niedere Zahlen eine geringe, und hohe Zahlen eine hohe Bodenfeuchtigkeit an. Die Wechselfeuchtezahl gibt an ob der Standort wechselfeucht ist (Wert1), oder der Standort nicht wechselfeucht ist (Wert 0).

3.7. Klimadaten

Die Temperatur- und Niederschlagsdaten wurden der Meteostation der Hochlagenaufforstung „Stillberg“ entnommen, die unmittelbar oberhalb des Untersuchungsgebietes am Nordosthang liegt. Diese Klimamessstation liegt auf 2090 m.ü.M. (Geogr. Koordinaten: 46°46`N / 9°52`E) und liefert Klimadaten in hoher zeitlicher Auflösung (1975-1997 alle 5min, seit 1997 alle 10 min). Des Weiteren wurden eine Niederschlags- und Temperaturmessreihe der Klimastation Davos-Dorf (Höhe: 1590 m ü.M. Geogr. Koordinaten: 46°49`N / 09°51`E) verwendet. Für die Untersuchung sind die Niederschläge und die Lufttemperatur von Bedeutung.

3.8. Statistische Auswertung

Die meisten statistischen Analysen und Tests wurden mit dem Programm „S Plus“ durchgeführt. Für manche Tabellen und Diagramme war es jedoch sinnvoll die Programme „Excel“ und „SPSS“ anzuwenden. Die Daten wurden zunächst mit dem Kolmogorov – Smirnov Test und visuell auf Normalverteilung geprüft. Die meisten Datensätze sind nicht normalverteilt, deshalb wurden die statistischen Tests der Stichproben mit nicht - parametrischen Tests durchgeführt. Bei den statistischen Tests wurde nicht das Arithmetische Mittel als Bezugsgröße angewandt, sondern der Median. Das Arithmetische Mittel ist anfällig gegen einzelne Extremwerte (Ausreißer), und kann dadurch das Testergebnis verfälschen. Der Median teilt ein Probekollektiv in zwei gleich große Hälften (50% der Daten unterhalb, 50% oberhalb des Median) und ist robust gegen Ausreißer. Bei einem Vergleich zweier Datensätze wurden die P-Werte mit dem „Wilcoxon rank sum test“ berechnet. Beim Vergleich mehrerer Werte kam der „Kruskal wallis rank sum test“ zur Anwendung. Eine normale Varianzanalyse war hier nicht möglich, da die Datensätze nicht normalverteilt sind.

4. Ergebnisse

Die Analyse der Klimadaten und die Auswertung der Jahrringmessdaten wurde für den Zeitraum von 1900-2003 durchgeführt. Aus dieser Periode liegen sowohl vollständige Klimadaten, im Speziellen Lufttemperatur und Niederschlag, als auch nahezu vollständige Jahrringmessreihen vor.

4.1. Analyse der Klimawerte

Klima von 1900-2003 in Davos und Umgebung

In der ersten Hälfte des 20igsten Jahrhunderts gab es mehrere Jahre die durchschnittliche Jahrestemperaturen unter 1,5°C aufwiesen. Eher selten wurden Jahre registriert, deren durchschnittliche Werte über 3°C lagen. Die zweite Hälfte des Jahrhunderts war deutlich wärmer als die erste Hälfte (Abb.:4.1.1.). Seit etwa 1980 lagen die Jahresmittelwerte meistens über 3°C.

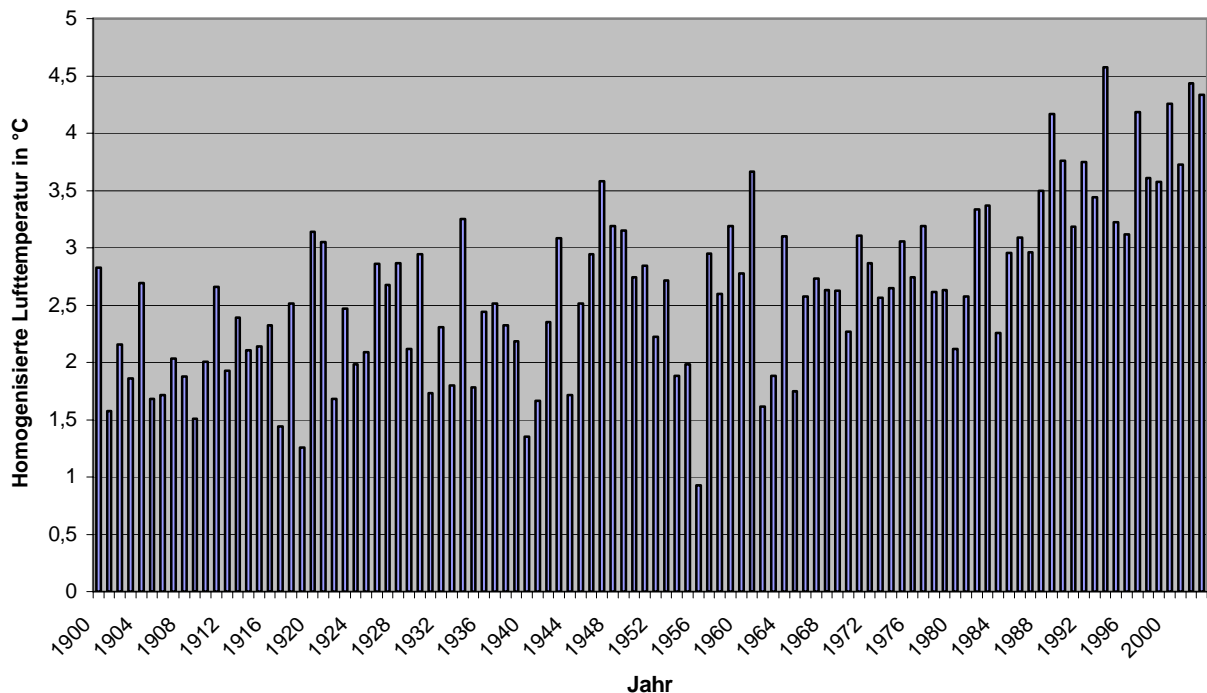


Abb. 4.1.1.: Mittlere Jahreslufttemperatur von 1900-2003, der Klimastation Davos-Dorf. Die letzten 40 Jahre zeigen keine extrem niedrigen Mindestwerte, bzw. die Anzahl der überdurchschnittlich warmen Jahre ist deutlich erhöht. Des Weiteren erscheinen die höchsten Jahresmittelwerte des gesamten Aufzeichnungszeitraumes innerhalb der letzten 15 Jahre.

Die Mittleren Lufttemperaturen des jeweiligen Sommers, gemessen von Anfang April bis Ende September, zeigen, wie extrem warm der Sommer 2003 im Vergleich zu

Ergebnisse

früheren Jahren war. Mit einem Durchschnittswert von über 10.6°C , war der Extremsommer 2003 deutlich wärmer als alle anderen Sommer innerhalb der aufgezeichneten Periode.

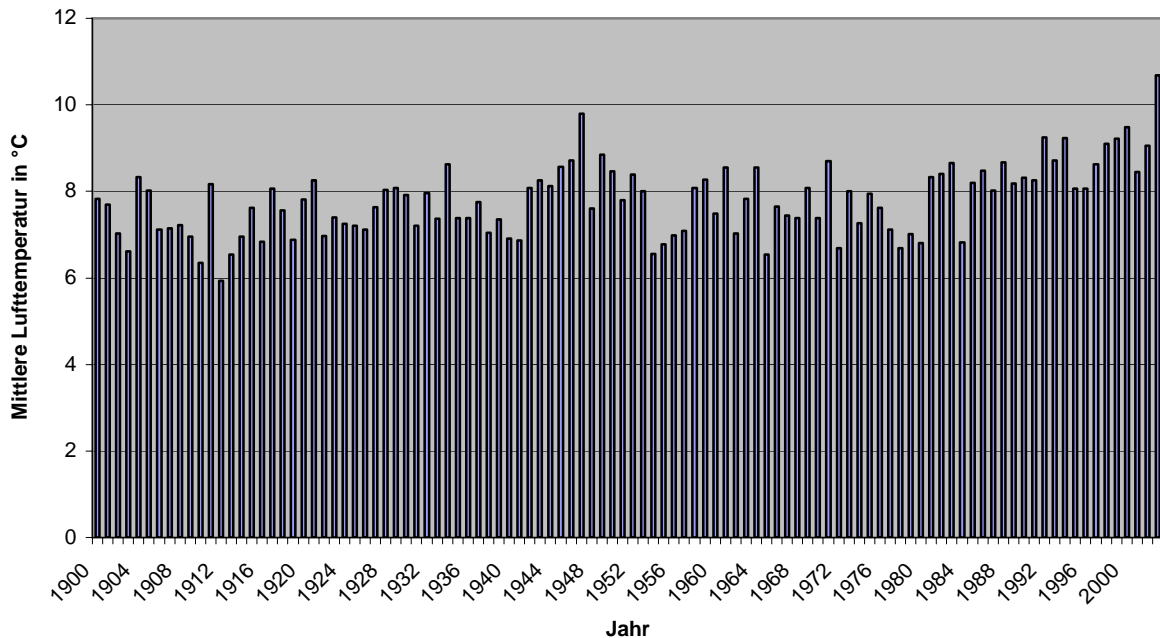


Abb.4.1.2.: Sommertemperaturen 1900 - 2003 gemessen an der Klimastation Davos – Dorf. Die Sommertemperaturen werden von April bis September des jeweiligen Jahres gemessen. Deutlich sichtbar der Extremsommer 2003 sowie ein weiteres extrem warmes Jahr 1947.

Im Jahr 2003 lag der mittlere Niederschlagswert weit unter den Werten aus den vorangegangenen Jahren. Im Abstand von etwa 10 – 12 Jahren gab es im letzten Jahrhundert immer wieder einzelne Jahre mit sehr geringen Niederschlägen pro Monat und Jahr, während ansonsten die jährlichen Niederschläge keinen Trend (Abb.:4.1.2.).

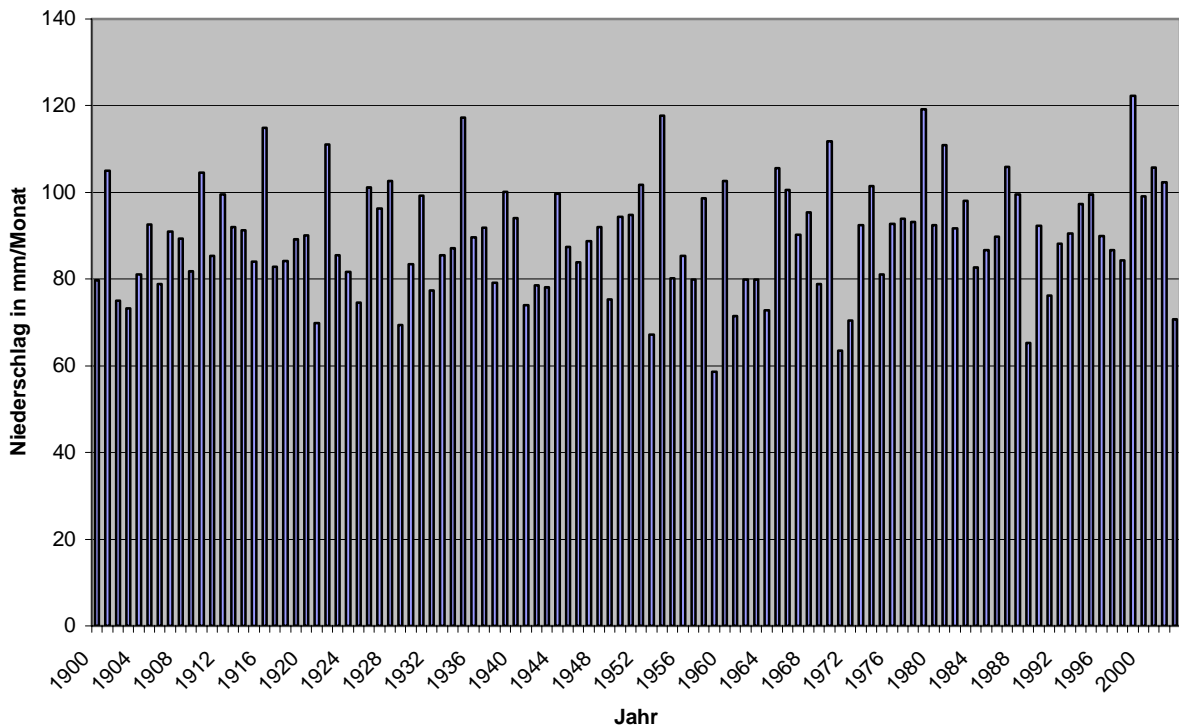


Abb. 4.1.3.: Mittlere Jahresniederschläge 1900-2003, Klimastation Davos-Dorf. Das Jahr 2003 zeigt deutlich weniger Niederschläge, als die Jahre davor, es ist jedoch kein Trend erkennbar.

Klima 2003 in Davos und Umgebung

Bereits der Januar 2003 war in der gesamten Schweiz von frühlingshaften Temperaturen geprägt (METEOSCHWEIZ 2003). Der Februar brachte kalte Temperaturen, war jedoch ein niederschlagsarmer Monat und zugleich der Beginn einer Trockenphase, die in der gesamten Schweiz bis Oktober dauerte (Abb.4.1.3.). Es folgten ergiebige Niederschläge, die bis in die Niederungen als Schnee fielen, dementsprechend sank auch die Lufttemperatur im Oktober.

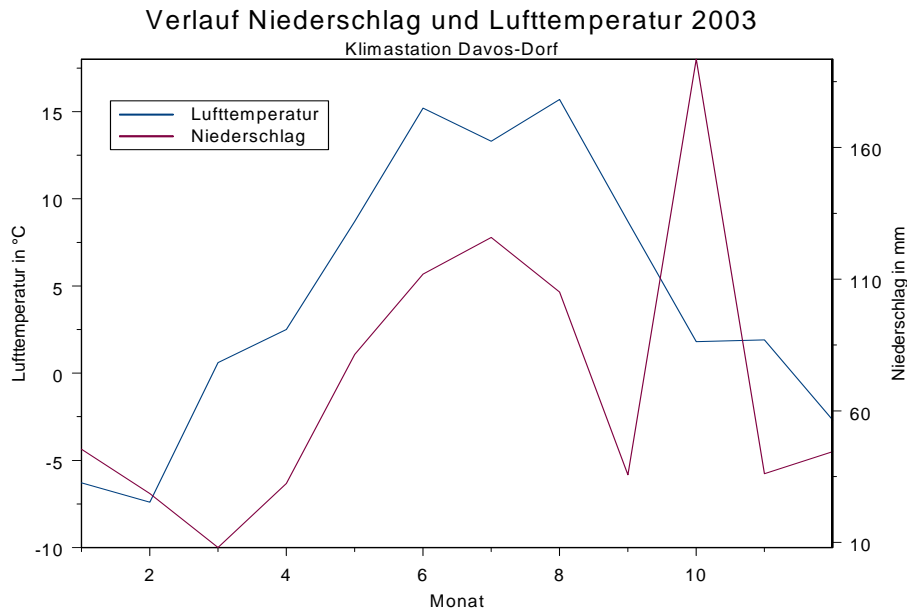


Abb. 4.1.4.: Niederschlag und Lufttemperatur 2003 gemessen an der Klimastation Davos - Dorf. Monatliche Mittelwerte, gemessen an der Klimastation Davos-Dorf. Niederschlagsmaximum im Oktober, als ergiebige Niederschläge bis in die Niederungen als Schnee fielen. Im Juni und August erreichten die Lufttemperaturen durchschnittliche Werte von über 15°C.

Dabei ist der Begriff Trockenheit nicht allein auf die Niederschlagssumme zurückzuführen, sondern auch auf die Art der Niederschläge. Gewitter, die sich im Juni, Juli und August 2003 lokal ereigneten, brachten Niederschläge, die jedoch für die Pflanzen nur bedingt verfügbar waren, da die Wassermengen auf den ausgetrockneten Böden relativ schnell abfließen (SCHAEDLER 2003).

Tab.4.1.1.: Mittlere monatliche Niederschlagswerte für die Messstation Davos-Dorf in mm

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Niederschlag in mm	45.4	28.6	8.1	32.4	81.4	112	126	105.1	35.7	194	36.1	44.5

Der Juni 2003 und der darauf folgende August sorgten vielerorts für die höchsten Temperaturen seit Beginn der systematischen Messungen in der Schweiz im Jahre 1864 (METEOSCHWEIZ 2003b). Die gemessenen Temperaturen des meteorologischen Sommers 2003 (Mittel der Monate Juni bis August) lagen 4.0°C bis 5.5°C über den normalen Sommertemperaturen (BADER 2004). Erst in der zweiten Oktoberhälfte wurde der Sommer 2003 von einem Wintereinbruch abgelöst, der Schnee bis in die Niederungen brachte.

Ergebnisse

Niederschlag in mm
Sommerhalbjahr 2003

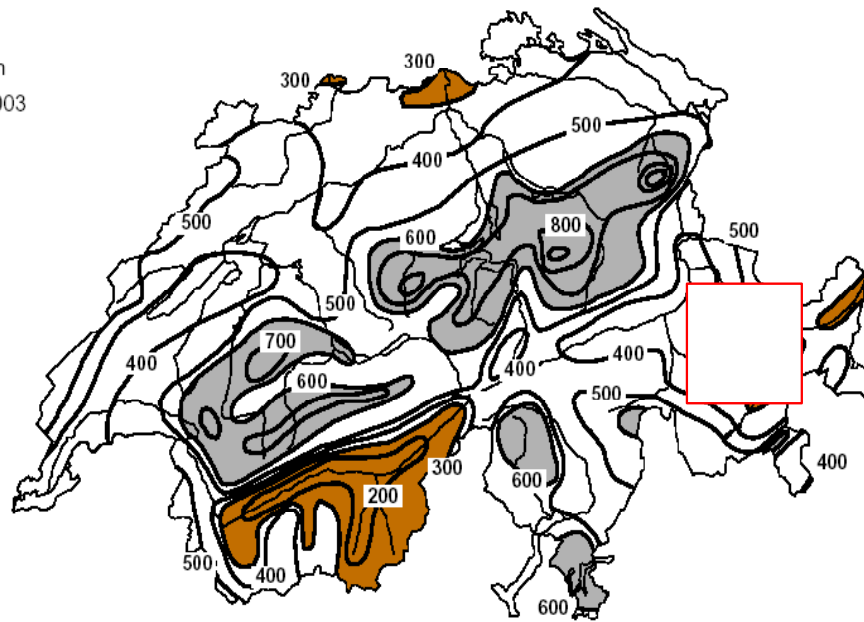


Abb. 4.1.5.: Niederschlagssummen in mm im Sommerhalbjahr 2003. Gebiete mit weniger als 300 mm sind braun, solche mit mehr als 600 mm grau eingefärbt. Rotes Kästchen am rechten Bildrand: Untersuchungsareal, Landschaft Davos. (Grafik aus BADER 2004)

Niederschlag Sommerhalbjahr 2003
in Prozent des Normwertes 1961-1990

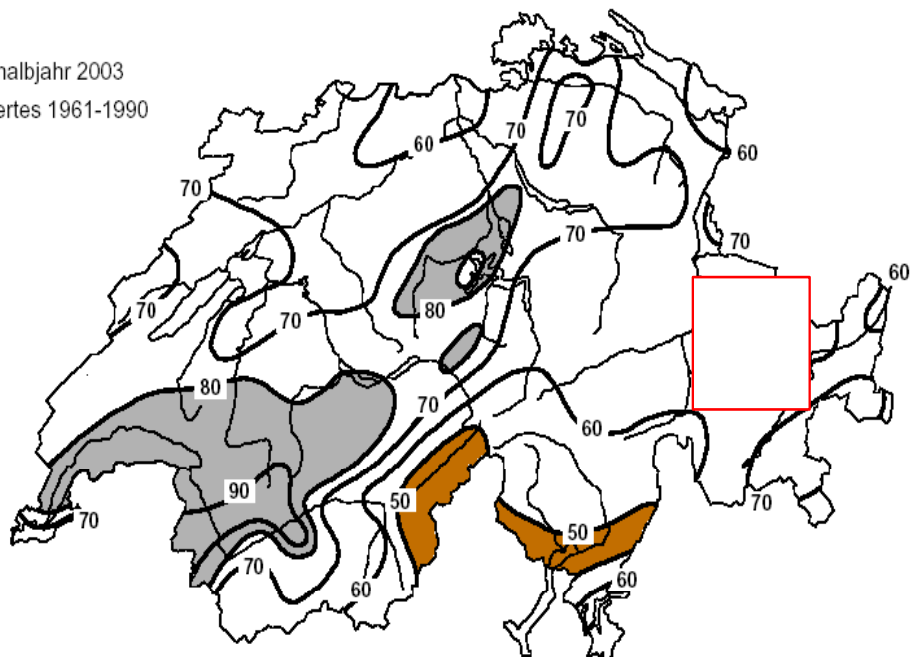


Abb. 4.1.6.: Niederschlag in Prozent der normalen Niederschlagsmenge (Normwert 1961-1990) im Sommerhalbjahr 2003. Gebiete mit nur 50 Prozent oder weniger sind braun, solche mit 80 Prozent oder mehr grau eingefärbt. Rotes Kästchen am rechten Bildrand: Untersuchungsareal Landschaft Davos (Grafik aus BADER 2004).

Ergebnisse

Im Hinblick auf Wasserverfügbarkeit für Bäume ist die Ausaperung (Schneesmelze) ein wichtiger Faktor, da Schmelzwasser, je nach Witterung und Lage bis weit in den Sommer hinein für die Pflanzen verfügbar sein kann.

Die Schneedecke schmolz, entsprechend den warmen Lufttemperaturen im Frühjahr 2003, in Davos und Umgebung schneller und früher als in anderen Jahren. Am 1. Juni lag auf dem Weissfluhjoch (Klimamessstation bei Davos 2540 m.ü.M.) ein Drittel weniger Schnee als in den meisten Anderen Jahren, bezogen auf den langjährigen Mittelwert. Der 3. Juni war in 67 Jahren der früheste Ausaperungstag (1947), 1970 lagen am selben Tag noch 260 cm, im Lawinenwinter 1999 203cm und 2003 75 cm (SLF 2004). (Abb.4.1.6.)

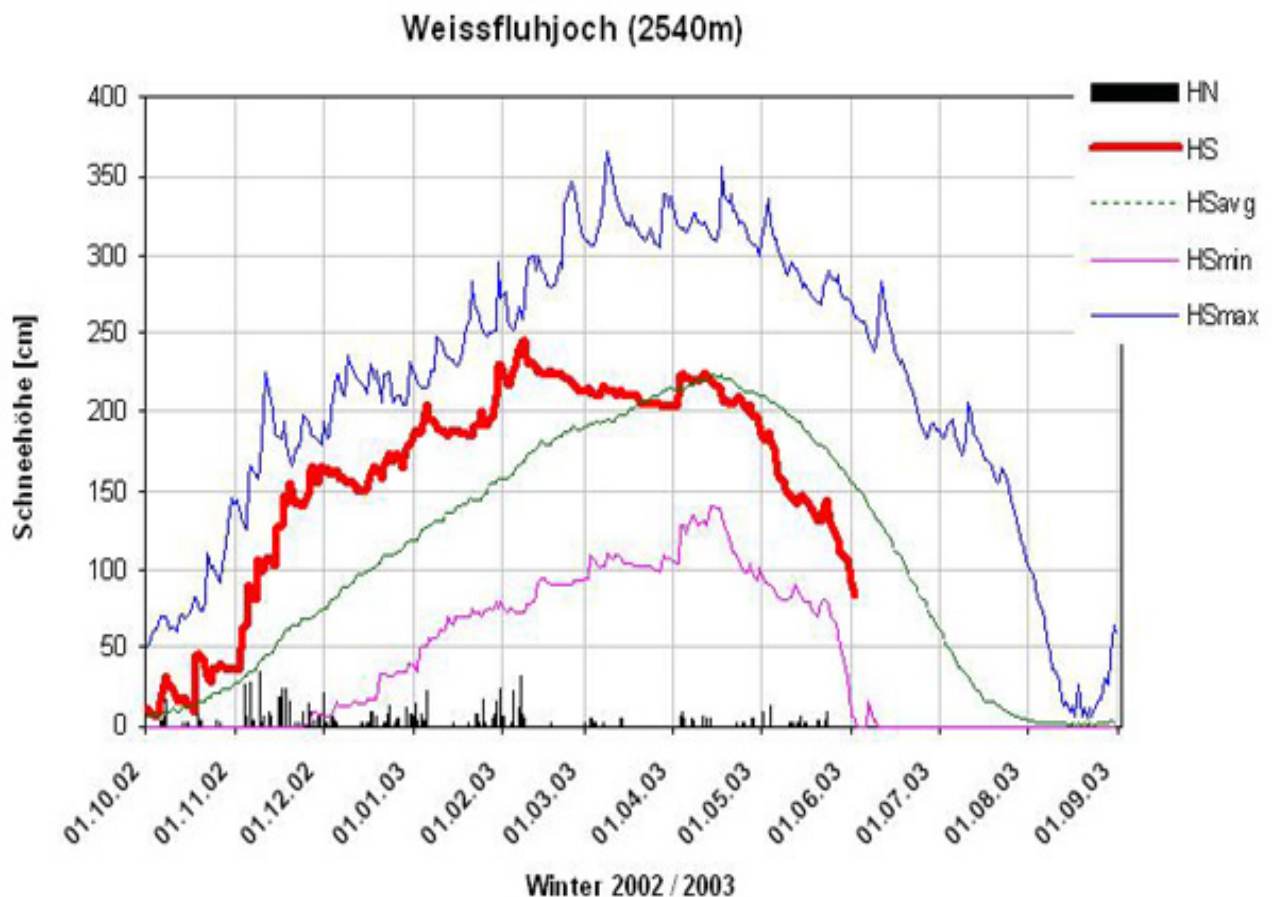


Abb. 4.1.7.: Schneehöhenverlauf an der Station Weissfluhjoch (2540 m.ü.M.). Schneehöhe (dicke rote Linie HS), die Neuschneehöhe (schwarze senkrechte Balken unten an der X-Achse HN). Blau (HSmax) und lila (HSmin) sind maximale und minimale Schneehöhe in den 67 Wintern zuvor. (Grafik SLF 2003) Die Klimamessstation des Weissfluhjoch liegt nahe den Untersuchungsgebieten und kann somit als vergleichbar angenommen werden. (Abb. Von SLF 2004)

4.2. Jahrringdaten

Zur Auswertung wurde lediglich der Zeitraum von 1900-2003 betrachtet, da aus dieser Zeit kontinuierliche Klimadaten vorliegen, sowie Daten zu Lärchenwicklerjahren. Des Weiteren sind in dieser Periode die meisten Jahrringmessreihen vollständig. Als Extremjahre werden im folgenden Jahre mit ungewöhnlichen Witterungsverhältnissen bezeichnet. Im Rahmen dieser Arbeit ist dabei die Rede von Jahren mit ungewöhnlich hohen durchschnittlichen Lufttemperaturen, bzw. ungewöhnlich wenigen Niederschlägen im Vergleich zu anderen Jahren. Das Alter der untersuchten Bäume ist sehr unterschiedlich. Es gab Arven, deren Durchmesser grösser als 1,20m war. Da der Zuwachsbohrer lediglich 40 cm lang ist wurde der Kern dieser mächtigen Bäume nicht erreicht, somit war es nicht möglich, das Alter zu bestimmen. Die ältesten bestimmbar Exemplare sind etwas älter als 500 Jahre.

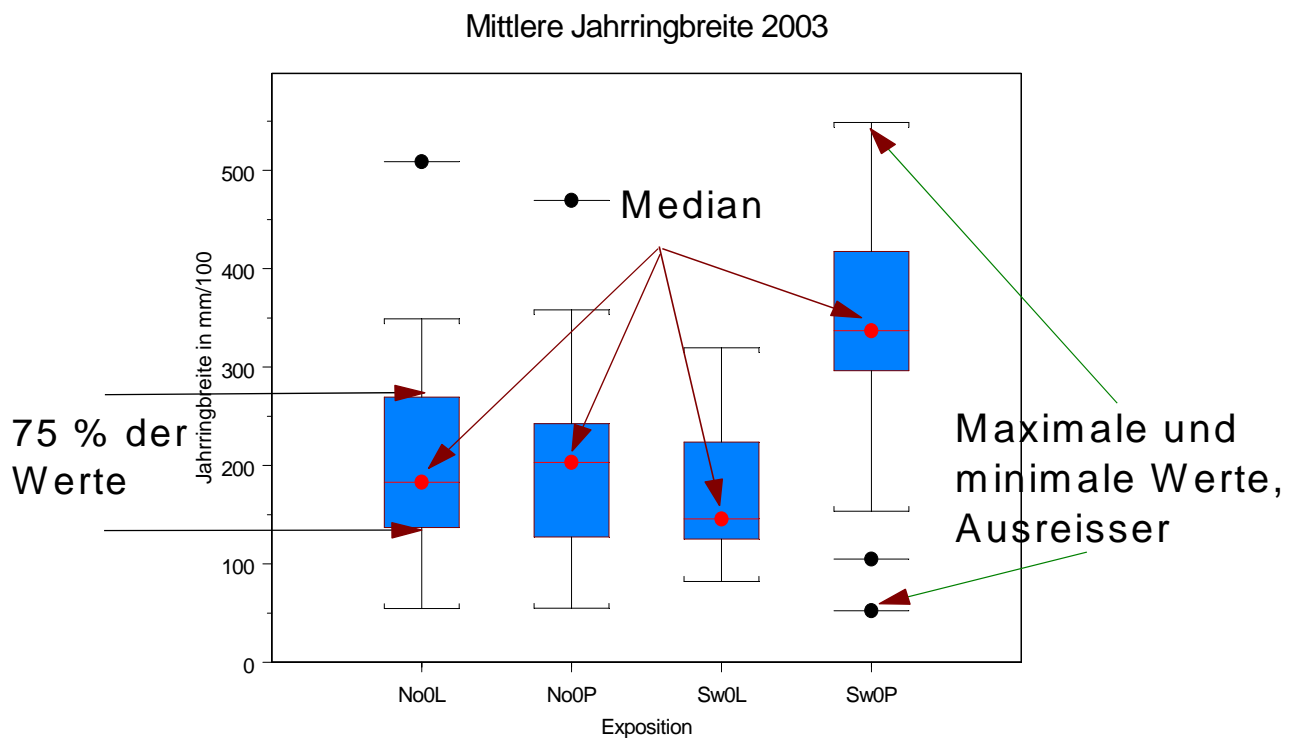


Abb. 4.2.1.: Interpretation eines boxplots, am Beispiel der mittleren Jahrringbreite 2003 für Lärchen am Südwest- (Sw0L) und am Nordosthang (No0L), sowie für Arven am Südwest- (Sw0P) und am Nordosthang (No0P).

4.2.1. Vergleich Jahrringzuwachs von Extremjahren mit den jeweiligen 2 Jahren davor

Im 20igsten Jahrhundert gab es insgesamt 8 ausgeprägte sommerliche Hitzewellen. In diesem Abschnitt werden 6 Extremjahre 2003, 1994, 1983, 1976, 1952 und 1947 im Hinblick auf das Jahrringwachstum näher betrachtet. Dabei werden jeweils die Jahrringbreiten von drei aufeinanderfolgenden Jahren miteinander verglichen, das jeweilige Extremjahr und die beiden Jahre zuvor. Die Jahre vor den jeweiligen Extrem- bzw. Warmjahren werden in der vorliegenden Arbeit als Normaljahre bezeichnet. Normaljahr soll in diesem Fall definiert werden, als Jahr mit Niederschlägen und Lufttemperaturwerten, die weitgehend den mittleren Werten aller vorangegangenen, aufgezeichneten Jahre entsprechen. Um auszuschließen, dass auch das direkt dem Extremjahr vorangegangene Jahr ein Extremjahr war, wurden jeweils zwei vorangehende Jahrringe betrachtet. Das Dendrogramm DENDROCLIM (BIONDI 2004) vergleicht ebenfalls zwei vorangegangene Jahre mit einem Extremjahr

4.2.1.1. Vergleich Jahre 2003/2002/2001

Ein direkter Vergleich der gemessenen Jahrringbreiten von Lärchen am Nordosthang, aus dem Extremjahr 2003 mit dem Jahr 2002, ergibt höhere Medianwerte im Jahr 2003, zeigt jedoch keinen signifikanten Unterschied (Wilcoxon rank sum test: p-Wert 0.477). Der Vergleich der Jahre 2003 und 2001 zeigt einen deutlich höheren Wert in der Jahrringbreite des Jahres 2003 (Wilcoxon rank sum test: p-wert 0.0601). Der direkte Vergleich von Arven am Nordosthang des Jahres 2003 mit dem Jahr 2002 ergab keine signifikanten Zuwachsunterschiede (Wilcoxon rank sum test: p-Wert 0.497). Der Jahrringzuwachs war im Jahr 2001 größer als 2003 (Wilcoxon rank sum test: p-Wert 0.0559). *Larix decidua* am Südwesthang zeigt in den Jahrringbreiten von 2003 keine signifikanten Unterschiede zu den Jahren 2002 und 2001. (Wilcoxon rank sum test: 2003/2002 p-Wert 0.0742; 2003/2001 p-Wert 0.7972). Beim Vergleich von *Pinus cembra* am Südwesthang (2003-2001) ist kein signifikanter Unterschied in der mittleren Jahrringbreite zu erkennen (Wilcoxon rank sum test 2003/2002 p-Wert 0.0634; 2003/2001 p-Wert 0.7584). Im Jahr 2001 sind die Medianwerte der mittleren Jahrringbreiten etwas grösser, als in den folgenden beiden Jahren (Abb:4.2.1.1.).

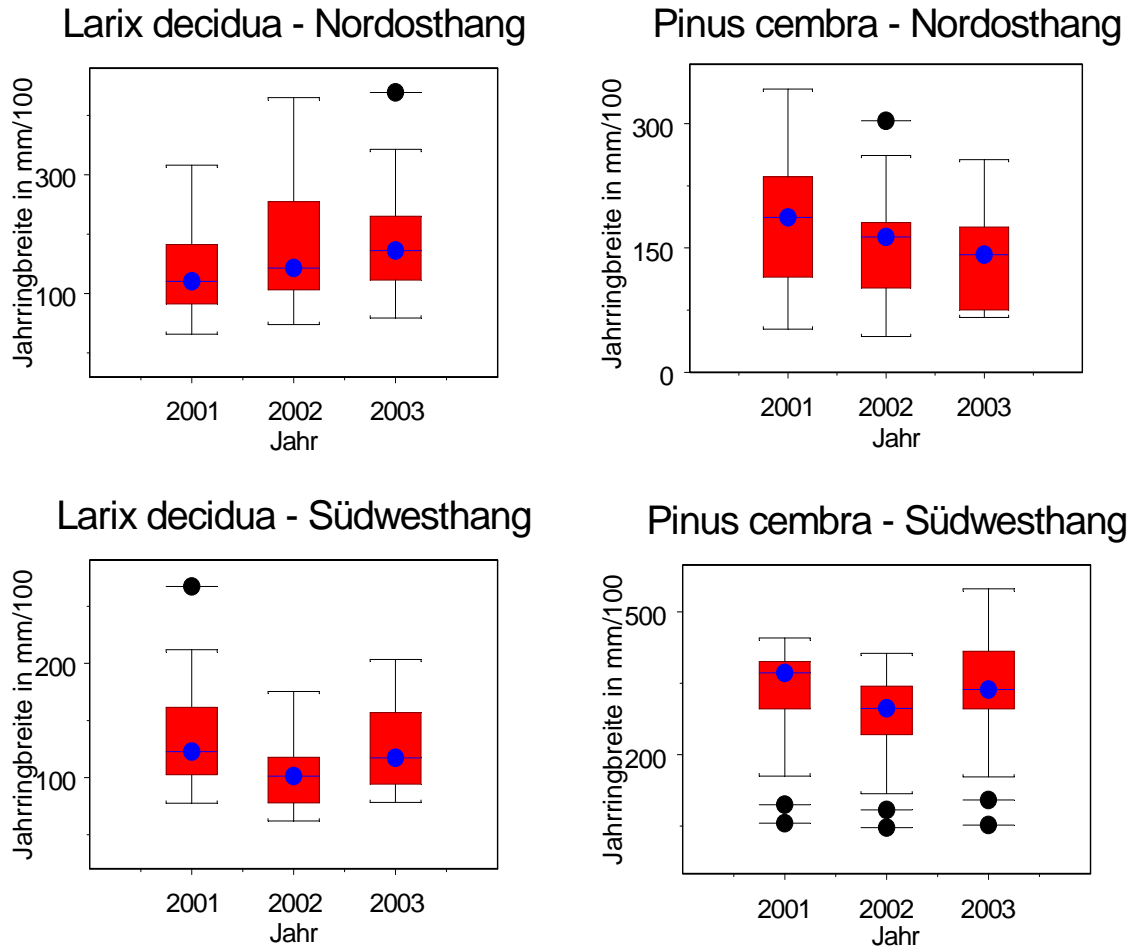


Abb. 4.2.1.1.: Mittleres Jahringbreitenwachstum 2003, 2002 und 2001. Links oben Medianwerte vom mittleren Jahringbreitenwachstum 2003, 2002 und 2001 von *Larix decidua* am Nordosthang. Rechts oben Medianwerte vom mittleren Jahringbreitenwachstum 2003, 2002 und 2001 von *Pinus cembra* am Nordosthang. Links unten Medianwerte vom mittleren Jahringbreitenwachstum 2003, 2002 und 2001 von *Larix decidua* am Südwesthang. Rechts unten Medianwerte vom mittleren Jahringbreitenwachstum 2003, 2002 und 2001 von *Pinus cembra* am Südwesthang.

4.2.1.2. Vergleich Jahre 1994/1993/1992

Die Jahringzuwächse der Jahre 1994-1992 waren relativ groß, lediglich die Lärche am Südwesthang verzeichnet durchschnittlich etwas geringere Zuwächse. Ein Vergleich der Lärchen am Nordosthang ergibt keine signifikanten Unterschiede in den Jahringbreiten der Jahre 1994, 1993 und 1992 (P-Werte des Wilcoxon rank sum test: für 1994/1993:0.1918, für 1994/1992: 0.7584). Im Jahr 1994 war das durchschnittliche Wachstum etwas höheres, als in den beiden Vorjahren. Die Arven am Nordosthang zeigen keine signifikanten Unterschiede in den Jahringbreiten (Wilcoxon rank sum test 1994/1993: p-Wert 0.8813; p-Wert für 1994/1992: 0.7917).

Ergebnisse

Am Südwesthang hatte die Lärche 1992 ein signifikant grösseres Dickenwachstum als 1994 (P-Wert aus dem Wilcoxon rank sum test = 0). Die Jahrringe des Jahres 1993 waren ebenfalls breiter als die des Jahres 1994, jedoch in keiner signifikanten Größenordnung (Wilcoxon rank sum test P-Wert: 0.0582). Am Südwesthang hatten die Arven 1994 einen signifikant grösseren Dickenzuwachs als 1993 (P-Wert aus dem Wilcoxon rank sum test: 0.043). Im Vergleich zu 1992 war die Veränderung jedoch nicht signifikant (P-Wert: 0.6205)(Abb:4.2.1.2.).

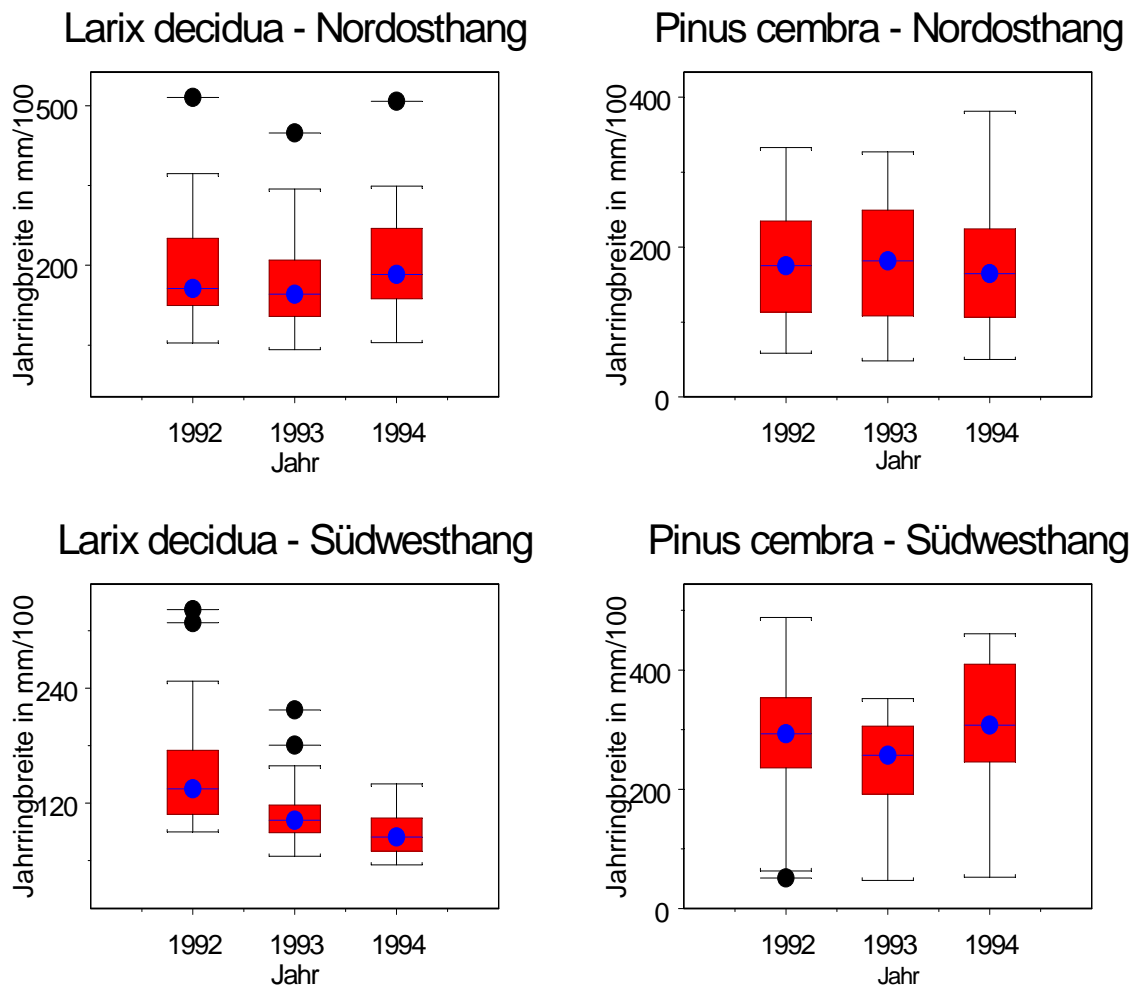


Abb. 4.2.1.2.: Mittleres Jahrringbreitenwachstum 1994, 1993 und 1992. Links oben Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1994, 1993 und 1992 von *Larix decidua* am Nordosthang. Rechts oben Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1994, 1993 und 1992 von *Pinus cembra* am Nordosthang. Links unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1994, 1993 und 1992 von *Larix decidua* am Südwesthang. Rechts unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1994, 1993 und 1992 von *Pinus cembra* am Südwesthang.

4.2.1.3. Vergleiche Jahr 1983/1982/1981

1983 war in der gesamten Schweiz ein warmes Jahr mit einer hohen durchschnittlichen Lufttemperatur. *Larix decidua* verzeichnete am Nordosthang eher geringere Jahrringbreiten, wie auch in den zwei Jahren zuvor. Der Unterschied des Dickenwachstums der Jahre 1983, 1982 und 1981 ist am Nordosthang für die Lärche nicht signifikant (Wilcoxon rank sum test: P-Wert 0.4652 für 1983/1982, bzw. 0.7584 für 1983/1981). Die Arven am Nordosthang hatten 1983 nicht signifikant grössere Jahrringzuwächse, als in den vorhergehenden beiden Jahren (P-Werte für 1983/1982: 0.5886; 1983/1981: 0.2177). Am Südwesthang hatten die Lärchen in allen drei miteinander verglichenen Jahren einen geringen Dickenzuwachs, dabei gibt es keinen signifikanten Unterschied (P-Werte: 0.3234 für 1983/1982 und 0.3547 für 1983/1981). *Pinus cembra* wies in allen drei betrachteten Jahren grössere Jahrringbreiten auf, dabei waren die Dickenzuwächse 1983 am grössten (P-Werte: 1983/1982: 0.3369; 1983/1981: 0.0207).

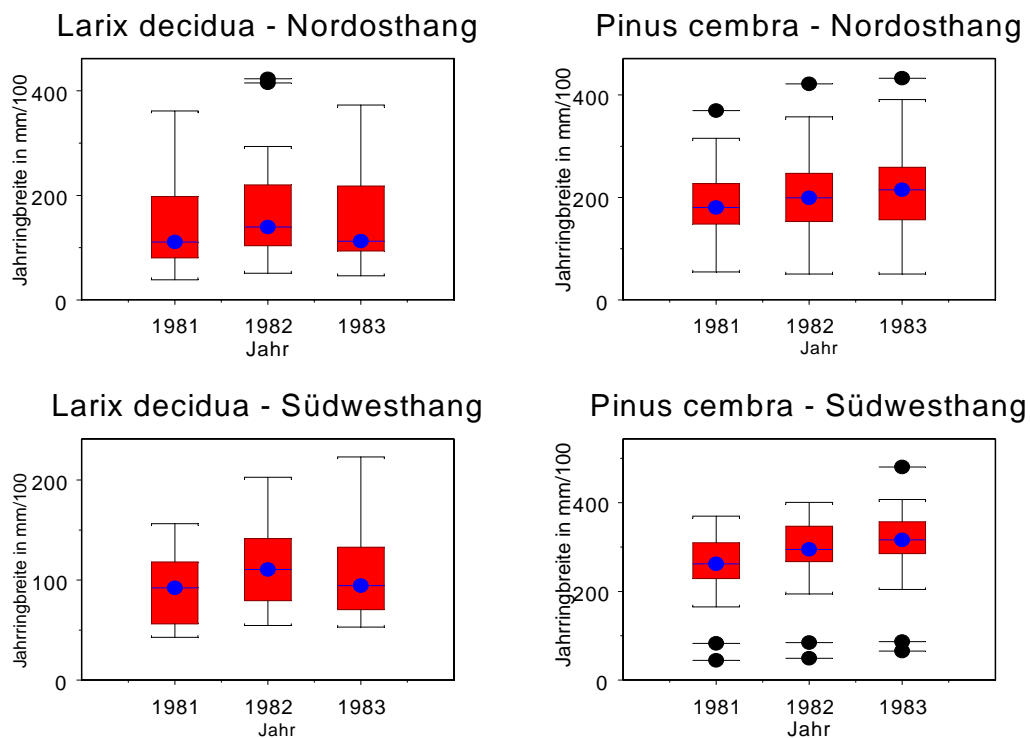


Abb. 4.2.1.3.: Mittleres Jahrringbreitenwachstum 1983, 1982 und 1981. Links oben *Larix decidua* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1983, 1982 und 1981. Rechts oben *Pinus cembra* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1983, 1982 und 1981. Links unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1983, 1982 und 1981 von *Larix decidua* am Südwesthang. Rechts unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1983, 1982 und 1981 von *Pinus cembra* am Südwesthang.

4.2.1.4. Vergleiche Jahr 1976/1975/1974

In den drei betrachteten Jahren zeigen die Lärchen sowohl am Nordosthang, als auch am Südwesthang geringe Jahrringbreiten. Dabei verzeichnet das Extremjahr die grössten Dickenzuwächse. Am Nordosthang gibt es keinen signifikanten Unterschied im Jahrringwachstum der drei betrachteten Jahre (P-Werte 1976/1975: 0.0764; 1976/1974: 0.2211). Am Südwesthang gibt es zwischen 1976 und 1975 einen signifikanten Unterschied (P-Wert: 0.022). Der Unterschied zw. 1976 und 1974 ist hingegen nicht signifikant (P-Wert: 0.4328). Die Arven hatten von 1974-1976 ein relativ gleichförmiges Jahrringbild ohne bemerkenswerte Unterschiede, sowohl am Nordosthang, als auch am Südwesthang (P-Werte für den NO Hang 1976/1975: 0.8422; 1976/1974: 0.8228; für den SW Hang: 0.4945 für 1976/1975; 0.7381 für 1976/1974).

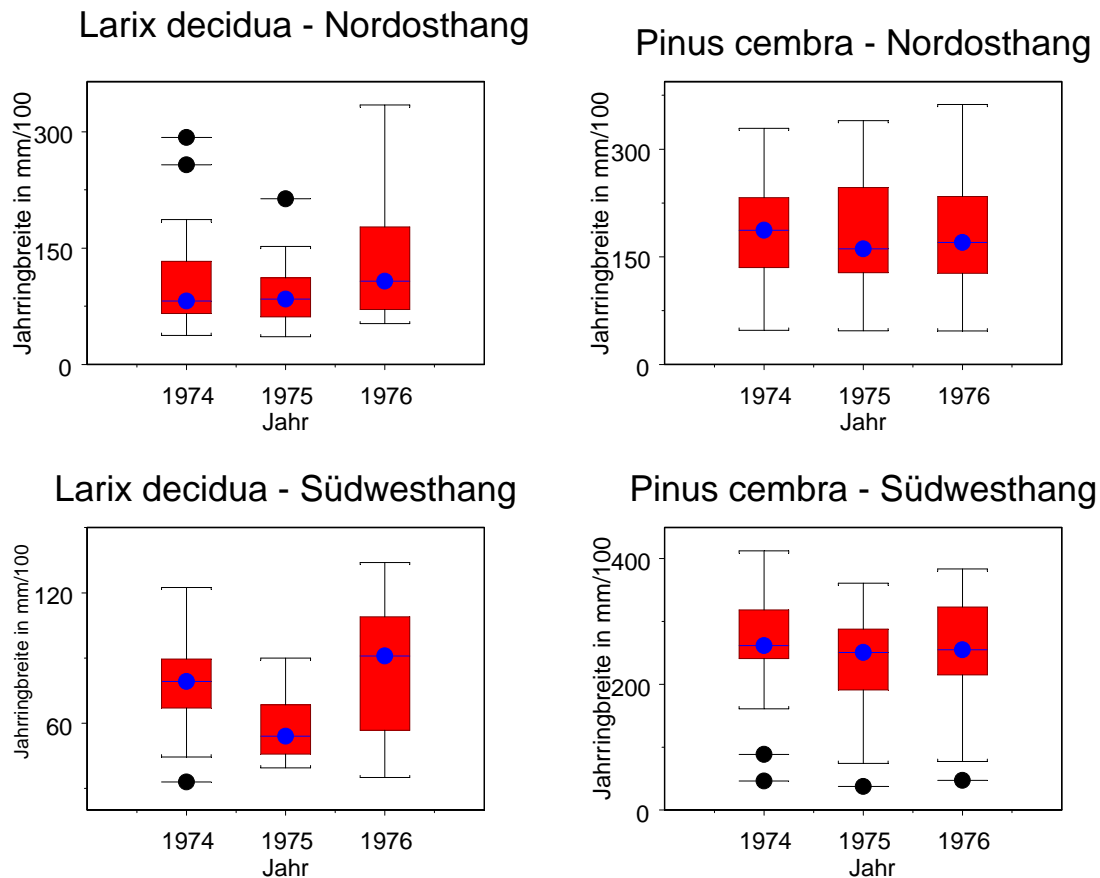


Abb. 4.2.1.4.: Mittleres Jahrringbreitenwachstum 1976, 1975 und 1974. Links oben *Larix decidua* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1976, 1975 und 1974. Rechts oben *Pinus cembra* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1976, 1975 und 1974. Links unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1976, 1975 und 1974 von *Larix decidua* am Südwesthang. Rechts unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1976, 1975 und 1974 von *Pinus cembra* am Südwesthang.

4.2.1.5. Vergleiche Jahr 1952/1951/1950

Bei Lärchen am Nordosthang gibt es nahezu keine Unterschiede in der Jahrringbreite, in den drei miteinander verglichenen Jahren (Wilcoxon rank sum test 1952/1951 p-Wert: 0.8955; 1952/1950 p-Wert: 0.7151). Am Südwesthang zeigen die Lärchen im Jahr eine grössere Jahrringbreitenzunahme als in den beiden darauf folgenden Jahren (P-Werte für 1952/1951: 0.8287, bzw. für 1952/1950: 0.0763). Die Arven zeigen für den betrachteten Zeitraum am Nordosthang und am Südwesthang keine signifikanten Unterschiede im Jahrringwachstum (P-Werte NO Hang 1952/1951: 0.6781; 1952/1950: 0.8264 und am SW Hang 1952/1951: 0.7381; 1952/1950: 0.8201).

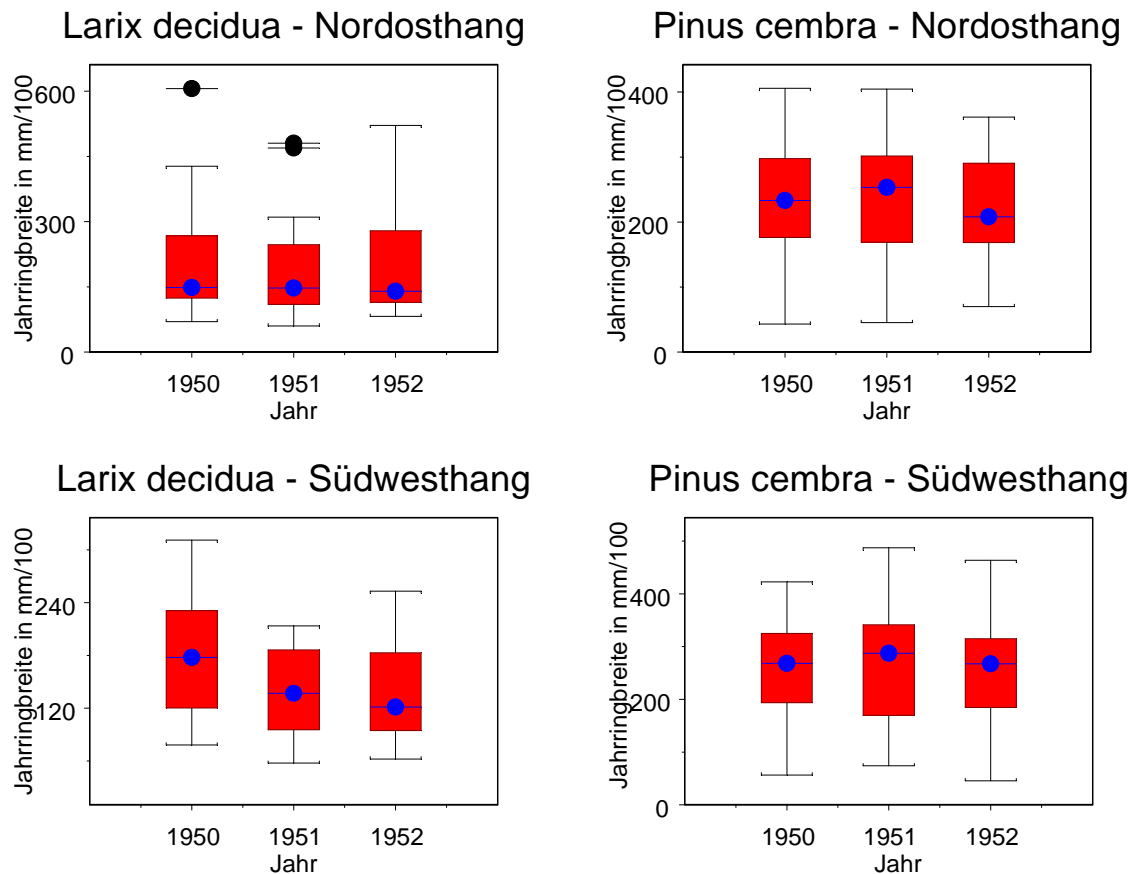


Abb. 4.2.1.5.: Mittleres Jahrringbreitenwachstum 1952, 1951 und 1950. Links oben *Larix decidua* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1952, 1951 und 1950. Rechts oben *Pinus cembra* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1952, 1951 und 1950. Links unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1952, 1951 und 1950 von *Larix decidua* am Südwesthang. Rechts unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1952, 1951 und 1950 von *Pinus cembra* am Südwesthang.

4.2.1.6. Vergleiche Jahr 1947/1946/1945

Larix decidua zeigt am Nordosthang in den Jahren 1947/1946/1945 keine signifikanten Unterschiede im Jahrringwachstum (P-Wert 1947/1946:0.8626; 1947/1945: 0.3394). Am Südwesthang sind bei Lärchen ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Die Jahre 1945 und 1947 zeigen gegenüber 1946 grössere Medianwerte (P-Werte 1947/1946: 0.081; 1947/1945: 0.2977). *Pinus cembra* lässt keine bemerkenswerten Differenzen im Jahrringbild erkennen, weder am Nordosthang noch am Südwesthang (P-Werte NO Hang 1947/1946: 0.841; 1947/1945: 0.5291, am SW Hang 1947/1946: 0.3588; 1947/1945: 0.5418).

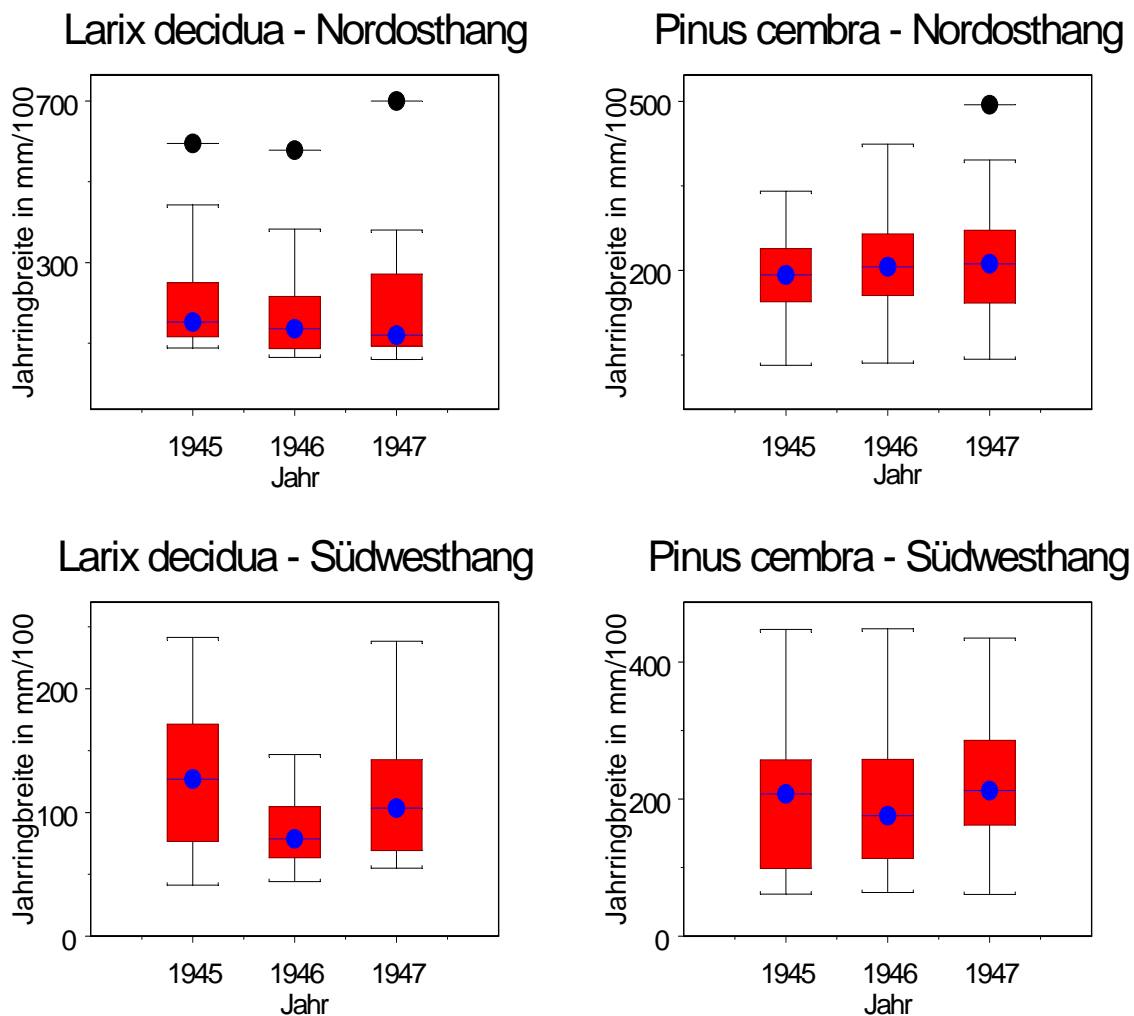


Abb. 4.2.1.6.: Mittleres Jahrringbreitenwachstum 1947, 1946 und 1945. Links oben *Larix decidua* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1947, 1946 und 1945. Rechts oben *Pinus cembra* am Nordosthang. Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1947, 1946 und 1945. Links unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1947, 1946 und 1945 von *Larix decidua* am Südwesthang. Rechts unten Medianwerte vom mittleren Jahrringbreitenwachstum 1947, 1946 und 1945 von *Pinus cembra* am Südwesthang.

4.3. Vergleich von Jahrringbreiten an verschiedenen Expositionen am Beispiel des Extremjahres 2003

Die Medianwerte des durchschnittlichen Wachstums sind für das Jahr 2003, am Nordosthang etwas grösser, als am Südwesthang. Jedoch ist die Differenz nicht signifikant. Der Wilcoxon rank sum test ergab einen P-Wert von 0.185 (Abb.: 4.3.1.).

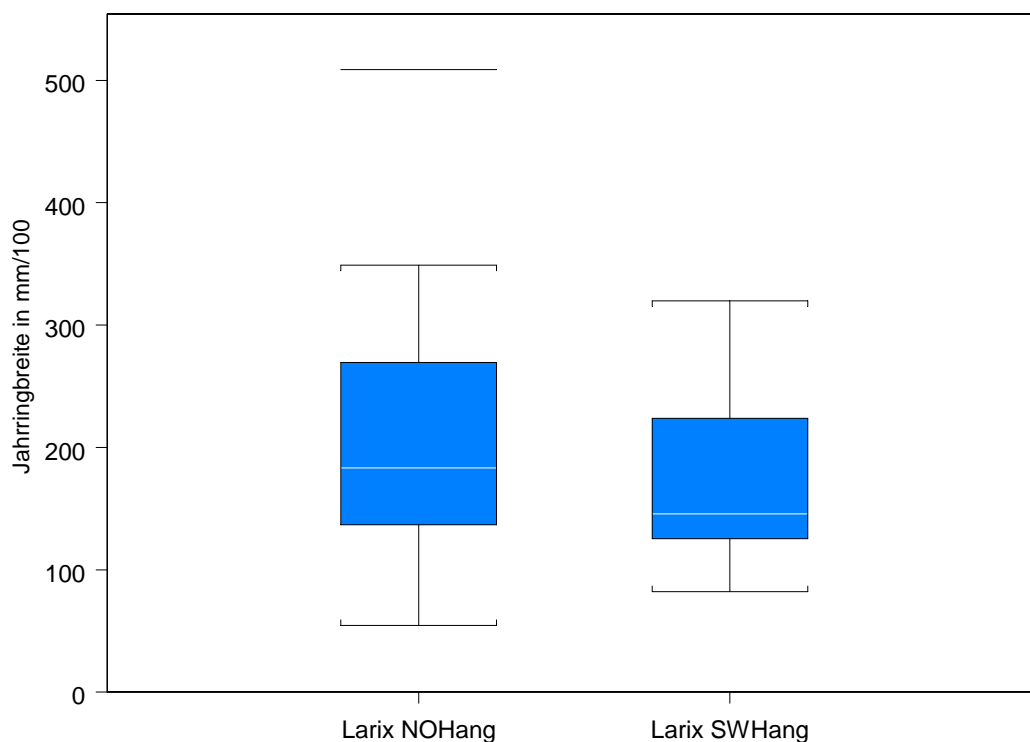


Abb. 4.3.1.: Vergleich *Larix decidua* 2003, Nordost- / Südwesthang. Am Nordosthang (linker plot) liegt der Medianwert des mittleren Jahrringwachstums etwas höher als am Südwesthang (rechter plot)

Bei einem Vergleich von *Pinus cembra* an beiden untersuchten Expositionen zeigt sich ein deutlich ein verstärktes Jahrringwachstum am Südwesthang. Die Unterschiede sind hochsignifikant, am Südwesthang liegt der Medianwert für den

Ergebnisse

Südwesthang bei 350mm/100, während am Nordosthang ein Medianwert von 200 mm/100 erreicht wird (P-Wert für Wilcoxon rank sum test: 0.0007). (Abb.: 4.3.2.)

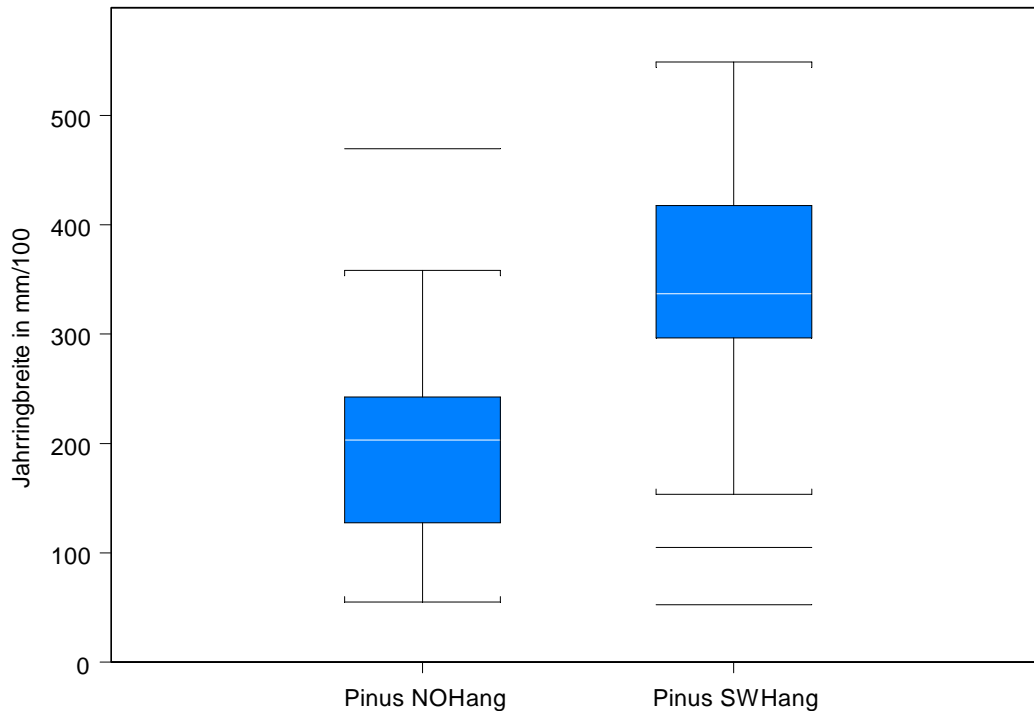


Abb. 4.3.4.:Vergleich *Pinus cembra* 2003, Nordost / Südwesthang. Der linke Plot , (Nordosthang) weist ein, gegenüber dem rechten Plot (Südwesthang), deutlich verringertes mittleres Jahrringwachstum auf.

4.4. Direkter Vergleich des Extremjahres 2003 mit anderen Extremjahren des 20. Jahrhunderts

Ein direkter Vergleich des Extremjahres 2003 mit verschiedenen Jahren des 20igsten Jahrhunderts, mit ähnlichen Witterungsverläufen aufweisen zeigt, dass die durchschnittlichen Jahrringbreiten der untersuchten Lärchen im Vergleich zu den Extremjahren 1994, 1983, 1976, 1952, 1947, 1921 und 1911, im Jahre 2003 sowohl am Nordost-, als auch am Südwesthang am grössten waren. Das Wachstum von *Larix decidua* am Nordosthang war in allen betrachteten Jahren deutlich grösser, als

Ergebnisse

am Südwesthang (Abb.4.4.1.). Der Kruskal wallis rank sum test ergab einen χ^2 -Wert von 4.864 und einen p-Wert von 0.0274. Das bedeutet, dass es zwischen den Jahrringbreiten der Lärchen zwischen Nordost- und Südwesthang einen signifikanten Unterschied gibt.

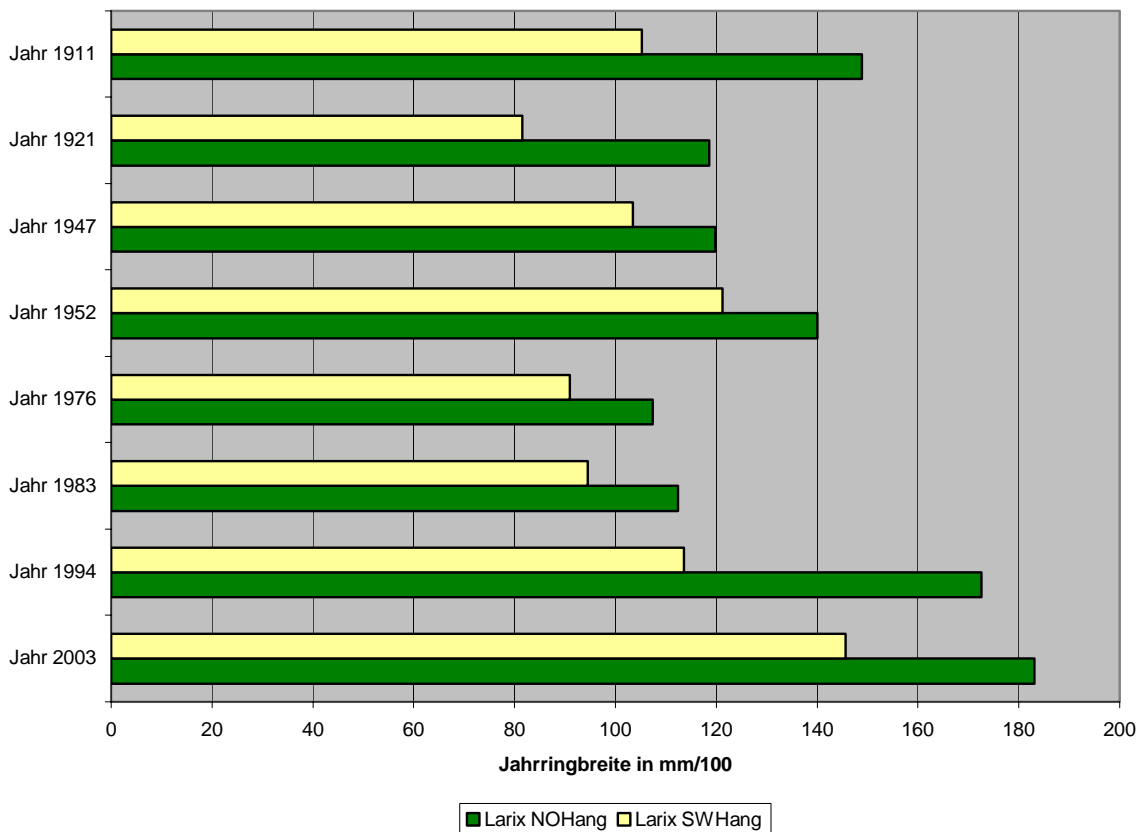


Abb. 4.4.1.: Larix decidua am Nordosthang zeigen deutlich größere Jahrringbreiten über alle betrachteten Extremjahre. Der Spitzenwert wurde sowohl am Nordosthang, sowie auch am Südwesthang, im Jahre 2003 gemessen.

Eine Betrachtung der Arven am Südwesthang, bzw. am Nordosthang, ergibt, dass die Bäume ab dem Extremjahr 1952 am Südwesthang deutlich breitere Jahrringe aufweisen, als Arven am Nordosthang. Im Jahr 1921 war das Dickenwachstum am Nordosthang ausgeprägter als am Südwesthang, im Jahr 1947 waren die Jahrringbreiten auf beiden Expositionen nahezu gleich (Abb.4.4.2.). Eine statistische Analyse mit dem Kruskal wallis rank sum test ergab keine signifikanten Unterschiede (χ^2 -Wert 2.4853; P-Wert 0.1149). Testet man hingegen die Jahre 1952, 1976, 1983, 1994 und 2003 auf unterschiedliche Jahrringbreiten am Nordost-, bzw. Südwesthang, erhält man einen hochsignifikanten Unterschied (χ^2 -Wert 6.8598; P-

Ergebnisse

Wert 0.0088). Am Südwesthang hatte *Pinus cembra* 2003 die grössten Jahrringbreiten von allen in diesem Kapitel miteinander verglichenen Jahren. Am Nordosthang hatten die Jahre 1983, 1952 und 1947 breitere mittlere Jahrringe als 2003.

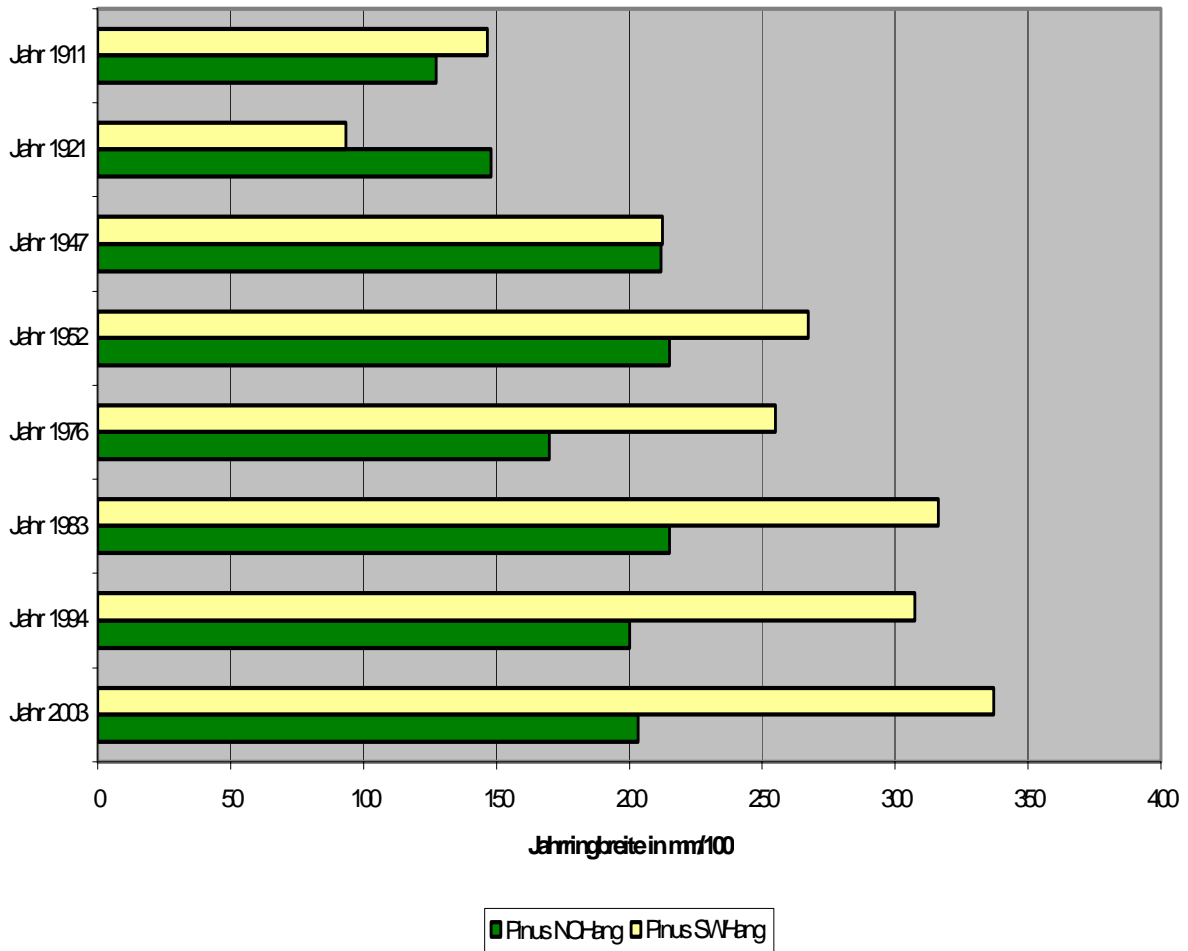


Abb.4.4.2.: Die Arven am Südwesthang zeigen, ab dem Extremjahr 1952, gegenüber den Arven am Nordosthang, deutlich breitere Jahrringe, lediglich in den Jahren 1911, 1921 und 1947 war das Dickenwachstum am Nordosthang ähnlich ausgeprägt, oder gar größer als am Südwesthang

4.5. Vergleich der Jahrringbreiten beider Baumarten *Larix decidua* und *Pinus cembra* im Jahre 2003

Der Wilcoxon rank sum test ergibt einen P-Wert von 0.8466, für den Vergleich der Medianwerte von Jahrringbreiten am Nordosthang. Demnach gibt es keinen signifikanten Unterschied im Dickenwachstum von Lärchen und Arven am Nordosthang im Jahr 2003 (Abb.4.5.1.).

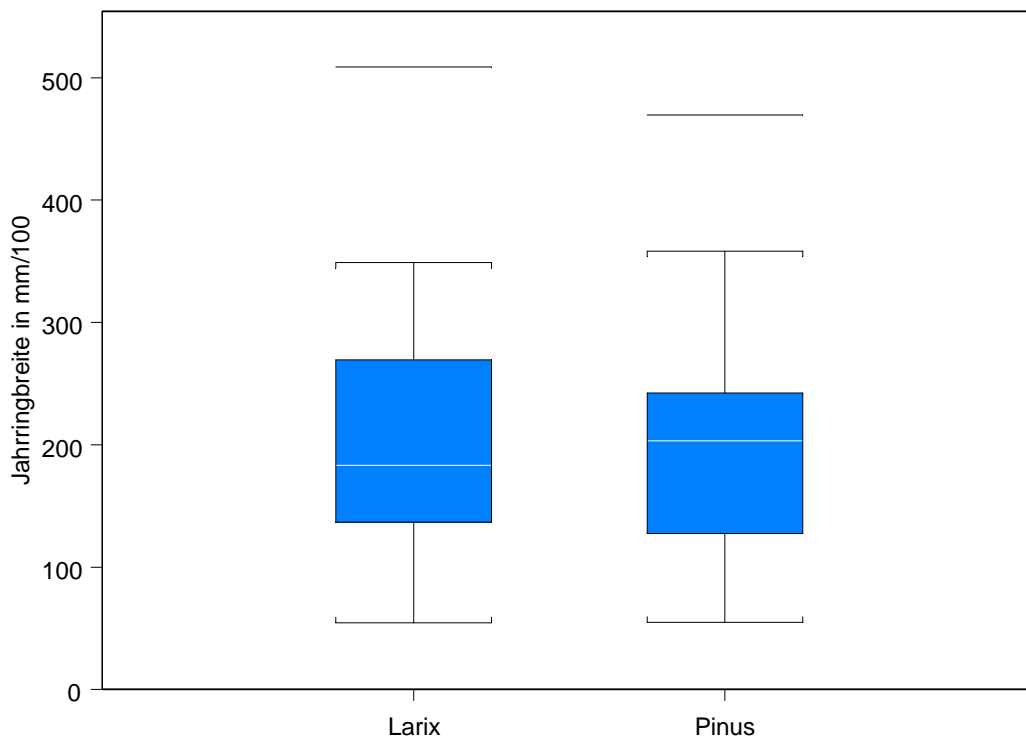


Abb. 4.5.1.: Vergleich der Medianwerte der Jahrringbreiten von Lärchen und Arven am Nordosthang. Der Median der Arven liegt knapp oberhalb 200 mm/100 pro Jahr, und damit etwas höher als der Median der Lärchen (< 200mm/100 pro Jahr).

Ergebnisse

Beim Vergleich von Lärchen und Arven am Südwesthang (Abb. 4.5.2.) ist ein hochsignifikanter Unterschied in der Jahrringbreite der beiden untersuchten Kollektive sichtbar (Wilcoxon rank sum test p-wert 0). Das Jahrringbreitenwachstum der Arven im Jahre 2003 bewegt sich zwischen 300 und 400 mm/100/Jahr, während die Jahrringbreiten der Lärchen im Jahr 2003 Werte zwischen 130 und 220 mm/100/Jahr aufweisen (jeweils 75 % der ermittelten Werte).

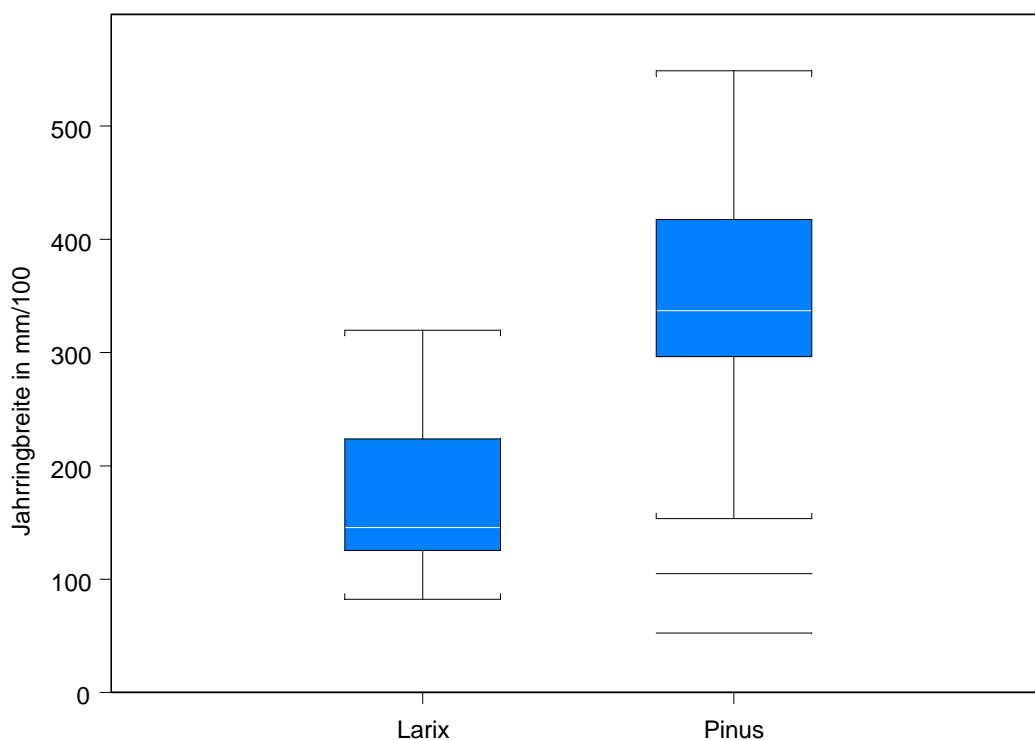


Abb. 4.5.2.: Medianwerte von Lärchen und Arven am Südwesthang 2003. *Pinus cembra* hat deutlich größere Jahrringbreiten (Median etwa 350 mm/100/Jahr) am Südwesthang, als *Larix decidua* (Median ca. 150mm/100 /Jahr).

4.6. Betrachtung der mikrostandörtlichen Verhältnisse und deren Einflüsse auf das Jahrringbreitenwachstum

Die Vegetationsaufnahmen, welche im Umfeld jedes beprobten Baumes aufgenommen wurden, liefern die Basis für eine nähere Betrachtung der Mikrostandörtlichen Verhältnisse. wurden die Zeigerwerte der nach BRAUN-BLANQUET (1964) aufgenommenen Pflanzen ausgerechnet. Im Besonderen wurden die gewichtete Feuchtezahl, die gewichtete Nährstoffzahl und die gewichtete Wechselfeuchtigkeit betrachtet (Genauere Erklärungen der Faktoren nach LANDOLT im Anhang). Eine nähere Betrachtung der angeführten Zeigerwerte ist für dieses Projekt ausreichend. Auf die Ermittlung weiterer Zeigerwerte wurde aus diesem Grund verzichtet.

Tab. 4.6.1.: Mittlere Zeigerwerte, ermittelt aus den Vegetationsaufnahmen bei beiden Baumarten, jeweils für den Südwest- und für den Nordosthang.

	Gewichtete Feuchtezahl	Gewichtete Nährstoffzahl	Gewichtete Wechselfeuchtezahl
<u>Nordosthang</u> <i>Larix decidua</i> (No0L)	2.7484	2.7997	0.1052
<u>Nordosthang</u> <i>Pinus cembra</i> (No0P)	2.4255	2.2941	0.1245
<u>Südwesthang</u> <i>Larix decidua</i> (Sw0L)	2.1251	2.0488	0.0087
<u>Südwesthang</u> <i>Pinus cembra</i> (Sw0P)	2.1980	1.8546	0.0513

Ergebnisse

Die Werte der gewichteten Feuchtezahlen (Abb.4.6.1.) sind am Nordosthang signifikant höher als am Südwesthang (Kruskal wallis rank sum test: P-Wert 0,0035). Unter Lärchen erreicht die gewichtete Feuchtezahl den höchsten Mittelwert aller vier betrachteten Kollektive (Tab. 4.6.1.).

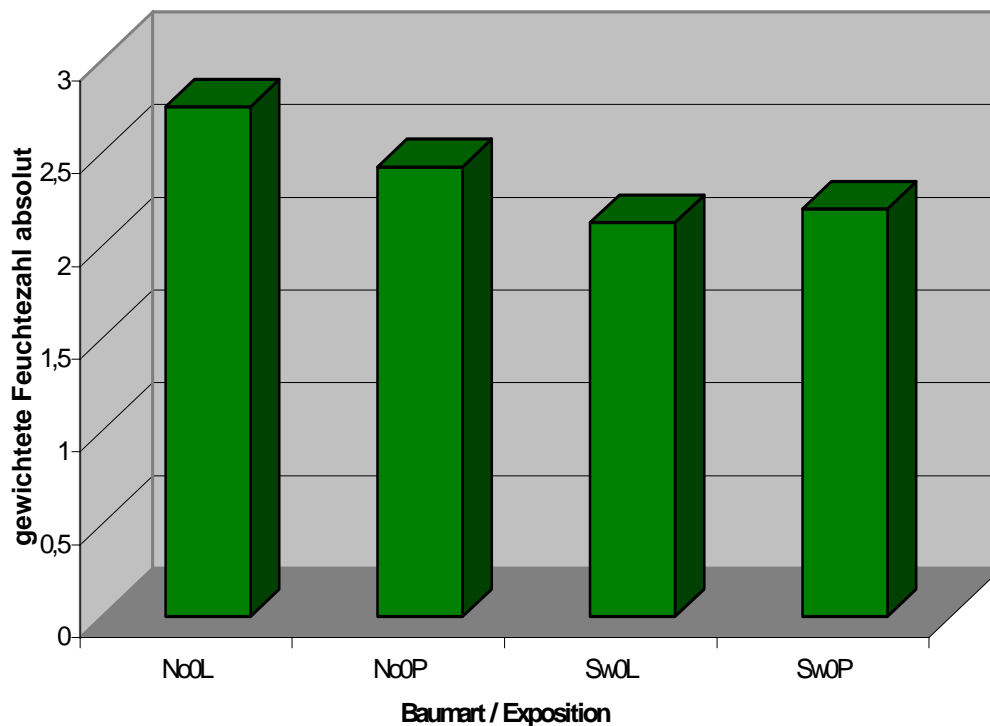


Abb. 4.6.1.: Gewichtete Feuchtezahlen. Am Nordosthang (No0L = Lärche Nordosthang, No0P = Arve am Nordosthang) sind die Werte für die gewichteten Feuchtezahlen höher, als am Südwesthang (Sw0L = Lärche Südwesthang, Sw0P = Arve Südwesthang)

Am Nordosthang wurden für die Vegetationsaufnahmen beider Baumarten bedeutend höhere Nährstoffzahlen (N-Werte) ermittelt als am Südwesthang. Die Auswertung der Pflanzen, die unter Lärchen aufgenommen wurden, ergab für beide Hänge höhere N-Werte, als die Analyse der Vegetation, die unter Arven ermittelt

Ergebnisse

wurde (Abb.4.6.2.). Die Differenzen der vier untersuchten Kollektive sind nach dem Kruskal Wallis Test hochsignifikant (P-Wert 0.0001).

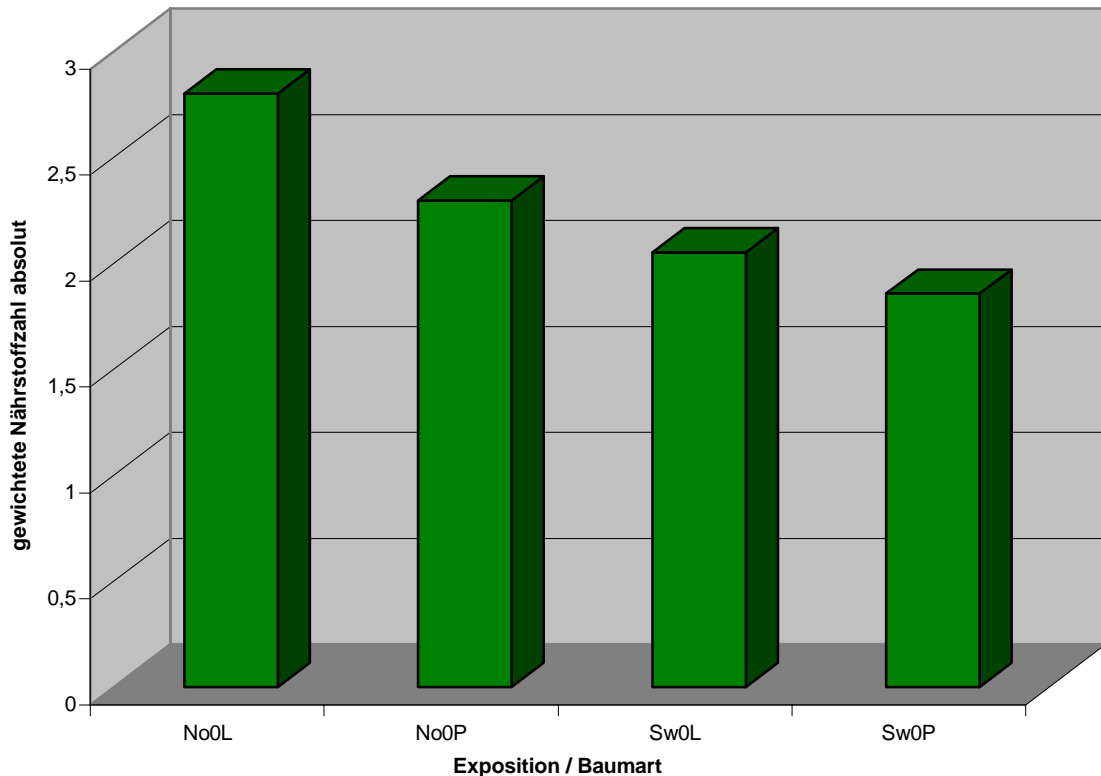


Abb.4.6.2.: Die gewichtete Nährstoffzahl ist am Nordosthang bedeutend größer als am Südwesthang. An beiden Expositionen wurden unter den Lärchen jeweils höhere Werte ermittelt als unter den Arven.

Die Wechselfeuchte wird in Werten zwischen 0 und 1 angegeben. Der Wert 0 signalisiert keine Wechselfeuchte, Standorte mit dem Wert 1 sind wechselfeucht. Am schattigeren Nordosthang sind die Werte sehr viel höher als am sonnigen Südwesthang. An beiden Expositionen stehen die untersuchten Arven insgesamt auf wechselfeuchteren Standorten als die Lärchen. Die Statistische Analyse mit dem Kruskal Wallis Test ergibt einen P-Wert von 0.0962. Dieser nicht – signifikante Wert

ergibt sich durch das niedrige Niveau der Werte. Eine visuelle Analyse zeigt signifikante Unterschiede (Abb.4.6.3.).

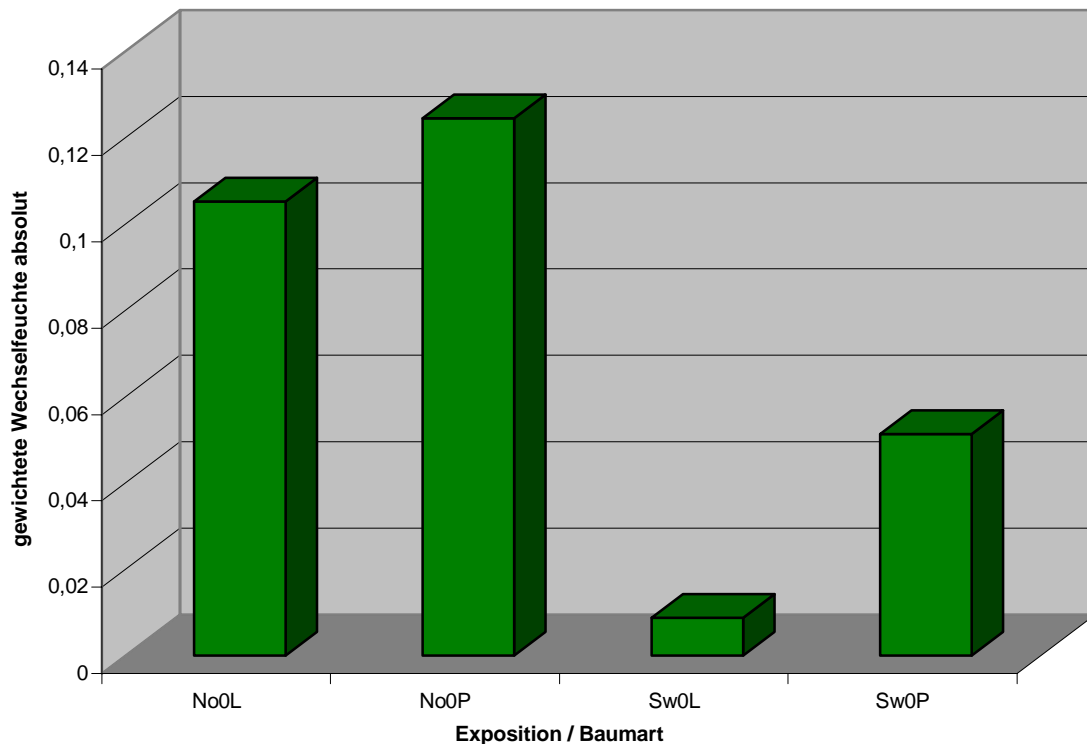


Abb.4.6.3.: Die gewichtete Wechselfeuchtezahl ist am Nordosthang gegenüber dem Südwesthang deutlich erhöht, dabei sind Die Standorte der Arven NO-Hang wechselfeuchter, als die Lärchenstandorte. Dieselben Verhältnisse zeigen sich am Südwesthang, auf einem deutlich niedrigeren Niveau.

4.7. Mögliche Prognosen für das Wachstumsverhalten in den folgenden beiden Jahren nach einem Extremereignis, anhand von Vergleichen mit früheren Ereignissen

Die Extremjahre 1994, 1983, 1976, 1952 und 1947, bzw. die jeweiligen beiden Folgejahre dienen als Grundlage für die folgenden Betrachtungen.

In einer statistischen Analyse wurden das jeweilige Extremjahr mit den jeweils folgenden beiden Jahren auf signifikante Unterschiede getestet. Die Daten sind nicht

Ergebnisse

normalverteilt, die Analyse wurde mit dem Kruskal Wallis rank sum test durchgeführt und ergab folgende Werte:

Tab. 4.7.1. : Vergleichswerte aus dem Kruskal Wallis rank sum test für Unterschiede zwischen den Extremjahren und den darauf folgenden Beiden Jahren.

	Chi² - Wert	P - Wert
<i>Larix decidua</i> Nordosthang	0.56	0.7558
<i>Pinus cembra</i> Nordosthang	3.12	0.2101
<i>Larix decidua</i> Südwesthang	0.98	0.6126
<i>Pinus cembra</i> Südwesthang	0.74	0.6907

Die Werte zeigen statistisch keine signifikanten Unterschiede im Jahrringbreitenwachstum zwischen den Extremjahren und den darauf folgenden beiden Jahren.

Bei einem statistischen Vergleich aller Extremjahre, jeweils einer Exposition, mit den direkten Folgejahren, erhält man für keine der untersuchten Baumarten und Standorte signifikante Unterschiede. Auch nicht dann, wenn man alle Medianwerte der Extremjahre zusammen, über alle Expositionen und Baumarten mit den Folgejahren vergleicht (Tab.: 4.7.2.).

Tab. 4.7.2.: Vergleich der Medianwerte aus den Extremjahren mit den direkten Folgejahren mit dem Wilcoxon rank sum test.

	P- Werte aus dem Wilcoxon test
NO-Hang, <i>Larix decidua</i>	0.6905
NO – Hang <i>Pinus cembra</i>	0.3095
SW – Hang <i>Larix decidua</i>	0.3095
SW – Hang <i>Pinus cembra</i>	0.6905
Gesamt, alle Expositionen / Baumarten	0.4612

Ergebnisse

Beim Vergleich von Lärchen am Nordosthang zeigt sich im ersten Jahr nach dem Extremereignis jeweils ein vermindertes Jahrringwachstum gegenüber den jeweiligen Extremjahren, mit Ausnahme des Jahres 1984. Der zweite Jahrring nach einem extremen Ereignis spiegelt unterschiedliche Reaktionen wieder (Abb.4.7.1.).

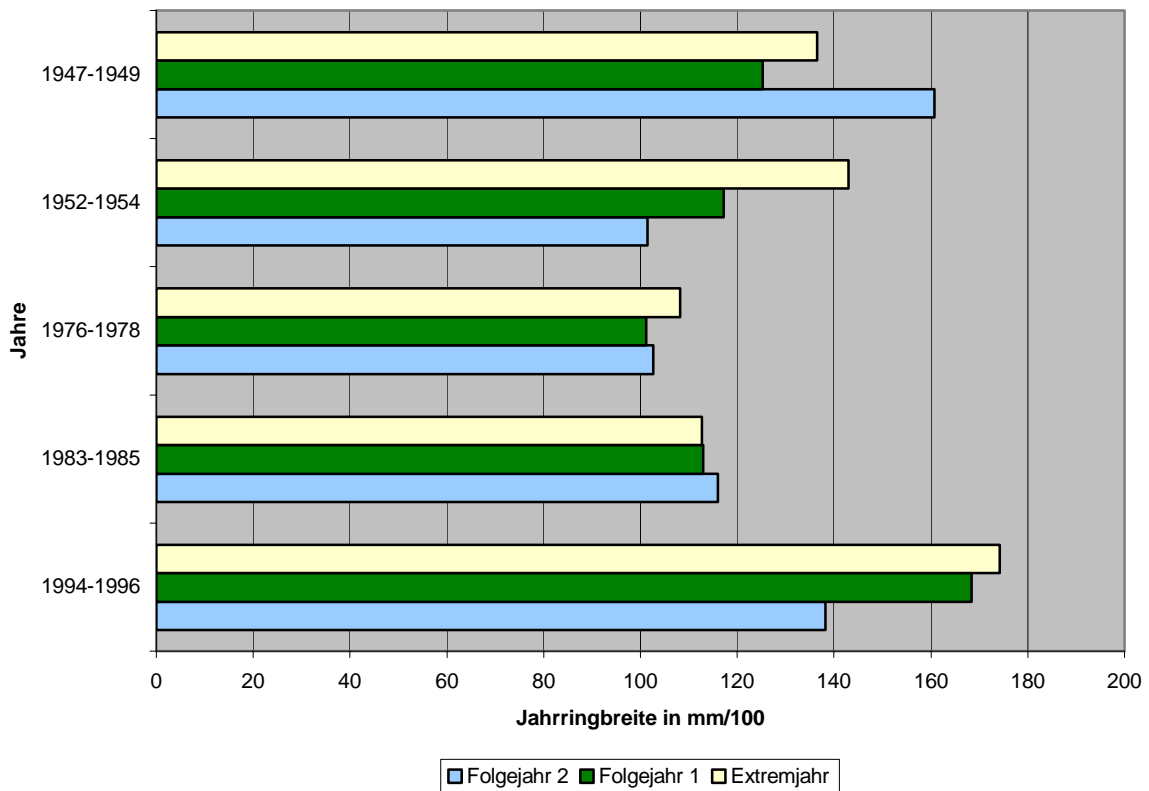


Abb. 4.7.1.: Vergleich der Extremjahre mit den jeweiligen beiden Folgejahren für *Larix decidua* am Nordosthang. Der gelbe Balken signalisiert jeweils das Extremjahr und ist zeigt im Vergleich zu den direkten Folgejahren (grüne Balken) die größeren Werte für Jahrringbreiten. Lediglich im Jahr 1984 gab es ein größeres Dickenwachstum im Folgejahr als im Extremjahr 1983. Im Folgejahr 2 (blauer Balken) gibt es unterschiedliche Zuwachsreaktionen, es gibt sowohl schwächeres, als auch stärkeres Wachstum als in den vorangehenden beiden Jahren.

Ergebnisse

Bei *Pinus cembra* am Nordosthang ist das Dickenwachstum im Extremjahr ausgeprägter als im darauf folgenden Jahr. Nur das Jahr 1953 weist im Vergleich zum Extremjahr (1952) größere Jahrringbreiten auf. Das Zweite Folgejahr zeigt in allen Jahren geringeres Wachstum als die vorigen beiden Jahre. Lediglich 1949 war das Dickenwachstum grösser (Abb. 4.7.2.).

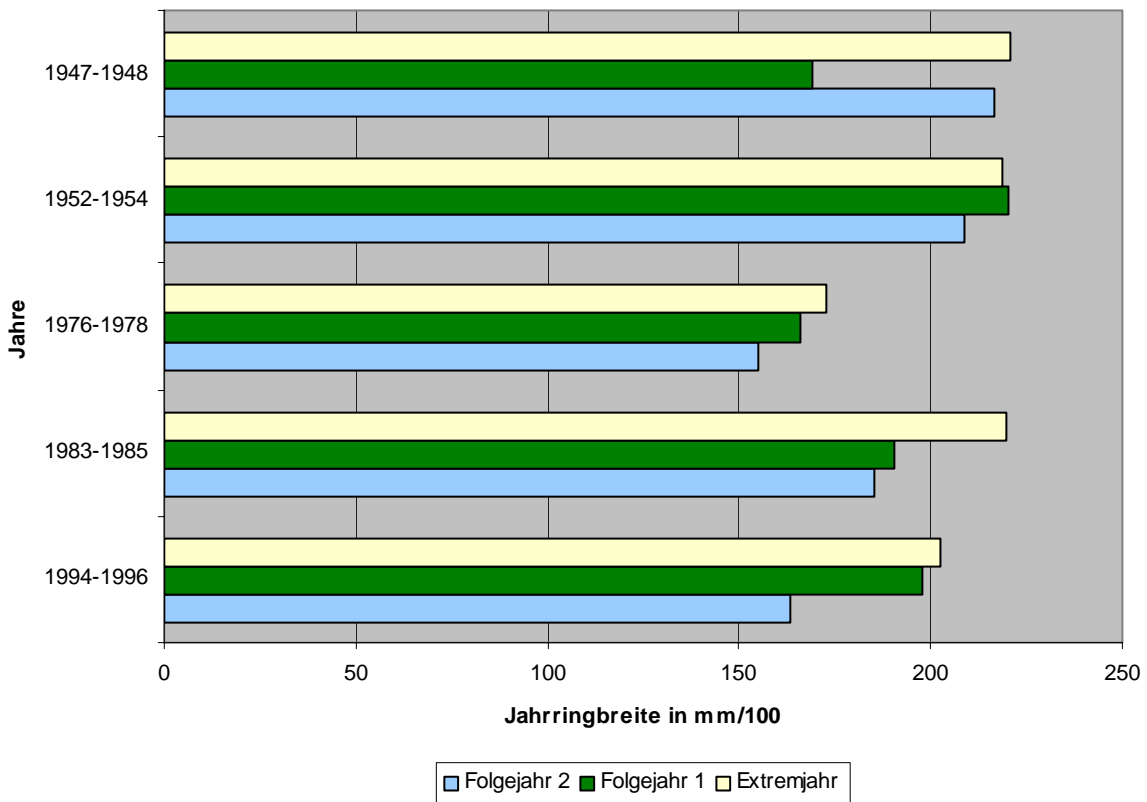


Abb. 4.7.2.: Vergleich Extremjahre / Folgejahre *Pinus cembra* am Nordosthang. In jeder Gruppe, mit Ausnahme der Jahre 1952-1954, sind die Jahrringbreiten der Extremjahre ausgeprägter als in den beiden folgenden Jahren. Lediglich in der ersten Gruppe ist das Wachstum des zweiten Folgejahres größer als das Wachstum des unmittelbaren Folgejahres. In den anderen Gruppen zeigte das zweite Folgejahr jeweils die geringsten Jahrringbreiten aller Jahre einer Gruppe.

Ergebnisse

Die Extremjahre *Larix decidua* am Südwesthang zeigen vor allem 1952 und 1976 ein deutlich erhöhtes Dickenwachstum gegenüber dem jeweiligen Folgejahr. Im Jahr 1995 gibt es höhere Werte als im Extremjahr 1994, ansonsten verzeichnen hier die Extremjahre grösseres Dickenwachstum, als die jeweiligen unmittelbaren Folgejahre. Der zweite Jahrring nach dem jeweiligen Extremereignis spiegelt unterschiedliche Reaktionen wieder. Während 1949 das Dickenwachstum sehr viel ausgeprägter war als in den beiden Jahren zuvor, ist beispielsweise 1994 und 1952 ein geringeres Wachstum zu sehen (Abb. 4.7.3.).

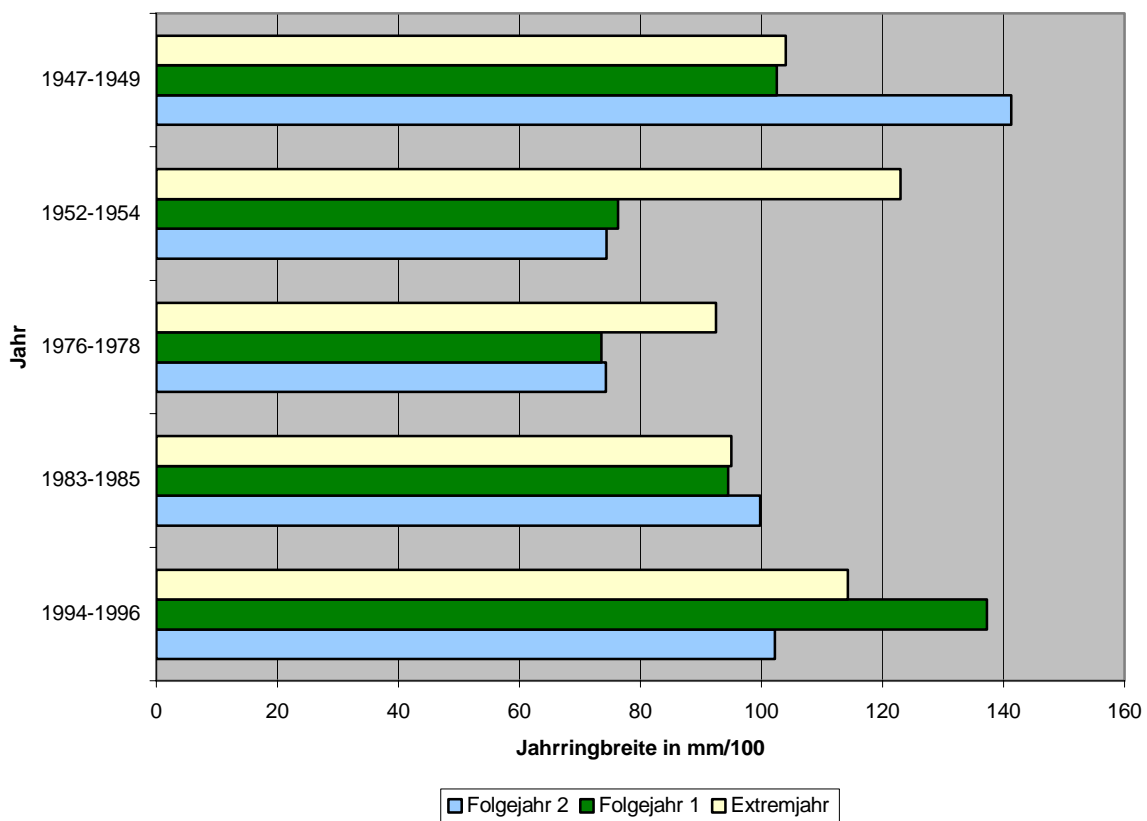


Abb. 4.7.3.: Vergleich der Extremjahre mit den jeweiligen beiden Folgejahren für *Larix decidua* am Südwesthang. In den Jahren 1949 und 1995 zeigen das Folgejahr 1 (1995) und das Folgejahr 2 (1949) die höchsten Werte der jeweiligen Gruppen. Ansonsten ist das jeweilige Extremjahr durch die größten Werte gekennzeichnet. Nur 1952/1953, 1948/1949 und 1994/1995 gibt es große Unterschiede in der Jahrringbreite, die anderen Werte liegen dicht beisammen.

Ergebnisse

Bei einer Betrachtung der Arven am Südwesthang erkennt man, dass die jeweiligen zweiten Jahrringe nach einem Extremereignis geringere Breiten haben, als die jeweils vorangegangenen Extremjahre selbst. Die direkten Folgejahre sind ebenfalls durch geringere Werte gekennzeichnet als die Werte aus den Ereignisjahren. In den Jahren 1977 und 1995 sind die Jahrringbreiten größer als in den Extremjahren.

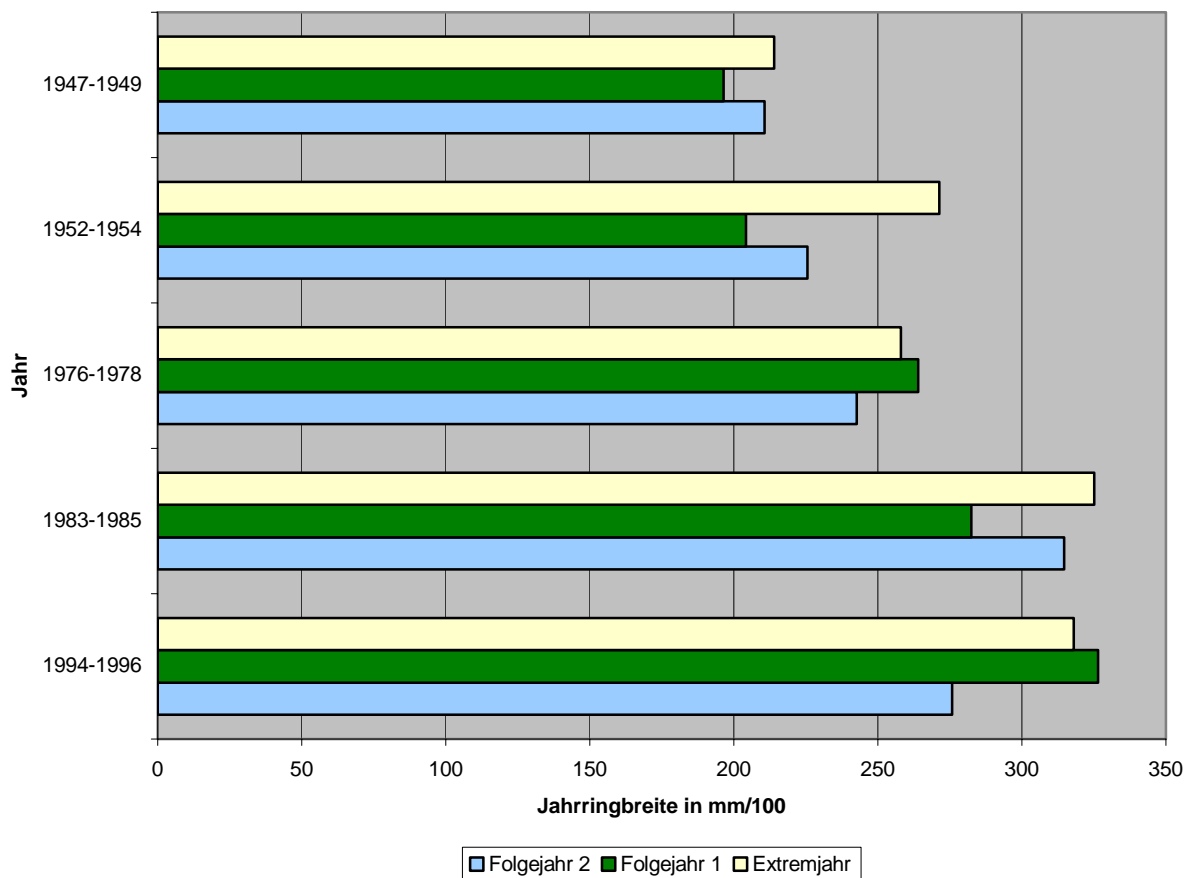


Abb. 4.7.4.: Vergleich Extremjahre / Folgejahre *Pinus cembra* am Nordosthang. Die Jahre 1995 und 1977 zeigen eine größere Jahrringbreite als das jeweils davor liegende Extremjahr. Die anderen unmittelbaren Folgejahre weisen ein geringeres Wachstum auf, als das Extremjahr.

5. Diskussion

In den in diesem Projekt durchgeführten Untersuchungen gibt es keine Hinweise darauf, dass der verhältnismäßig warme Sommer 2003 einen negativen Einfluss auf die Jahrringbreiten der untersuchten Arven und Lärchen hatte. An einigen Standorten ließ sich ein erhöhtes Dickenwachstum feststellen, gegenüber den beiden vorangehenden Jahren, die niederschlagsreicher waren und einen weniger heißen Sommer hatten (Kapitel 4.1. und 4.2.). Beim Vergleich der beiden Baumarten, Arven und Lärchen, an den beiden Expositionen Nordost- und Südwesthang, wird deutlich, dass die Arve im Jahr 2003 am Südwesthang sehr viel größere Jahrringbreiten gebildet hat als am Nordosthang. Der Vergleich von Lärchen an beiden Hängen zeigt hingegen kaum Unterschiede für das Jahr 2003 (Kap. 4.3.). Bei einer Betrachtung der Jahrringbreiten verschiedener Warmjahre des zwanzigsten Jahrhunderts wird offensichtlich, dass die Lärche in allen untersuchten Jahren am Nordosthang breitere Jahrringe gebildet hat als am Südwesthang. Beide Baumarten legten im Jahr 2003 deutlich breitere Jahrringe an als in allen anderen Vergleichsjahren. Allerdings sind diese bei Lärchen am NO-Hang am größten, während die Arven auf den südwestlich exponierten Standorten die größten Zuwachswerte zeigen (Kap. 4.4.). Aufgrund des höheren Zuwachsniveaus der Arven sind die absoluten Jahrringbreiten beider Baumarten am dem NO-Hang ähnlich, wobei die südwestlich exponierten Arven noch breitere Jahrringe aufweisen. Am Südwesthang waren die Jahrringzuwächse jedoch bei den Arven deutlich erhöht gegenüber den Zuwächsen bei der Lärche (Kap. 4.5.) Die Zeigerwerte, die anhand von Vegetationsaufnahmen ermittelt wurden, signalisieren, dass die Wasserversorgung am Nordosthang besser ist als am Südwesthang, ebenso wie die Nährstoffverfügbarkeit (Kap. 4.6.). Im jeweils ersten Jahr nach einem Extremjahr ist in beinahe allen Jahren ein geringerer Jahrringzuwachs als in dem jeweiligen Warmjahr erkennbar. Der zweite Folgering zeigt hingegen keinen Trend, der ein vermindertes oder erhöhtes Wachstum erkennen lässt (Kap. 4.7.).

Die Klimadaten der Klimastation Davos – Dorf standen ab dem Jahr 1900 vollständig und homogenisiert zur Verfügung. Die Klimamessstation liegt Luftlinie etwa drei Kilometer entfernt von den Untersuchungsgebieten. Die Wetterstation Stillberg ist unmittelbar am Untersuchungsgebiet Nordosthang gelegen, die Aufzeichnungen an

dieser Station sind jedoch lediglich von 1975 bis 2003 vorhanden. Möglicherweise gibt es eine geringe Abweichung zwischen den verwendeten Messdaten, und den tatsächlichen Niederschlägen und Lufttemperaturdaten im Untersuchungsareal, zumal die untersuchten Gebiete in einem Seitental (Dischma) liegen und die Messstation Davos – Dorf in Davos, also im Haupttal des Flusses Landwasser, gelegen ist. Es gibt zahlreiche Bohrkerne aus dem Probekollektiv, die bedeutend mehr Jahrringe aufweisen, als die analysierten 103 Jahrringe. Für die Fragestellung dieses Projektes erschien es jedoch ausreichend, die Jahrringe 1900 – 2003 zu betrachten, da nur aus diesem Zeitraum vollständige Klimadaten vorliegen.

Die Baumarten Arve (*Pinus cembra*) und (*Larix decidua*) wurden deshalb ausgewählt, weil diese Arten die im Untersuchungsgebiet am häufigsten im Bereich der alpinen Waldgrenze vorkommen. Die Fichte (*Picea abies*) ist zwar bis 1800 m.ü.M. bestandesbildend, darüber wird die Fichte jedoch zunächst von der Lärche später auch von der Arve als Hauptbaumart abgelöst. Die Hakenkiefer (*Pinus mugo* ssp. *Uncinata*) kommt ebenfalls vor ist aber zahlenmäßig nicht stark vertreten und wächst, im Gegensatz zu Lärche und Arve, häufig nicht aufrecht, sodass Druckholzzonen das Jahrringbild beeinflussen. Dasselbe gilt für die ebenfalls vorkommende Grünerle (*Alnus viridis*), die hauptsächlich in Lawinenzügen wächst und Krummholz bildet, welches sehr viel Zugholz bildet. Da das regionale Auftreten des Lärchenwicklers (*Zeiraphera diniana* Gn.) bis jetzt nur sehr begrenzt erforscht wurde (BALTENSWEILER 1993 / WEBER 1997), ist es schwierig, den Einfluss dieses Kleinschmetterlings (*Tortricidae*) auf das Dickenwachstum von Lärchen einzuschätzen. Nach WEBER (1997) haben die Gradationen einen regelmäßigen Zyklus, es ist aber wahrscheinlich, dass sich diese Zyklen von Region zu Region um das eine oder andere Jahr verschieben, je nach Entfernung zum Ort des Ausbruchs der Gradation. Die Intensität des Befalls spiegelt sich im Jahrringbild wieder. Nach WEBER (1997) sind es bis zu fünf aufeinanderfolgende Jahrringe, die durch den Lärchenwickler negativ beeinflusst werden können. Die Lärche ist, sobald im Frühjahr die Nadeln ausgebildet sind, spätfrostempfindlich. Je nach Stärke des Frostes können einige Zellreihen beschädigt werden (Frostringe). Dadurch verliert der Baum wertvolle Assimilate und Nährstoffe, die nicht mehr in das Dickenwachstum investiert werden können (KNUFINKE 1998).

Die Auswahl der Probebäume fand nach den in Kapitel 3.1. beschriebenen Kriterien statt. Das Dischmatal nahe Davos wurde als Untersuchungsraum ausgewählt, weil das Tal eines der am besten erforschten Alpentäler ist und weil alle Kriterien der Fragestellung dieser Arbeit in diesem alpinen Gelände enthalten sind. Die wichtigste Vorgabe für die Auswahl der Untersuchungsbäume bestand darin, ein möglichst homogenes Probekollektiv zu untersuchen (Kap. 3.3.), um andere Einflüsse, außer den klimatischen, möglichst weitgehend aus dem Jahrringbild zu eliminieren. Dieses Kriterium konnte jedoch nur mit Abstrichen erfüllt werden. Die Altersunterschiede der Bäume waren teilweise ganz beträchtlich, vor allem am Südwesthang. Dort wurden Arven beprobt, die bis zu 1000 Jahre alt sind, während die jüngsten Individuen nicht einmal 100 Jahre alt sind. Sehr alte Bäume sind häufig nicht bis an den Boden beastet, selbst wenn diese heute relativ frei stehen. Das mag daran liegen, dass diese in früheren Zeiten mit anderen Bäumen in Konkurrenz standen. Aufgrund des hohen Alters dieser Bäume fehlen jegliche Hinweise auf ehemals konkurrenzierende Individuen. Da von allen Proben jeweils lediglich die letzten 103 Jahre analysiert wurden, ist der Faktor Konkurrenz in dieser Untersuchung jedoch zu vernachlässigen. Im jetzigen Zustand stehen alle Untersuchungsbäume relativ frei und weitgehend ohne Konkurrenten um Raum und Licht. Die Konkurrenz unterhalb der Bodenoberfläche ist schwierig einzuschätzen, da die untersuchten Bäume ein weit verzweigtes Wurzelwerk haben können und deren Wege unmöglich nachzuvollziehen sind, ohne den Boden freizulegen. Es wurden auch keine entsprechenden wissenschaftliche Untersuchungen dazu gefunden. Wurzelkonkurrenz ist hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit und damit auch hinsichtlich des Dickenwachstums ein mitentscheidender Faktor, dessen Untersuchung aber der Umfang dieser Arbeit nicht zulässt.

Pro Baum wurden 4 Bohrungen in 1.30 m Höhe durchgeführt, jeweils oben, rechts unten und links am Baum. Pro Baumart und pro Exposition wurden 20 Bäume beprobt. Möglicherweise zeigen verschiedene Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede, weil der Stichprobenumfang relativ gering war. Bei einer Erhöhung von n hätte man wohl höhere Signifikanzen erreicht. Die Bohrkernproben wurden am Institut für Waldwachstum in Freiburg analysiert (Kap. 3.5.) und danach synchronisiert. Die Synchronisation gestaltete sich sehr aufwändig, da die Bohrkern teilweise sehr geringe Jahrringbreiten aufweisen und damit schwer lesbar waren.

Die Analyse der Witterung des Jahres 2003 zeigt, dass die Werte für die mittlere Lufttemperatur über das ganze Jahr verteilt geringer sind als im Jahr 2002 (Kap. 4.1.). Um Einflüsse der Lufttemperatur auf die Radialzuwachsdaten zu untersuchen, ist es jedoch aussagekräftiger, die Temperaturen während der Vegetationsperiode zu betrachten (Sommertemperaturen Grafik 4.1.2.), da hauptsächlich der Radialzuwachs mit den Lufttemperaturen im Sommer (Juni, Juli) korreliert ist (KAHLE 1994 / TRANQUILLINI 1979 / RIGLING et al. 2002 / GINDL 1999). Dabei wird deutlich welche ungewöhnlich hohen Lufttemperaturen im Laufe des Sommers 2003 erreicht wurden. Nach RIGLING et al. (2002) ist der Radialzuwachs positiv korreliert mit den Winterniederschlägen. Die Niederschläge waren das ganze Jahr über sehr niedrig. Zwar schneite es Ende 2002 ungewöhnlich viel, durch die wenigen Niederschläge Anfang 2003 und die warmen Temperaturen im Frühsommer 2003 waren die Untersuchungsflächen jedoch bereits zu einem ungewöhnlich frühen Zeitpunkt im Jahr schneefrei (Grafik 4.1.7.).

- **Hypothese 1:** Lärchen und Arven an der alpinen Waldgrenze reagieren auf Trockenheit und extrem hohe Lufttemperaturen mit einem verringerten Dickenwuchs, ähnlich den Bäumen in tieferen Lagen.

Nach ANFODILLO et al. (1997) entstehen an Waldgrenzstandorten, die in klimatisch kontinental beeinflussten Gebieten liegen, bedingt durch die Kürze der Vegetationsperiode sowohl Frostschäden, als auch Schäden durch extreme Trockenheit, vor allem durch eine nicht vollständig ausgebildete Kuticula an den Nadeln.

Nach SPIECKER (1987) reduzieren ausgeprägte Trockenzeiten im Südschwarzwald, während der Vegetationsperiode einen potentiellen Radialzuwachs der Bäume. Die geringen Niederschläge des Jahres 2003 haben sich beim untersuchten Baumkollektiv nicht negativ auf den Radialzuwachs der untersuchten Bäume ausgewirkt. Die Jahrringbreiten weisen im Vergleich zu den niederschlagsreicheren Jahren 2002 und 2001, keine allzu großen Unterschiede auf. An manchen Standorte sind die Jahrringbreiten gar größer als in den vorangegangenen Jahren. Diese Aussage gilt im wesentlichen auch für die anderen untersuchten Extremjahre

verglichen mit den jeweils zwei vorangegangenen Jahren. Insofern wird in dieser Arbeit die erste Hypothese nicht bestätigt.

Eine Ausnahme bildet die Betrachtung der Lärche am Südwesthang in den Jahren 1992-1994. Hier war das Dickenwachstum Extremjahr 1994 gegenüber den Vorjahren reduziert. hierzu folgende Erklärungsmöglichkeiten: Es ist natürlich möglich, dass die Lärchen am SW–Hang in besagtem Jahr 1994 an Trockenstress litten und deshalb geringere Jahrringbreiten ausbildeten. Die mittleren monatlichen Niederschläge lagen jedoch 1994 bei fast 100 mm (Grafik 4.1.3.). Die wahrscheinlichere Erklärung ist deshalb, dass die Lärchen am SW–Hang aufgrund eines Spätfrostschadens verringerte Jahrringbreiten aufweisen. Nach SCHWEINGRUBER (1991) erzeugt ein Spätfrostereignis einer einzigen Nacht einen ebenso schmalen Jahrring wie etwa eine dreimonatige Trockenheit.

Laut STÖCKLI (1996) entstehen Frostringe, die vermehrt an Südwesthängen auftreten, wenn nach Frostnächten und starker Sonneneinstrahlung am folgenden Morgen die sich noch im Streckungswachstum befindenden Tracheiden, kollabieren. Im Warmjahr 1976 sind die Medianwerte der Lärchen am SW–Hang bedeutend höher als in den beiden Jahren zuvor. Die Wahrscheinlichkeit, dass Frostringe die Ursache für die Zuwachsunterschiede sind, ist relativ groß und erscheint auch plausibel.

- **Hypothese 2:** Aufgrund der stärkeren und längeren Sonneneinstrahlung am Südwesthang wird erwartet, dass dort der Dickenzuwachs in „normalen“ Jahren größer ist als am Nordosthang. Im Jahr 2003 ist hingegen zu erwarten, dass der relative Zuwachs aufgrund der geringen Niederschlagsmenge und der, durch die stärkere Einstrahlung bedingten früheren Ausaperung, geringer ist als am Nordosthang.

Im Juni 2003 fand in den Untersuchungsgebieten ein ausgeprägtes Spätfrostereignis statt (BEBI mündliche Mitteilung 2004). Höchstwahrscheinlich liegt in diesem Frostereignis die Begründung, dass die Jahrringbreiten der Lärchen im Jahr 2003, insgesamt eher gering sind. Vergleicht man die Jahrringbreiten der Lärchen vom SW–Hang mit dem NO–Hang wird deutlich, dass am Nordosthang größere Jahrringbreiten gebildet wurden als am Südwesthang, wenn auch nicht in einer signifikanten Größenordnung. Dieses Ergebnis unterstützt die Theorie von STÖCKLI

(1997), dass Frostringe vermehrt am SW-Hang auftreten, da dort die Sonneneinstrahlung stärker ist und die Nadeln sich dadurch stärker erwärmen. Die Transpiration des Baumes wird somit intensiviert und das Wasserdefizit des Baumes erhöht, da das Bodenwasser nach einer Frostnacht im Boden gebunden ist reißt der Wasserfaden im Baum ab und die Zellen kollabieren. Zusätzlich ist die Lärche den Gegebenheiten am SW-Hang nicht so gut angepasst und findet am NO-Hang bessere Wachstumsbedingungen (Hypothese 5).

Arven hingegen zeigen hochsignifikante Unterschiede an den beiden verschiedenen Expositionen. Am Südwesthang liegt der Medianwert der Jahrringbreiten sehr viel höher als am Nordosthang. Die Arve ist, im Gegensatz zur Lärche weder frostempfindlich noch wird sie in periodisch auftretenden Abständen von einem Schadinsekt heimgesucht. Somit dürften die Unterschiede, die sich bei der Arve am NO-Hang und am SW-Hang ergeben, ausschließlich in den unterschiedlichen Standorten begründet liegen.

Die Arve ist eine Baumart, die dem trocken – kalten, kontinentalen Klima bestens angepasst ist. Das bedeutet, eine verlängerte Vegetationsperiode und eine erhöhte Sonneneinstrahlung, die sich am SW-Hang, aufgrund der längeren Tageseinstrahlung besonders bemerkbar macht. Das führte dazu, dass Die Arve am SW-Hang im Jahr 2003 hervorragende Bedingungen hatte.

Hierbei ist anzumerken, dass Arven in diesen Höhenlagen besonders häufig auf Rippenstandorten stehen. Runsenstandorte sind an steilen Hängen häufig Lawinenexponiert. An solchen Standorten, die zwar meistens wesentlich besser wasser- und nährstoffversorgt sind, ist kaum langlebiges Baumwachstum möglich. Bäume auf Rippenstandorten sind daher von Anfang an trockenstressresistenter und sind daher in witterungsbedingten Trockenphasen stresstoleranter als Individuen, die auf gewöhnlich gut versorgten Standorte stocken. Natürlich ist die Verbreitung der Arven auch abhängig vom Tannenhäher, der Die Arvenüsse dort vergräbt wo es im Winter wenig Schnee hat (Kap.3.3.1.). Ein weiterer Grund, warum Arven sehr viel häufiger auf Rippenstandorten anzutreffen sind als in Runsenstandorten, liegt darin, dass in den Runsen sehr viel höher und dementsprechend auch sehr viel länger Schnee liegt. Junge Arven werden, wenn die Äste mit Schnee in Kontakt sind, häufig

von Schneeschimmelpilzen, wie *Phacidium infestans* (Schneeschütte) und *Gremmeniella abietina* (Triebsterben)(Abb. 5.1.) befallen (BEBI et al. 2004 / SENN und SCHÖNENBERGER 2001). Die Pilzsporen werden sehr leicht an weitere Äste und Bäume übertragen, ganze Baumgruppen können somit innerhalb eines Jahres eingehen.



Abb.5.1.: Von Schneeschimmel befallene Arve am NO-Hang. (Foto WASEM, U.)

Die Lärche ist als sommergrüne Baumart diesen Schneeschimmelpilzen gegenüber unempfindlich. Dementsprechend findet man die Lärchen auch häufiger auf Rensenstandorten.

In allen untersuchten Extremjahren weisen die Lärchen am Nordosthang teilweise deutlich größere Jahrringbreiten auf als am SW-Hang. Auch hier kann die Theorie der vermehrt auftretenden Spätfrostereignisse am Südwesthang angeführt werden. Die deutliche Überlegenheit im Jahrringbreitenwachstum der Lärchen am Nordosthang ist jedoch überraschend und deutet darauf hin, dass auch hier standörtliche Faktoren eine Rolle spielen. Die Bäume scheinen in Warmjahren am Nordosthang bessere Bedingungen zu haben als am SW-Hang. Die Lärche benötigt

mehr Niederschläge die Arve, um optimales Wachstum zu erreichen. Die spätere Ausaperung führt zur besseren Wasserverfügbarkeit am Nordosthang, und begünstigt somit das Wachstum der Lärchen.

Der Lärchenwickler spielt hier bezüglich der Verhältnisse der Medianwerte von SW– zu NO–Hang, keine Rolle. Möglicherweise beeinflussten Befälle 1945 und 1982 die absoluten Jahrringbreiten der untersuchten Jahre 1945 und 1982.

Betrachtet man die Grafiken 4.4.1. und 4.4.2., hat es den Anschein, dass die Werte der absoluten Jahrringbreiten zunehmend größer werden. Dies würde die Aussage unterstützen, dass auch Waldgrenzstandorte durch Faktoren wie höhere Lufttemperaturen und höhere CO₂ und N – Einträge, in ihrem Wachstum begünstigt werden. (SPIECKER et al. 1994 / HÄTTENSCHWILER 2002 / ZINGG und BRANG 2003).

- **Hypothese 3:** Die Bäume zeigen im Extremjahr 2003 eine ähnliche Reaktion im Jahrringbild wie in früheren Jahren, mit vergleichbaren extremen klimatischen Ereignissen.

Die Arven bildeten, im Gegensatz zu Lärchen am Südwesthang, breitere Jahrringe als am NO – Hang. Bis auf die Jahre 1911, 1921 und 1947 waren die Ringbreiten am SW – Hang signifikant größer als am NO–Hang. Dass diese Jahre den Trend der weiteren untersuchten Jahre nicht bestätigen, könnte seine Ursachen darin haben, dass vor allem am SW–Hang einige Arven im Probekollektiv in jenen Jahren noch sehr jung waren und sehr schmale Jahrringe ausgebildet haben. Der Trend in den späteren Jahren ist eindeutig und scheint die Aussagen über das Jahr 2003 (weiter oben im Text) zu unterstützen. Bezogen auf die Verhältnismäßigkeit von NO– zu SW–Hang, kann Hypothese 3 als wahr angesehen werden. Bezogen auf die absoluten Werte ist die Frage nicht zu beantworten, dies bedürfte eine genauere Betrachtung aller Jahre bis einschließlich 1900.

- **Hypothese 4:** Lärchen und Arven zeigen unterschiedliche Reaktionen, bedingt durch physiologische und biologische Unterschiede.

Am Nordosthang zeigen die Medianwerte der Jahrringbreiten keine erheblichen Unterschiede im Jahrringbreitenwachstum für das Jahr 2003 (Grafik 4.5.1.). Die Arve

bildet am NO – Hang etwas breitere Jahrringe, die Differenzen lassen jedoch keine Aussagen über physiologische Unterschiede zwischen den beiden Baumarten zu. Betrachtet man die Jahrringe der beiden Baumarten am Südwesthang, ergibt sich ein anderes Bild. Die Arve scheint hier deutlich bessere Bedingungen vorzufinden und bildet deutlich breitere Jahrringe aus als die Lärche. Hypothese 4 kann also bestätigt werden, die biologischen Unterschiede können Kapitel 3.1. und 3.2. entnommen werden.

- **Hypothese 5:** Durch die Topografie bedingt gibt es zahlreiche Standorte mit unterschiedlichen mikroklimatischen Verhältnissen. Bäume in Runsenstandorten sind im Allgemeinen besser mit Wasser versorgt als Bäume auf Rippenstandorten. In Runsen ist die Ausaperung durch Faktoren wie Lawinenschnee, Windverfrachtung oder geringere Sonneneinstrahlung gegenüber den Rippenstandorten verzögert. Im Frühjahr steht den Pflanzen in Runsenstandorten länger Schmelzwasser zur Verfügung.

Zeigerwerte nach LANDOLT (1977) sind ein geeignetes Werkzeug um unterschiedliche Wachstumsbedingungen an verschiedenen Standorte zu untersuchen (RIGLING et al. 2002). Die in diesem Projekt ermittelten Zeigerwerte zeigen deutlich, dass die Wasser- und Nährstoffversorgung am Nordosthang günstiger als am Südwesthang ist. Dies unterstützt die Aussage, dass die stresstolerantere Arve am Südwesthang besser wächst als die Lärche am SW–Hang (Tab. 4.6.1.). Um herauszufinden, wie die Bäume im Einzelnen auf die durch die Zeigerwerte ermittelten Bedingungen reagieren, müsste man die Werte für jeden Baum einzeln betrachten. Darauf wurde aus zeitlichen Gründen verzichtet, wäre aber im Hinblick auf Hypothese 5 ein interessanter Aspekt. Es spricht für die aufgestellte Hypothese, dass die etwas empfindlichere Lärche am besser mit Nährstoffen und Wasser versorgten NO–Hang bessere Wachstumsbedingungen zu haben scheint als am SW–Hang.

- **Hypothese 6:** Da die Jahrringzuwächse in Jahren nach Extremereignissen einen typischen Verlauf aufweisen, kann für die Jahrringzuwächse der Folgejahre des Extremsommers 2003, also in den nachfolgenden Jahren, eine Prognose aufgestellt werden.

Wie in Hypothese 6 angenommen, ist es schwierig für auf Extremjahre folgende Jahre eine Prognose für das Wachstum abzugeben. Das Jahrringwachstum ist von sehr vielen Faktoren abhängig. Diese Faktoren und deren Interaktionen, wie etwa Lufttemperaturen, Niederschläge, Ausaperungszeitpunkt, oder das Verhalten von Insekten in Abhängigkeit des Klimas (Lärchenwickler Kap. 1.3.) einzuschätzen und bedarf komplexer Modellsimulationen.

Trotz dieser Schwierigkeiten kann man in Kapitel 4.7. zumindest den Trend erkennen, dass im direkt auf ein Extremjahr folgenden Jahr, ein Rückgang der Jahrringbreiten zu verzeichnen ist. Eine Begründung hierfür könnte sein, dass der Baum im Extremjahr selbst bessere Bedingungen hat als in einem Jahr mit normalen Witterungsverhältnissen. Gegen diese Hypothese spricht jedoch die Betrachtung des jeweils zweiten Jahrrings nach einem Warmjahr. Die Jahrringbreiten dieser jeweils zweiten Folgejahre haben eine sehr unterschiedliche Ausprägung, sodass kein Trend erkennbar ist. Da aber in diesen Jahren häufig eine größere Ringbreite erreicht wird als in den Extremjahren, spricht das gegen die Aussage der idealen Bedingungen in Extremjahren. Eine weitere Erklärung für die geringeren Ringbreiten in den direkten Folgejahren von extremen Warmjahren könnte sein, dass die Bäume im Extremjahr Stress leiden, das heißt die Bäume müssen aufgrund der Hitze, häufiger ihre Stomata schließen, und können somit weniger photetisieren und weniger Assimilate und Nährstoffe für den Austrieb im folgenden Jahr einlagern. Damit haben die Bäume weniger Energie für die Jahrringbreitenbildung zur Verfügung, da die Nährstoffe zuerst in das Höhenwachstum investiert werden (SCHWEINGRUBER 1991).

6. Zusammenfassung

Im Sommer 2004 wurden im schweizerischen Dischmatal bei Davos dendrochronologische Untersuchungen an den Baumarten Lärche (*Larix decidua* MILL.) und Arve (*Pinus cembra* L.) durchgeführt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, die Auswirkungen des extremen Witterungsjahres 2003 auf die Jahrringbreitenbildung von Bäumen an der alpinen Waldgrenze zu untersuchen.

Es wurden jeweils 20 Lärchen und 20 Arven an einem Nordosthang, und 20 Lärchen und 21 Arven an einem Südwesthang untersucht. Dabei wurden von jedem Baum 4 Bohrkerne in einer Höhe von 1.30m genommen und einer Jahrringanalyse unterzogen, sodass insgesamt 322 auswertbare Bohrkerne zur Verfügung standen. Die Proben wurden für einen Zeitraum von 1900 – 2003 analysiert, da für dieser Zeitspanne vollständige klimatische Messreihen vorliegen.

Ein negativer Einfluss der Trockenheit und der extrem hohen Lufttemperaturen auf das Dickenwachstum von Lärchen und Arven an der alpinen Waldgrenze ist nicht zu erkennen. An einigen Standorten profitieren die Bäume von der höheren Sonneneinstrahlung und von der verlängerten Vegetationsperiode. Die geringen Niederschlagsmengen 2003 scheinen keinen wachstumsmindernden Einfluss auf die untersuchten Bäume gehabt zu haben.

An den beiden verschiedenen Expositionen, Nordosthang und Südwesthang, unterscheiden sich die Reaktionen der Bäume signifikant voneinander. Vor allem, die Arve zeigt am wärmeren Südwesthang, im Extremjahr 2003 ein signifikant höheres Wachstum als am Nordosthang.

Gegenüber der Lärche hat die Arve am Südwesthang im Jahr 2003 deutlich breitere Jahrringe angelegt. Dies beweist die bessere Anpassung der Arve an trockene Bedingungen gegenüber der Lärche. Die Spätfrostempfindlichkeit der Lärche hat, vor allem am Südwesthang, entscheidenden Einfluss auf die Radialzuwächse. Die Empfindlichkeit gegenüber Spätfrosten überlagert möglicherweise einen potenziell positiven Effekt des Warmjahres 2003 auf das Dickenwachstum von Lärchen.

Ein Vergleich der Jahrringbreiten von Lärchen im Jahr 2003 zu anderen Extremjahren aus dem 20igsten Jahrhundert zeigt, dass Lärchen am Nordosthang im Jahr 2003 die größten Zuwächse anlegten, während Arven am Südwesthang die größten Jahrringbreiten aller miteinander verglichenen Jahre bildeten. Die Wachstumsbedingungen sind für Lärchen am NO-Hang günstiger und für Arven am SW-Hang.

Die Niederschlagsmenge während des Sommers spielt, bei Witterungsverhältnissen wie im Jahr 2003, eine untergeordnete Rolle. Da für die Bäume noch immer genügend Wasser zur Verfügung steht, überlagern die positiven Effekte, wie die verlängerte Vegetationsperiode und die längere tägliche Sonnenscheindauer die Niederschlagsarmut. Die Anpassung der Bäume an extreme Lebensbedingungen ist ein weiterer Grund warum Bäume an der alpinen Waldgrenze, von Witterungsverhältnissen wie 2003, nicht negativ in ihrem Jahrringzuwachs beeinflusst werden.

Die Ermittlung von Zeigerwerten anhand von Vegetationsaufnahmen im Umkreis der untersuchten Bäume belegt, dass Wasserversorgung und Nährstoffverhältnisse am NO-Hang günstiger sind als am SW-Hang. Von diesen besseren Bedingungen profitiert vor allem die Lärche, die am NO-Hang, im Vergleich zum SW-Hang, größere Jahrringe anlegt, während die Arve am etwas ärmeren Standort Südwesthang deutliche Vorteile im Dickenwachstum gegenüber dem NO-Hang aufweist.

Der Jahrringzuwachs für die Jahre 2004 und 2005 lässt sich durch Vergleiche früherer Extremjahre mit den Jahrringbreiten der jeweils folgenden beiden Jahre kaum prognostizieren. Hier gibt es zu viele Faktoren, die das Dickenwachstum beeinflussen, und die nicht im Voraus prognostiziert werden können.

7. Literaturverzeichnis

AMANN, G (2002): Bäume und Sträucher des Waldes. Neudamm – Neudamm 2002.

AMANN, G. (2001): Vögel des Waldes. Neudamm – Neudamm 2001.

ANFODILLO, T.; RENTO, S.; CARRARO, V.; FURLANETTO, L; URBINATI, C.; CAREER, M. (1998): Tree water relations and climatic variations at the alpine timberline: seasonal changes of sap flux and xylem water potential in *Larix decidua*, *Picea abies* and *Pinus cembra*. Ann. Sci. For, 159-172.

BADER, S.(2004): Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsbericht 200 – Meteo Schweiz.

BALTENSWEILER, W. (1993): Why the larch budmoth cycle collapsed in the subalpine larch-cembra pine forests in the year 1990 for the first time since 1850. Oecologia 94:62-66.

BALTENSWEILER, W. et al. (1977): Dynamics of larch budmoth populations. Ann. Rev. Entomol. 22:79-100.

BALTENSWEILER, W. & RUBLI, D.(1984): Forstliche Aspekte der Lärchenwickler-Massenvermehrungen im Oberengadin. Mitt. Schweiz. Anst. Forst. Versuchswesen 60: 1-148.

BEBI, P., CASTELLER, A. ; MAYER, A.C., STÖCKLI, V. (2004): Jahrringe als Indikatoren für extreme Standortbedingungen im Gebirge: Schnee, Lawinen und Permafrost. Schweiz. Z. für Forstwesen 155 (2004) 6: 208-212.

BERNADZKI, E.(1976): Der Ökologische Waldbegriff und das Problem der Abgrenzung von Wald zu Nicht-Wald. Beiträge zur Bestimmung des Begriffes Wald, Eidg. Anst. Forstl. Versuchswesen; Bericht 167:S. 17-28.

BIONDI, F. ; WAIKUL, K. (2004): DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. Computers & Geosciences 30: 303-311.

BLASER, P.; (1980): Der Boden als Standortfaktor bei Aufforstungen in der Subalpinen Stufe (Stillberg, Davos). Mitt. Eidg. Forschungsanst. Wald, Schnee Landschaft 56, (3): 529-611.

BLESS, R.; (1999): Geologie und Morphologie des Dischmas. Davoser Revue 74, (3): 12-15.

BRÄKER, O.U.; RIGLING, A. (2004): Waldnutzung und Jahrringe. Schweizerische Zeitung für Forstwesen 155, 6: S.169-177.

- BRAUN-BLANQUET (1964): Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde (3.Auflage). Springer Verlag, Wien.
- BURSCHEL, P.; HUSS, J. (2003): Grundriss des Waldbaus (2. Auflage). Ulmer, Stuttgart (2003).
- CHERUBINI et AL. (2004): Jahrringe als Archive für interdisziplinäre Umweltforschung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 155, 6: 162-168.
- EBERT, H.P. (2003): Die Behandlung häufig vorkommender Baumarten. Schriftenreihe der FH Rottenburg (3. Auflage).
- EBERT, H.P. (2003): Die Behandlung seltener Baumarten. Schriftenreihe der FH Rottenburg (3. Auflage).
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen (5. Auflage). Ulmer Verlag, Stuttgart 1996.
- ERLBECK, HASEDER, STINGLWAGNER (2002): Das Kosmos Wald- und Forstlexikon. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart
- FREY, W.; SCHOENENBERGER, W.; (1988): Untersuchungen zur Oekologie und Technik der Hochlagenaufforstung. Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg. Schweiz. Zeit. Für Forstwesen 139: 735-820.
- FRITTS, H.C. (1976): Tree rings and climate. Academic press; London, New York, San Francisco.
- GEER, G.A. (1975): Der Einfluss des grauen Lärchenwicklers auf den Zuwachs der Lärche im Oberengadin. Diss. ETH Zürich Nr. 5499.
- GINDL, W. (1999): Climatic significance of light rings in Timberline spruce, *Picea abies*, Austrian alps. Arctic, Antarctic and Alpine Research, Vol. 31, No. 3, pp. 242-246.
- GLOCK, W.S. (1941): Growth rings and climate. The Botanical review. In: LUEOND, R (2001): Jahrringe als Klimadatenbank – eine Fallstudie. Dipl.Arb., Departement Forstwissenschaften, ETH Zürich.98.
- GRISSINO-MAYER, H.D. (2001): Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree ring research, 57: 205-221.
- HÄTTENSCHWILER, S.; HANDA, T.; EGLI, L.; ASSHOFF, R.; AMMANN, W.; KÖRNER, Ch. (2002): Atmospheric CO₂ enrichment of alpine treeline conifers. New Phytol 156:363-375.
- HECKER, U (1995): Bäume und Sträucher. BLV, München 1995.
- HOLTMEIER, F.K. (1993): Timberline as indicator of climatic changes. Oscillations of the alpine and polar tree limits in the Holocene. 321.

HOLTMEIER, F.K. (1993): The upper timberline, ecological and geographical aspects, in: Anfodillo T., Urbinati C. (Eds.). Ecologia delle foreste di alta quota, Proc XXX Corso di Cultura in ecologia, University of Padova, pp.1-26.

JONSSON, L. (1993): Die Vögel Europas. Franck – Kosmos, Stuttgart 1993.

KAHLE, H.P. (1994): Modellierung der Zusammenhänge zwischen der Variation von klimatischen Elementen des Wasserhaushalts und dem Radialzuwachs von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) aus Hochlagen des Südschwarzwalds - Eine standortbezogene dendroökologische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Trockenstress. Dissertation Univ. Freiburg i. Br.: 184 p.

KIENAST, F. (1987): Jahrringe als ökologische Datenträger. Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Ber. 292. 51 p.

KNUFINKE, A. (1998): Frostringe in Lärchen und deren Beziehungen zu Wetter und Standort. Diplomarbeit – Eidgenössisches Institut für Lawinenforschung (SLF) Davos.

KRAMER, H. / AKCA, A. (1995): Leitfaden zur Waldmesslehre. Sauerländer Verlag, Frankfurt am Main (3. Auflage).

KRÜSSMANN, G (1960): Nadelgehölze. Parey, Berlin 1960.

KUOCH, R. und AMIET, R. (1970): Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswesen; 46,4: S. 329-342.

KUOCH, R.(1970): Die Vegetation auf dem Stillberg. Mitteilungen Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen 46, S. 329-342.

LANDOLT, E. (1977): Oekologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH Zürich, Heft 64.

LANGE, O.; SCHULZE, E. (1966): Untersuchungen über die Entwicklungen der kutikulären Zellwandschichten bei der Fichtennadel. Forstwissenschaftliches Zentralblatt 85: 27-38.

LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. Stuttgart, Ulmer Verlag (5.Auflage).

LAUBER, K; WAGNER, G (1996): Flora Helvetica. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien 1996.

LYR, H.; FIEDLER, H.J.; TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Jena – Stuttgart.

MATTES, H. (1978): Lebensgemeinschaft von Tannenhäher und Arve. Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen 241.

MATTES, H.(1978): Der Tannenhäher im Engadin. Münsterische Geographie Arbeiten (MAG) 3.

- OBERDORFER, E. (1990): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Stuttgart, Ulmer Verlag.
- PRESSLER, M.R. (1883): Zum Zuwachsbohrer. Gebrauchsanweisung in Verbindung mit den Zuwachs- und Ertragstafeln. Tharandt und Leipzig, Verlag der Pressler'schen Werke (3. Auflage).
- REICHHOLF, J.H.; STEINBACH, G.(1993): Enzyklopädie der Bäume und Sträucher. Mosaik Verlag, München 1993.
- RIGLING, A.; BRÄKER, O.; SCHNEITER, G.; SCHWEINGRUBER, F.H. (2002): Intra-annual tree-ring parameters indicating differences in drought stress of *Pinus sylvestris* forests within the Erico-Pinion in the Valais. *Plant Ecology* 163: 105-121.
- SCHÄR, C.; VIDALE, P.L; LÜTHI, D.; FREI, C.; HÄBERLI, C.; LINIGER, M.A. & APPENZELLER, C. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332-336.
- SCHLOETH, ROBERT (1998): Die Lärche. At-Verlag
- SCHOENENBERGER, W (1975): Standorteinflüsse auf Versuchsaufforstungen an der alpinen Waldgrenze (Stillberg / Davos). *Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* 51 (4): 357-428.
- SCHÜTT, SCHUCK, AAS, LANG (1994): Enzyklopädie der Holzgewächse – Handbuch und Atlas der Dendrologie. Ecomed, Landsberg 1994.
- SCHÜTT, STUCK, STIMM (1992): Lexikon der Forstbotanik. Ecomed, Landsberg 1992.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1990): Mikroskopische Holzanatomie. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf (3. Auflage).
- SCHWEINGRUBER, F.H. (2001): Dendroökologische Holzanatomie. Anatomische Grundlagen der Dendrochronologie. Bern, Stuttgart, Wien; Haupt Verlag.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1996): Tree rings and environment. *Dendroecology*. Paul Haupt Bern.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1991): Weiserjahre als Zeiger extremer Standortseinflüsse. *Schweiz. Zeitschrift f. Forstwesen*, 142 (1991) 1: 33-52.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1988): Tree rings. Basics and applications of Dendrochronology, 311.
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1983): Der Jahrring, Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Haupt Verlag; Bern, Stuttgart.

SENN, J.; SCHÖNENBERGER, W. (2001): Zwanzig Jahre Versuchsaufforstung Stillberg: Überleben und Wachstum einer subalpinen Aufforstung in Abhängigkeit vom Standort. Schweiz. Z. für Forstwesen 152 (2001) 6: 226-246

SPIECKER, H.; MÄKINEN, H.(1998): Zusammenhänge zwischen Radialzuwachs, Höhenzuwachs, Asttrieblängen und experimenteller Behandlung unter besonderer Berücksichtigung des Witterungsverlaufs. In: RASPE S, FEGER KH, ZÖTTL W (Hrsg.): Ökoystemforschung im Schwarzwald - Auswirkungen von atmogenen Einträgen und Restabilisierungsmaßnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Fichtenwäldern. Umweltforschung in Baden-Württemberg, Landsberg: ecomed: 433-442.

SPIECKER, H.(1987): Düngung, Niederschlag und der jährliche Volumenzuwachs einiger Fichten-Bestände Südwestdeutschlands. Ergebnisse einer neuen Methode der Zuwachsermittlung. AFJZ 158, 70-76.

SPIECKER, H. ;MIELIKÄINEN, K. ;KÖHL, M. ;UNTHEIM, H. (1994): Growth trends of European forests - has site productivity changed? European Forest Institute Joensuu/Finland, Working Paper 4, 68 S.

STÖCKLI, V.(1996): Mechanism, anatomy and consequences of frost ring formation in Mountain Pine. Diss. Univ. Basel.

STRASBURGER, E. (1991): Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer Verlag; Stuttgart, Jena, New York (33. Auflage).

WASEM, U.

WEBER, U.M. (1997): Dendroecological reconstruction and interpretation of larch budmoth (*Zeiraphera diniana*) outbreaks in two central alpine valleys of Switzerland from 1470-1990. Trees 11: 277-290.

WEBER, U.M. (1999): Lärchenwickler und Jahrringe. Bauhinia 13/1999. Seiten 15-28.

ZINGG, Th.; (1961): Wetter und Klima. Winterber. Des Eislf, Nr. 24: 102-107.

ZINGG, A.; BRANG, P. (2003): Sterben Buchen wegen Trockenheit? Wald und Holz 9/03.

ANHANG

Ökologische Zeigerwerte (LANDOLT 1977)

F Feuchtezahl

Die Feuchtezahl kennzeichnet die **mittlere Feuchtigkeit des Bodens** während der Vegetationszeit. Niedere Zahlen zeigen geringe, hohe Zahlen grosse Bodenfeuchtigkeit an.

- 1: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf sehr trockenen Böden; auf nassen Böden nicht vorhanden, auf feuchten Böden nicht konkurrenzfähig. **Ausgesprochene Trockenheitszeiger**.
- 2: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf trockenen Böden; sehr trockene und nasse Böden meist meidend; auf feuchten Böden in allgemeinen nicht konkurrenzfähig. **Zeiger mässiger Trockenheit**.
- 3: Pflanzen auf mässig trockenen bis feuchten Böden, im allgemeinen mit breiter ökologischer Amplitude; trockene und nasse Böden meist meidend. **Zeiger mittlerer** ("nicht extremer", ± "frischer") **Feuchtigkeitsverhältnisse**.
- 4: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf feuchten bis sehr feuchten Böden; gelegentlich auch auf nassen Böden vorkommend; trockene Böden meidend. **Feuchtigkeitszeiger**.
- 5: Pflanzen auf nassen, von Wasser durchtränkten Böden; mittelfeuchte und trockene Böden meidend. **Nässezeiger**.

N Nährstoffzahl

Die Nährstoffzahl kennzeichnet den **Nährstoffgehalt** (insbesondere Stickstoff) **des Bodens**. Niedere Zahlen zeigen wenig, hohe viel Nährstoffe an.

- 1: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf sehr nährstoffarmen Böden; auf nährstoffreichen Böden nicht vorkommend.
Ausgesprochene Magerkeitszeiger.
- 2: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf nährstoffarmen Böden; auf Böden mit guter bis übermässiger Nährstoffversorgung im allgemeinen nicht vorkommend oder nicht konkurrenzfähig. **Magerkeitszeiger**.
- 3: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf mässig nährstoffarmen bis mässig nährstoffreichen Böden; auf sehr nährstoffarmen und auf übermässig gedüngten Böden nicht vorkommend.
- 4: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf nährstoffreichen Böden; auf nährstoffarmen Böden kaum vorkommend.
Nährstoffzeiger.
- 5: Pflanzen mit Hauptverbreitung auf übermässig mit Nährstoffen (meist Stickstoff) versorgten Böden; nie auf nährstoffarmen Böden vorkommend. **Überdüngungszeiger**; in Gewässern Verschmutzungszeiger.

Anhang

Auszug aus einem Aufnahmeformular für die Zeigerwerte

	Nb001	Nb002	Nb003	Nb004	Nb005	Nb006	Nb007	Nb008	Nb009
Feuchtezahl	3	3,3333	2,5	2,5	NA	3,6667	3	3,3333	3
gew. Feuchtezahl	3,6	3,2	2,5	2,3333	NA	3,5263	3	3,3	3
Nährstoffzahl	3	2,25	2	2,3333	NA	3,4444	3,5	3,3333	3,5
gew. Nährstoffzahl	3,6	2,1429	2	2,25	NA	3,3684	3,6667	3,3	3,25
Fließendes Bodenwasser	0	0	0	0	NA	0,1111	0	0	0
gew. Fließendes Bodenwasser	0	0	0	0	NA	0,1053	0	0	0
Wechselfeuchtigkeit	0,5	0,25	0	0	NA	0,4444	0	0,3333	0
gew. Wechselfeuchtigkeit	0,8	0,1429	0	0	NA	0,3684	0	0,3	0
<i>Achillea millefolium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aconitum napellus</i>	0	0	0	0	0	20	10	15	20
<i>Adenostyles alliariae</i> (Gouan) A. Kern.	0	0	0	0	0	20	20	30	30
<i>Ajuga reptans</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alnus viridis</i> (Chaix) DC.	5	5	0	0	0	10	0	0	0
<i>Anthriscus sylvaticum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Spreng	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Arnica montana</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drejer	20	0	10	10	0	0	0	0	0
<i>Betula pendula</i> Roth	0	10	0	5	0	0	0	0	0
<i>Calamagrostis villosa</i>	0	20	30	20	30	30	40	25	20
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	0	15	0	0	0	0	0	0	0
<i>Caltha palustris</i>	0	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Campanula barbata</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Campanula spec.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cardamine amara</i> L.	0	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Oreopis spec.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Empetrum nigrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epilobium angustifolium</i> L.	0	0	0	0	0	5	0	0	0
<i>Gentiana lutea</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Geranium spec.</i>	0	5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Homogyne alpinum</i>	0	0	0	15	10	0	0	0	0
<i>Juniperus communis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Larix decidua</i> Mill.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Loiseleuria procumbens</i> (L.) Desv.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lonicera caerulea</i>	0	0	10	0	0	0	0	0	0
<i>Melampyrum pratense</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myosotis alpestris</i> F. W. Schmidt	0	0	0	0	0	5	0	0	0
<i>Oxalis acetosella</i>	0	0	10	5	20	0	20	0	0
<i>Pedicularis verticillata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Peucedanum ostruthium</i>	0	0	0	0	0	15	0	30	40
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	0	0	0	5	0	10	0	0	0
<i>Pinus cembra</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Potentilla recta</i> L.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	80	0	50	40	40	10	0	0	0
<i>Ribes alpinum</i> L.	0	0	0	0	0	0	40	5	10
<i>Salix foetida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Silene vulgaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0	5	10	0	0	0	0	0	0
<i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.	0	0	0	0	0	5	0	15	0
<i>Trillium europaeum</i> L.	0	0	0	0	0	10	0	0	0
<i>Vaccinium myrtillus</i>	10	15	30	25	20	0	0	0	0
<i>Vaccinium uliginosum</i>	10	20	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	10	20	0	15	0	0	0	0	0
<i>Veratrum album</i>	0	0	0	0	0	10	5	0	0
<i>Vida alpestris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vida biflora</i> L.	0	0	0	0	0	10	0	0	0

Aufnahmeformular Diplomarbeit

Datum:

Nummer:

Baumart:

BHD:

Baumhöhe:

Höhe ü.M.:

Exposition:

Hauptwindrichtung (grüner Pfeil):

Alter:

Sonstiges:

