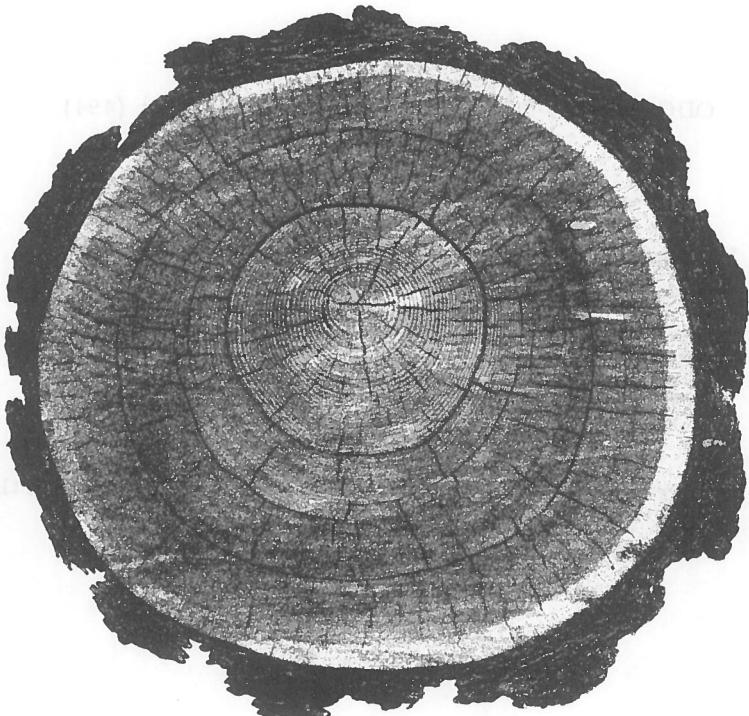


ANGEWANDTE PFLANZENSOZIOLOGIE

VERÖFFENTLICHUNGEN DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN



JAHRRINGWACHSTUM UND KLIMAFAKTOREN

von H. N. MÜLLER

**ÖSTERREICHISCHER
AGRARVERLAG
WIEN**

Beziehungen zwischen Jahrringwachstum
von Nadelbaumarten und Klimafaktoren an
verschiedenen Standorten im Gebiet des
Simplonpasses (Wallis, Schweiz)

**1980
HEFT 25**

ODC 221.9 : 174 : 111.84 : 181.8 : (23) : (494)

Herausgeber: Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

Alle Rechte vorbehalten

Für den Inhalt der Beiträge sind die Verfasser verantwortlich

Redaktion: Dr. R. Stern

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Printed in Austria

Kommissionsverlag
Österreichischer Agrarverlag 1014 Wien

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Vorwort	5
1.0 Einleitung	6
2.0 Untersuchungsgebiet und Methodik	9
2.1 Vegetation	9
2.2 Klimabeobachtungen	14
2.3 Dendrometermessungen	18
3.0 Die Untersuchungsergebnisse	22
3.1 Dendrometermessungen	22
3.1.1 Wachstumsverlauf in der Vegetationsperiode 1976 . .	22
3.1.2 Wachstumsleistung	29
3.1.3 Wachstumsintensität	31
3.1.4 Statistische Wertung	36
3.2 Korrelation Dendrometermessungen - Klimawerte	40
3.2.1 Einführung	40
3.2.2 Witterungseinflüsse auf das Jahrringwachstum während der gesamten Vegetationsperiode	42
3.2.3 Ergebnisse	54
3.2.4 Witterungseinflüsse in Perioden minimalen und maximalen Zuwachses	55
3.3 Qualitative Interpretation der Meßdaten	56
3.3.1 Die Temperaturverhältnisse der Beobachtungsstandorte	57
3.3.2 Temperaturverlauf und Jahrringwachstum	58
3.3.3 Ergebnisse	63
4.0 Diskussion und Ausblick	63
Zusammenfassung	66
Summary	67
Résumé	68
Abbildungsverzeichnis	69
Literaturverzeichnis	70
Anhang: Statistische Auswertung der Dendrometer-Messungen . . .	75

VORWORT

Die Dendrometermessungen regte Herr Prof. Dr. B. Frenzel, Stuttgart-Hohenheim an, dem ich auch für verschiedene Diskussionen und die Durchsicht des Manuskriptes herzlich danken möchte. Für Hinweise und die Manuskript-Durchsicht spreche ich auch den Herren Prof. Dr. W. Tranquillini und Dr. R. Stern (FBVA), sowie Doz. Dr. G. Patzelt (Univ. Innsbruck) meinen besten Dank aus. Speziellen Dank schulde ich Herrn Doz. Dr. W. Moser, Innsbruck, jetzt Professor in Edmonton Can., der meine Arbeit ganz wesentlich zu fördern verstand. Die Meßinstrumente stellte das Geografische Institut der Universität Zürich zur Verfügung, wofür ich Herrn Prof. Dr. G. Furrer wie auch für seine stete Förderung bestens danke.

Unterstützt wurde ich durch den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung, das Österreichische Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und die Alpine Forschungsstelle Obergurgl der Universität Innsbruck. Außerdem stand mir die Rechenanlage der Universität Innsbruck zur Verfügung. Meine Daten wurden in die Datenbank der AFO eingebracht und mit dem Datenbank- und Analyseprogrammsystem AFODAT ausgewertet. Diese Arbeiten besorgte Herr Paul Moser, dem ich dafür und für die Bewältigung damit zusammenhängender statistischer Probleme herzlich danke. Die Ausführung der Reinzeichnungen verdanke ich Herrn Reinhold Gapp.

Schließlich spreche ich meinen ganz besonderen Dank aus dem wissenschaftlichen Direktor der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Herrn Hofrat Dipl. Ing. J. EGGER, für die wertvolle Möglichkeit der Veröffentlichung in diesem Rahmen.

Innsbruck 1980

H. -N. Müller

1.0 EINLEITUNG

Versuche, den Zusammenhang zwischen Witterung und Holzzuwachs zu ergründen, sind schon sehr alt. Erste entsprechende Beobachtungen liegen von L. DA VINCI und C. von LINNE vor (TRENDELENBURG, 1955).

Die Literatur zur Beziehung Klima-Jahrringwachstum ist seither sehr vielfältig geworden und hat fast unübersehbare Ausmaße angenommen. Dennoch können die bisherigen Resultate nicht durchwegs befriedigen. In erster Linie werden - wie bei den folgenden, auszugsweise referierten Arbeiten - Jahrringkurven mit Kurven beliebiger Klimawerte eines oder mehrerer Klimaelemente des gleichen oder unmittelbar zurückliegenden Jahres verglichen. Dabei wird einem einzelnen Monatsmittelwert (z.B. durchschnittlicher Temperaturen oder Niederschlagssummen) oder einer rechnerischen Kombination verschiedener Werte ausschließliche Bedeutung zugewiesen. Bei solchen Korrelationen, die eher mathematischen Gesetzen genügen als dem Naturgeschehen entsprechen, bleibt zu bedenken: "les phénomènes biologiques échappent au strict déterminisme statistique" (L'HÉRTIER, 1972: 191) und: "Die Wachstums- und Verhaltensphasen werden ja nicht durch einzelne Klimaelemente bestimmt, sondern sind vielmehr ein Ausdruck komplexer Witterungsabläufe" (FLIRI, 1978: 125). Je nach Standort und Baumart erfolgen außerdem widersprüchliche Beobachtungen. Dies mag vielleicht daran liegen, daß diese Arbeiten einerseits häufig auf geringem Datenmaterial basieren und andererseits gezwungen sind, Klimabeobachtungen zum Teil weit entfernter Stationen zu benutzen. Ein Kausalzusammenhang kann natürlich nicht beansprucht werden.

SCHWARZ (1899) bemerkte bei *Pinus silvestris* keine Übereinstimmung des Dickenwachstums mit den Temperaturmitteln der Monate April bis August. Dagegen stellten z.B. CIESLAR (1907), FLURY (1927), JACCARD (1934) oder JATZEWITSCH (1961) eine Abhängigkeit des Jahrringwachstums von bestimmten Sommertemperaturmitteln bei Hochgebirgsbäumen sowie ERLANDSSON (1936) für Nadelbäume des hohen Nordens fest. Nach GEER (1936) sind Baumzuwachskurven vielerorts von der Temperatur abhängig, aber nicht völlig entsprechend.

ARTMANN (1949) und BREHME (1951) zeigen einen dominierenden Einfluß von mittlerer Mittagstemperatur und Sonnenscheindauer bei Hochgebirgslärchen.

Für die Zuwachsreaktion der Bäume in Mitteleuropa findet MÜLLER-STOLL (1951) sowohl die Temperatur wie auch die Niederschläge als maßgebend, wobei für Hochgebirgslagen der Wärmefaktor und für Tieflagen die Niederschläge entscheidenden Einfluß hätten.

Eine Beeinflussung sowohl durch Temperatur wie Niederschlag stellt auch SUTER (1961) fest und hebt eine relativ gute Übereinstimmung des Wachstums mit der relativen Feuchtigkeit hervor, als möglicherweise kombiniertem Einfluß von Temperatur und Niederschlag.

In Amerika erkannte ANTEVS (1925) Wachstumsübereinstimmungen mit den Niederschlagsverhältnissen (für weitere amerikanische Arbeiten sei auf FRITTS, 1976 verwiesen), was WALTER (1940) für Südwest-Afrika sowie GASSNER und CHRISTIANSEN-WENIGER (1942) für Anatolien fanden.

Mehrjährige Zuwachskurven an der Waldgrenze vergleicht MAISCH (1976) mit verschiedenen Klimafaktoren und stellt fest, daß für den Versuch, die Zuwachsabhängigkeit aufzuzeigen, unterschiedliche Faktorkombinationen möglich sind. Rückschlüsse auf frühere Klimaverhältnisse mittels fossiler Hölzer müssen darum solange als fragwürdig erscheinen, als keine direkten, kontinuierlichen Messungen über mehrere Jahre vorliegen.

Verführerisch sind Korrelationen, die Zusammenhänge beispielsweise zwischen Jahrringwachstum und Gletscherschwankungen, Abflußmessungen oder gar der Sonnenfleckenaktivität aufzuzeigen wollen. So versuchten dies u. a. BREHME (1951), LAMARCHE und FRITTS (1971), RÖTHLISBERGER (1976), SCHWEINGRUBER und SCHÄR (1976) in den Alpen; MATTHEWS (1976) in Norwegen; BRAY und STRUIK (1963) in Amerika. Seltsam muten diese Bemühungen jedoch an, wenn willkürliche Größen verglichen werden und besonders gravierend ist es, wenn mit diesen Beziehungen ohne Kausalzusammenhang kühne klimatologische Interpretationen gewagt werden, wie etwa bei RÖTHLISBERGER (1976) aufgrund lediglich zweier fossiler Einzelhölzer.

Ohne auf die Problematik der Vergleichbarkeit von verschiedenen Größen dieser meist nicht homogenen Wertekurven einzugehen, muß darauf hingewiesen werden, daß es sich um grundverschiedene Phänomene handelt, die zwar teilweise von gleichen Faktoren beeinflußt, aber von verschiedenen dominiert werden. Zunehmende Bedeutung gewinnt daher die Frage nach der kurzfristigen Reaktion des Dickenwachstums der Bäume auf bestimmte Umwelteinflüsse wie Witterungsverhältnisse, Insekten- und Rauchschäden, Durchforstung und Düngung nicht nur in der ertragskundlichen, sondern auch in der Klimaforschung.

Ausgehend von der Erkenntnis, daß die Ausbildung von Früh- und Spätholz durch Umweltfaktoren beeinflußt ist und der daraus möglichen Hypothese, daß in den Jahrringen Informationen über das Klima gespeichert sind, ergibt sich die Notwendigkeit, dieses "Archiv für wachstumsbestimmende Ereignisse vergangener Jahre" (LARCHER, 1976:290) entschlüsseln zu können. Daraus ergäbe sich die Möglichkeit, Standortchronologien wie z. B. jene der Eiche in Süddeutschland (HUBER und GIERTZ-SIEBENLIST, 1969), der Tanne in Mitteleuropa (BECKER und

GIERTZ-SIEBENLIST, 1970), der Lärche, Fichte und Zirbe in Obergurgl (GIERTZ-SIEBENLIST, 1977) oder der Lärche am Simplon (MÜLLER, in Arbeit) auf die damaligen klimatischen Verhältnisse auszudeuten.

Dies kann erst gelingen, wenn bekannt ist, unter welchen direkten Einflüssen heutige Jahrringe gebildet werden. Unabdingbare Grundlagen sind dazu phänometrische Wachstumsmessungen neben phänologischen Beobachtungen. Außer der Berücksichtigung von Bodenverhältnissen bezüglich Nährstoffzufuhr und Wasserversorgung, der Photoperiode, möglichen schädigenden Umwelteinflüssen wie Parasitenbefall, Tierfraß, Immisionsbelastungen usw. müssen möglichst viele Klimaelemente in ihrem Zusammenwirken erfaßt werden, um ihren komplexen Einfluß auf das Wachstum der Jahrringe studieren zu können. Durch die Betrachtung kurzer Perioden der Vegetationsrhythmik bleiben wertvolle Einzelinformationen erhalten, die durch monatliche oder jährliche Mittel- und Summenbildung verloren gehen.

GEISSLER (1971) untersuchte im Tiefland an Eichen und Buchen den wöchentlichen Radialzuwachs in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur, konnte aber keine straffe Korrelation zum Wachstum erkennen. Demgegenüber wiesen FIEDLER und WENK (1973) ebenfalls im Tiefland für Fichten und Kiefern aufgrund des monatlichen Zuwachses eine Beeinflussung durch die Temperatur in den Frühjahrsmonaten und eine solche durch die Niederschläge in den Monaten Juli und August nach. Für Hochlagen existieren bisher keine Ergebnisse.

Ausgangspunkt zur vorliegenden Arbeit bildete im Rahmen meiner glazialmorphologischen Untersuchungen (MÜLLER, 1975; KÜTTEL und MÜLLER, 1977) die Ausgrabung von rund 60 im Sturzbereich des Roßboden-gletschers verschütteter Lärchen- und Fichtenstämme anlässlich der Bauarbeiten für die Nationalstraße über den Simplon-Paß. An der Forstlichen Versuchsanstalt Birmensdorf konnte ich diese meist sehr gut erhaltenen Bergsturzbäume radiodendrochronologisch bearbeiten (Methodik in: LENZ et al. 1976). Die Synchronisation ergab zwei verschiedene Baumgruppen, die mittels C-14-Datierungen einen ersten Bergsturz um 300 n. Chr. und einen zweiten um 1400 aufzeigten (Publikation in Vorbereitung). Zu einer weitergehenden Bearbeitung mit dem Ziel der klimatischen Interpretation der Jahrringe begann ich mit klimatologischen und phänologischen Beobachtungen (MÜLLER, 1974). Hier sollen die Ergebnisse der Messungen in der Vegetationsperiode 1976 dargelegt werden. Die Untersuchungen sind inzwischen weitergetrieben worden und werden zusammenfassend später referiert werden.

2.0 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODIK

Das Untersuchungsgebiet (Abb.1) umfaßt das WNW - ESE verlaufende Krummbachtal der Südabdachung des Simplonpasses (Wallis, Schweiz).

Die von eiszeitlichen Gletschern überprägte Rundhöckerlandschaft des Passes im Zwerpstrauch-Tundra-Gürtel mit darüber anschließendem alpinem Steppen-Gürtel geht talwärts über in den subalpinen Lärchen-Arvan-Gürtel. Weiter südlich bis in das Gebiet der Gondoschlucht und besonders im Zwischbergental ermöglicht der insubrische Einfluß das Aufkommen des Pulsatilla-Waldsteppen-Gürtels und des Buchen-Tannen-Gürtels sowie ein punktuell Auftreten des mediterranen Gebirgssteppen-Gürtels (Bezeichnungen nach SCHMID, 1961).

An ausgewählten Standorten im Bereich der subalpinen Nadelwaldstufe errichtete ich inmitten des Bestandes auf kleinen Lichtungen klimatologische und phänometrische Beobachtungsstationen. Diese ermöglichen eine Analyse der Wachstumseinflüsse und erlauben u.a. auch, Leistungsunterschiede im Dickenwachstum verschiedener Holzarten in verschiedenen Höhen und Expositionen feststellen zu können.

2.1 Vegetation

Über das Simplongebiet liegt bisher keine umfassende pflanzensoziologische Bearbeitung vor. Im Gegensatz zu vielen floristischen Anmerkungen (BECHERER, 1972) finden sich vegetationskundliche Bemerkungen nur sehr spärlich. Ausgewählte Standorte mit typischen Vegetationsbildern nahm KÜTTEL (1979) im Rahmen pollenanalytischer Untersuchungen auf.

Der subalpine Bereich zeigt ein breites Vegetationsspektrum, das vom menschlichen Einfluß stark geprägt ist und an den beiden Talflanken markante Unterschiede besitzt. Das weitgehend bewaldete Gebiet weist wenige Freiflächen auf, die im Hangbereich als Alpweiden dienen und im Talgrund von Wässerwiesen eingenommen werden, die als Mähwiesen und im geringeren Maß (va. im Spätsommer) als Weideland genutzt werden.

Aufschluß über die aktuelle Waldverbreitung und über die Waldtypen gibt Abbildung 2. Der vorherrschende Baum ist die Lärche. Sie bildet größtenteils nahezu reine Bestände. MARIÉTAN (1956) beziffert ihr Vorkommen auf über 70 % der inventarisierten Bäume.

Auf der NE-exponierten Talseite findet sich an wenigen Stellen eine Vergesellschaftung der Lärche mit Fichte. Demgegenüber tritt die Lärche

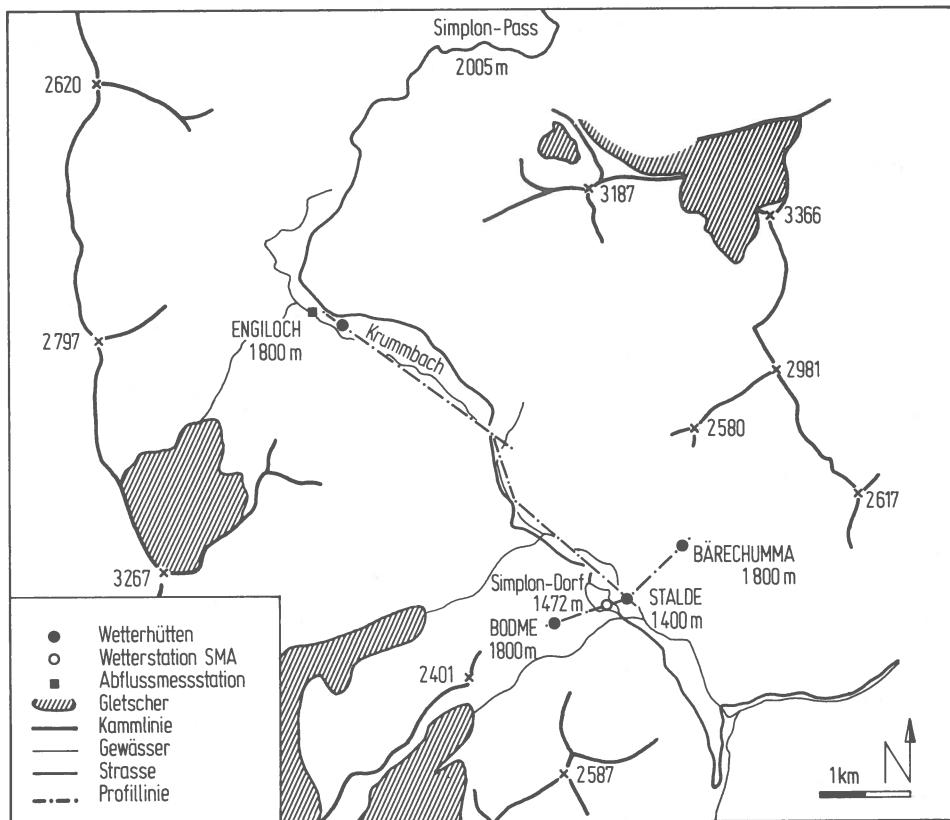


Abb. 1 : Untersuchungsgebiet Simplon-Süd

- neben dem wiederum dominierenden reinen Bestand - am SW-exponierten Hang über weite Flächen in Gesellschaft von Fichte und Legföhre auf. Es sind dies meist flachere Bereiche, die ehemals besiedelt waren, land- und forstwirtschaftlich genutzt wurden und heute der Wiederbewaldung überlassen bleiben. Davon zeugen zahlreiche Ruinen von Alphütten und Ställen neben vereinzelten Köhlerplätzen. Auf diesen talseits mit einer Mauer versehenen ebenen Flächen kommen unter der dünnmächtigen Gras- und Humusschicht Holzkohle-Horizonte zum Vorschein. Aufrechte Bergföhre findet sich auf dieser Talflanke vereinzelt, teils gar in größeren Gruppen, aber bestandesbildend tritt sie (zusammen mit Lärche) eigentlich nur im Talbereich nahe der Waldgrenze auf. Dieses disperse Auftreten läßt nach Auffassung von MEYER (1955), auf ein ehemals größeres Verbreitungsgebiet schließen. Ein früher zusammenhängendes Areal nimmt er auch für die Zirbe (Arve) an, die nur mehr in wenigen Einzelexemplaren vorkommt.

Die Waldfläche muß früher wesentlich ausgedehnter gewesen sein, wofür es verschiedene Hinweise gibt:

Namen auf Karten in heute waldlosen Gebieten: z. B. "Lärchmatta" unterhalb Simplon-Kulm (bereits auf dem Meßtisch-Blatt von J. MÜLLER, 1843), "Silva" = "Zilfa" (= Wald) oder "Presa bruciata" (Urbarisierung durch Abbrennen) über der Gondoschlucht.

Urkunden über Holzverkäufe aus heute nicht mehr vorhandenen Wäldern, beispielsweise zwischen Paß und heutiger oberer Waldgrenze (MEYER, 1955).

Grabungen mit zutagetretenden mächtigen Baumstämmen, z. B. Lärchen und Zirben beim Hobschensee auf dem Paß (KELLER, 1935).

Holzkohle-Horizonte unter Wässerwiesen, die auf Rodung und anschließende Bewirtschaftung schließen lassen, z. B. im Gebiet um Simplon-Dorf (MÜLLER, 1975).

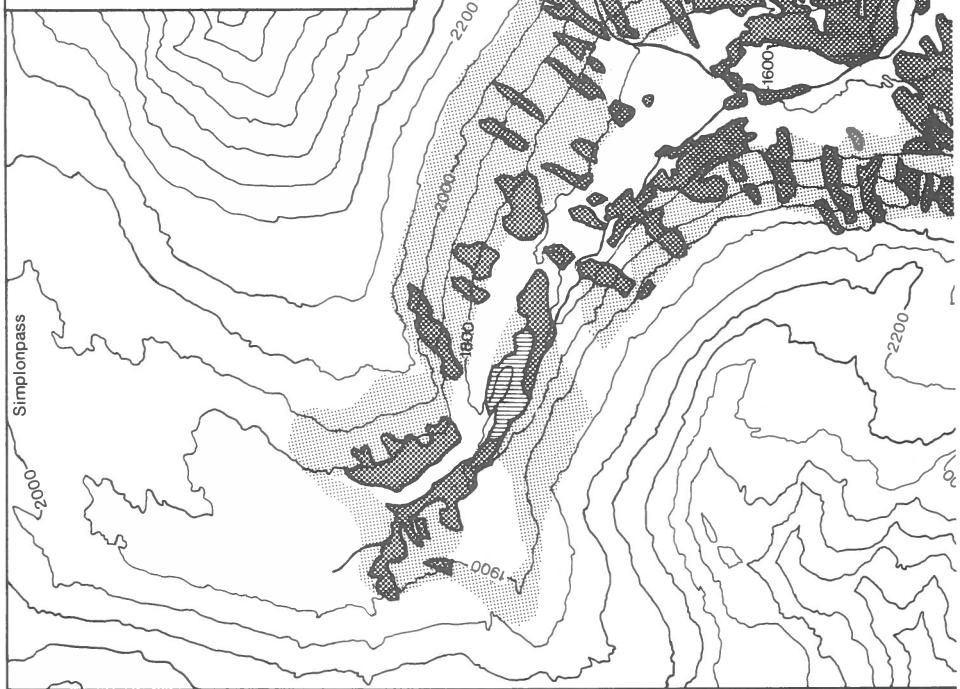
Außer häufigen Naturkatastrophen wie Bergstürze, Lawinen, Brände (ARNOLD, 1947; ZENKLUSEN, 1965) hat sich vor allem der menschliche Einfluß auf das heutige Waldbild ausgewirkt. MEYER (1955) hat die historischen Quellen auf ihre Hinweise über eine frühere Waldausbreitung und Artenzusammensetzung bearbeitet. Dabei findet er neben der Rodung für Besiedlung und Bewirtschaftung vor allem die Einflüsse des Paßverkehrs (Kriegszüge, Bau der Straße, Holzhandel für Eisenbergwerke usw.) als maßgebend für die große Ausbeutung und teilweise Übernutzung der Wälder. Bedeutende Holzmengen erforderten auch die vielen Köhlereien und Kalkbrennereien im ganzen Gebiet, sowie eine Harzbrennerei (ROBERT, 1975) über der Gondoschlucht.

Waldgeschichte und Waldgrenzschwankungen seit der Eiszeit werden durch pollanalytische Befunde (KÜTTEL und MÜLLER, 1977; KÜTTEL, 1979) dargelegt. Anhand von vier Moorprofilen an drei Lokalitäten kann bei-

W A L D
VERBREITUNG UND BAUMARTEN
Krummbachtal (Simplon, VS)

LK 1: 25000 BL. 1309

Kartierung: H. - N. MÜLLER



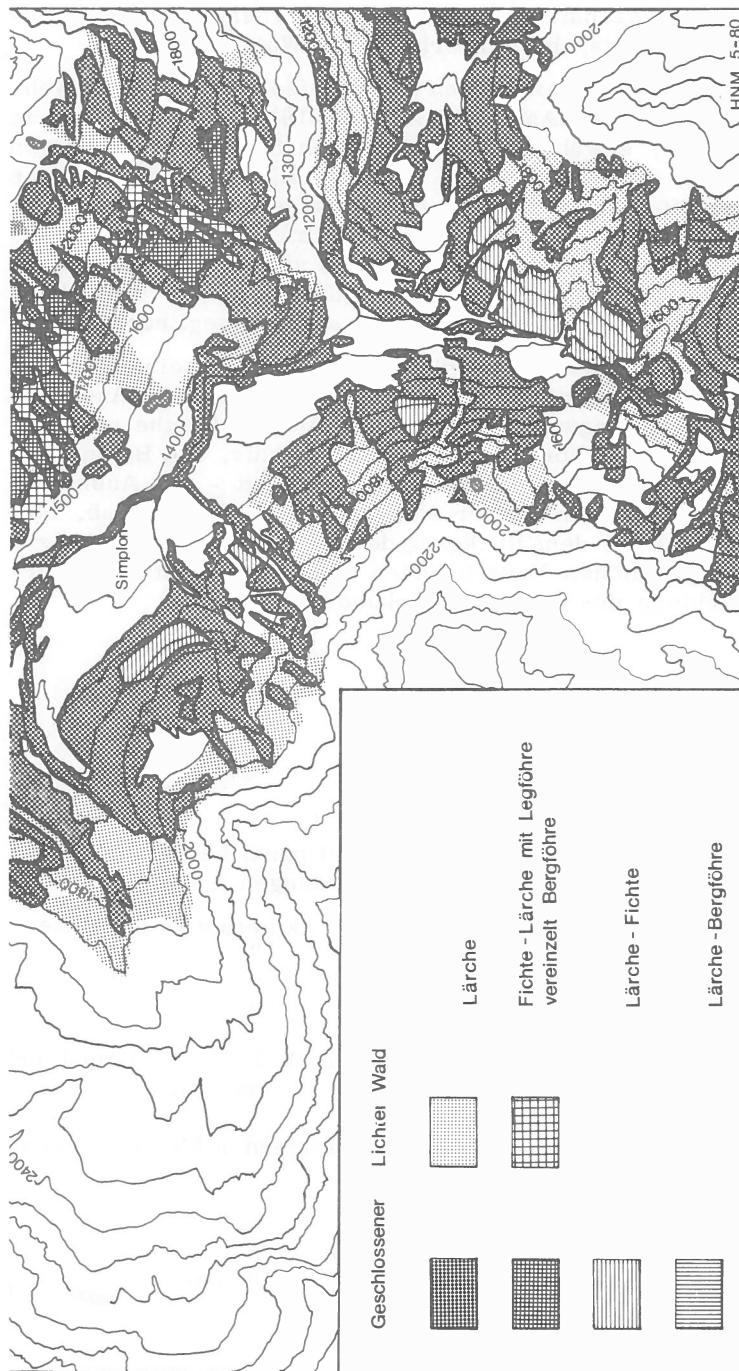


Abb. 2 : Waldkarte

spielsweise ein Waldgrenzanstieg nachgewiesen werden, in dessen Folge das ganze Untersuchungsgebiet innerhalb des Waldes lag.

Über die Höhe der Waldgrenze existieren unterschiedliche Angaben. Während beispielsweise BROCKMANN-JEROSCH (1919) diese auf 2400 m über dem Paß ansetzt, erwähnt HESS (1942) ein Südseiten-Mittel von 2100 m. Die aktuelle Waldgrenze, die ausschließlich von der Lärche gebildet wird, verläuft auf der südexponierten Talseite auf rund 2200 m, an wenigen Stellen gar etwas darüber (bis 2250 m), zieht paßwärts ins Tal bis auf etwa 1900 m hinunter und erstreckt sich am nordexponierten Talhang auf rund 2000 m (Abb.3). Am Südhang ist sie weitgehend linear ausgebildet, während sie am Nordhang stärker gegliedert ist.

Die heutige Bedeutung des Waldes liegt hauptsächlich in seiner Schutzfunktion, was auch durch seine Einstufung als Bannwald zum Ausdruck kommt. Zahlreiche Lawinengänge zerschneiden die Waldfläche und verleihen ihrem Bild eine ausgesprochene Vertikalstruktur. Die Bestandesdichte des Lärchenwaldes ist unterschiedlich und hängt - mit Ausnahme der Lawinenzüge - direkt von seiner Nutzung als Waldweide ab. Seit diese untersagt ist und mit dem Rückgang des Viehbestandes (besonders auch mit dem fast gänzlichen Verschwinden der Ziege), ist eine Verjüngung und Verdichtung des Waldes offenkundig.

2.2 Klimabeobachtungen

In einem Tallängs- und -querprofil, deren Schnittpunkt bei Simplon-Dorf liegt, wurden vier Meßstationen erstellt (Abbildungen 1 und 3):

Bärechumma	1800	m/M	S-Hang	400	m	unter aktueller Waldgrenze
Stalde	1400	m/M	Tal	800	m	"
Bodme	1800	m/M	N-Hang	200	m	"
Engiloch	1800	m/M	Tal	100	m	"

Die Wetterstationen umfassen eine Wetterhütte in 1,5 m über Grund und einen Windmesser in 2,5 m Höhe (Abbildungen 4a und 4b).

Die WETTERHÜTTEN (Siap Nr.1690) sind mit folgenden Meßinstrumenten ausgerüstet:

Thermohygraph (Lambrecht Nr. 252)
Pluviograph (Siap Nr. 8100), Auffangfläche 400 cm²
Stationsthermometer
Minimumthermometer
Maximumthermometer.

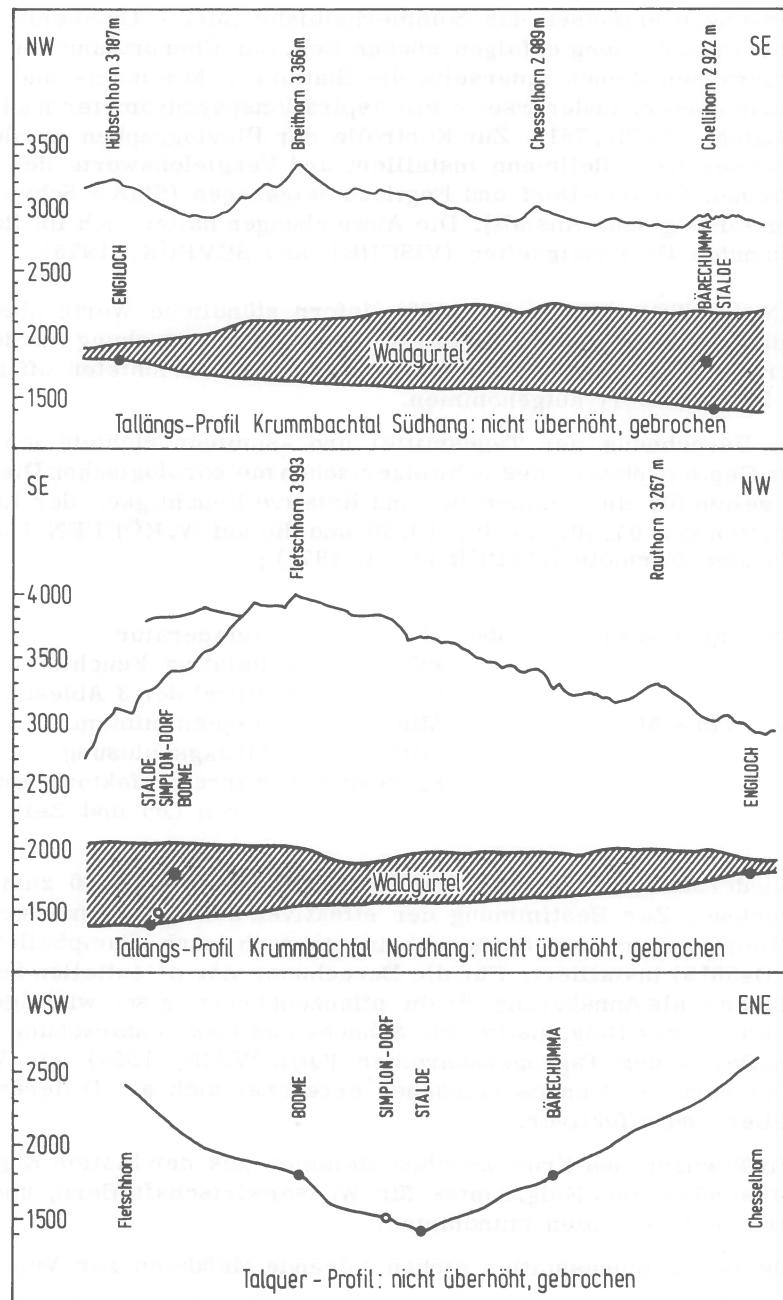


Abb. 3 : Profile Krummbachtal Simplon-Süd

Die Messungen umfassen das Sommerhalbjahr (Mai - Oktober). Streifenwechsel und Wartung erfolgen wöchentlich. Zur Überprüfung der Thermo- hygrographen dienen einerseits die Stations-, Minimum- und Maximumthermometer, andererseits ein Aspirationspsychrometer nach Assmann (Lambrecht Nr. 761). Zur Kontrolle der Pluviographen wurden ein Regenmesser nach Hellmann installiert und Vergleichswerte der SMA-Meßstationen Simplon-Dorf und Engiloch beigezogen (SMA = Schweizerische Meteorologische Anstalt). Die Abweichungen halten sich im Rahmen der bekannten Ungenauigkeiten (VISCHER und SEVRUK, 1975).

Die WINDMESSER (Wölfle Nr. 1482) liefern stündliche Werte über Geschwindigkeit und Richtung. In die vorliegende Untersuchung wurden jedoch vorläufig die Beobachtungen der inzwischen errichteten offiziellen Station Simplon-Dorf aufgenommen.

Für die Berechnung der Tagesmittel und -summen richtete ich mich nach den Gepflogenheiten des schweizerischen meteorologischen Dienstes. Danach gelten für die Temperatur und Relative Feuchtigkeit der Luft die Ablesezeiten von 07.30, 13.30, 19.30 und die auf W. KÖPPEN 1888 zurückgehenden Formeln (MÄDER et al, 1971) :

$T = n - k(n - \text{Min})$	wobei	T	= Temperatur
		rF	= Relative Feuchte
		n	= Mittel der 3 Ablesungen
$rF = n - c(n - \text{Mitt})$		Min	= Tagesminimum
		Mitt	= Mittagsablesung
		k, resp. c	= Korrekturfaktor, abhängig von Ort und Zeit.

Beim Niederschlag werden die gefallenen Mengen bis 07.00 zum Vortag gerechnet. Zur Bestimmung der effektiven Sonnenscheindauer wurde in Simplon-Dorf ein Sonnenscheinautograph nach Campbell-Stokes (Fuess D-5819) installiert. Für die Berechnung der potentiellen Sonnenscheindauer - als Annäherung für die pflanzenphysiologisch wichtige Taglänge - stellte das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weißfluhjoch-Davos den Tagbogenschreiber (QUERVAIN, 1957) zur Verfügung. Die relative Sonnenscheindauer errechnet sich als Differenz aus potentieller und effektiver.

Die Abflußmengen des Krummbaches stammen aus der Station Engiloch, einem Testgebiet des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft Bern, und sind den jährlichen Berichten entnommen.

Für jede Beobachtungsstation stehen folgende Meßdaten zur Verfügung:

Lufttemperatur	07.30, 13.30, 19.30, Min., Max., Mittel in	°C
Relative Luftfeuchte	" " " " "	in %
Niederschlag	Tagessumme	in mm



Abb. 4 : Wetterstation im Bestandesgefüge
a) Wetterhütte, Regen- und Windmesser
b) Meßinstrumente in der Wetterhütte

Nach der empirischen Formel von Magnus (CONRAD, 1936: 345) wurden Tagesmittelwerte berechnet für:

$$\begin{aligned}
 \text{Sättigungsdruck} \quad E &= 6,04 \cdot 10 \frac{7,45 \cdot T}{234,7 + T} \quad \text{in mb} \\
 \text{Dampfdruck} \quad e &= rF \cdot E \quad " " \\
 \text{Sättigungsdefizit} \quad S &= E - e \quad " " \\
 \text{Absolute Feuchte} \quad \varphi_w &= \frac{m_w}{R^*} \cdot \frac{e}{T} = 2,17 \cdot \frac{e}{T + 273} \quad \text{in g/cm}^3
 \end{aligned}$$

Das Sättigungsdefizit S, das die Differenz zwischen dem Sättigungsdruck E bei der Beobachtungstemperatur T und dem tatsächlichen Dampfdruck e bezeichnet, wurde berechnet, weil sich dieses direkt proportional zur Transpiration verhält und damit baumphysiologisch von Bedeutung ist. Der Sättigungsdruck E ist der maximale Wert des Dampfdruckes e. Die absolute Feuchte beinhaltet das Maß für den in der Luft vorhandenen Wasserdampf, ausgedrückt durch das Gewicht des zu Wasser kondensierten Wasserdampfes in 1 m³ Luft.

Als Anhaltswerte, die ungefähr die Bedingungen im Gesamtgebiet bezeichnen können, gelten folgende Messungen aus der Station Simplon-Dorf:

Potentielle Sonnenscheindauer: Tagessumme in min
 Effektive Sonnenscheindauer: Tagessumme in min
 Relative Sonnenscheindauer: Tagessumme in min
 Bewölkung: Tagesmittel aus 3 Beobachtungsterminen in Prozent
 Windgeschwindigkeit: 07.30, 13.30, 19.30 Mittel in Knoten.

Die Daten für Bewölkung und Wind können wegen ihres Momentcharakters nur bedingt von allgemeiner Gültigkeit sein. Strahlungsmessungen wurden nicht durchgeführt. Einen indirekten Ausdruck findet die Strahlung allerdings in den Werten von Temperatur, Sonnenscheindauer und Bewölkung.

2.3 Dendrometermessungen

In unmittelbarer Umgebung der Wetterstationen wurden an Bäumen der vorkommenden Nadelbaumarten phänometrische Zuwachsmessungen vorgenommen. Je Standort und Baumart wählte ich fünf nach Alter, Stammdicke, Größe und zum Teil auch Bestandesdichte sich unterscheidende Bäume zur dendrometrischen Messung aus. Während an allen Beobachtungsstationen Lärchen (*Larix decidua* Miller) wachsen, finden sich Fichten (*Picea excelsa* (Lam.) Link) nur auf der Südseite (Bärechumma) und

Bergföhren (*Pinus montana* Miller, ssp. *arborea* Tubeuf; Nomenklatur nach H. E. HESS, E. LANDOLT, R. HIRZEL, 1967) nur dort und in der oberen Tallage (Engiloch). Insgesamt wurden 30 Bäume auf rund zwei Meter Stammhöhe südorientiert gemessen. Damit konnte an den Hanglagen sowohl dem talseitigen Druckholz wie auch den engen bergseitigen Jahrtringen ausgewichen und ein natürliches Mittel erreicht werden.

Die wöchentlichen Radialzuwachsmessungen erfolgten mit einem Dendrometer und die laufende Registrierung mit einem Dendrographen (Abb. 5). Eine zusammenfassende Darstellung der bisher üblichen Meßgeräte gibt GEISSLER (1970).

Der Dendrometer besteht aus einer handelsüblichen Meßuhr (Mikrometer Mitutoyo Nr. 2046, Meßbereich 10 mm, Skaleneinteilung 0,01 mm), die fest auf ein Stativ montiert ist (Abb. 5a). Es handelt sich dabei um ein ähnliches Gerät, wie es DAUBENMIRE (1945) beschreibt. In den Baum wurden drei Rundkopf-Holzschrauben (50 mm lang, 5 mm stark) gedreht. Zur Messung muß das Stativ so auf diese Schraubenköpfe gelegt werden, daß die obere linke Schraube stets in gleicher Position anschlägt. An der Meßstelle entfernte ich sorgfältig die Borke, sodaß der Stift des Mikrodendrometers direkt der das Kambium schützenden Rinde aufliegt. Zwischen der feststehenden Ebene der Schraubenköpfe und dem sich ändernden Abstand zum Kambium kann das Wachstum auf der Meßuhr unmittelbar abgelesen werden. Die Differenz zur vorgängigen Messung ermöglicht die Ermittlung des Radialzuwachses je Periode. Um den Einfluß der täglichen Durchmesserschwankungen zu eliminieren, wurden die Ablesungen immer zur gleichen Tageszeit vorgenommen. Jede Einzelmessung wurde dreimal durchgeführt. Aufgrund der praktischen Erfahrung nach rund 9000 ermittelten Einzelmessungen können die Fehlergrenzen bei einer sorgfältig erfolgten Ablesung innerhalb eines Bereiches von 2 Einheiten (= 0,02 mm) angenommen werden. Die Tagesbewegungen werden durch einen Dendrographen erfaßt. Eine gleiche Meßuhr wurde dazu fest an einem Baum montiert. Die Radialänderungen werden vom Stift über einen Zeiger auf eine sich drehende Trommel aufgezeichnet (Eigenkonstruktion mit Dr. T. Strüby; Abb. 5b). Dadurch werden die radialen Änderungen kontinuierlich erfaßt und die täglichen Schwankungen mit reversiblen Quellungs- und Schwindungsprozessen und irreversiblen Zuwachsvorgängen erkennbar. Außerdem können die Messungen des Dendrometers eingestuft werden.



Abb. 5a: Dendrometer

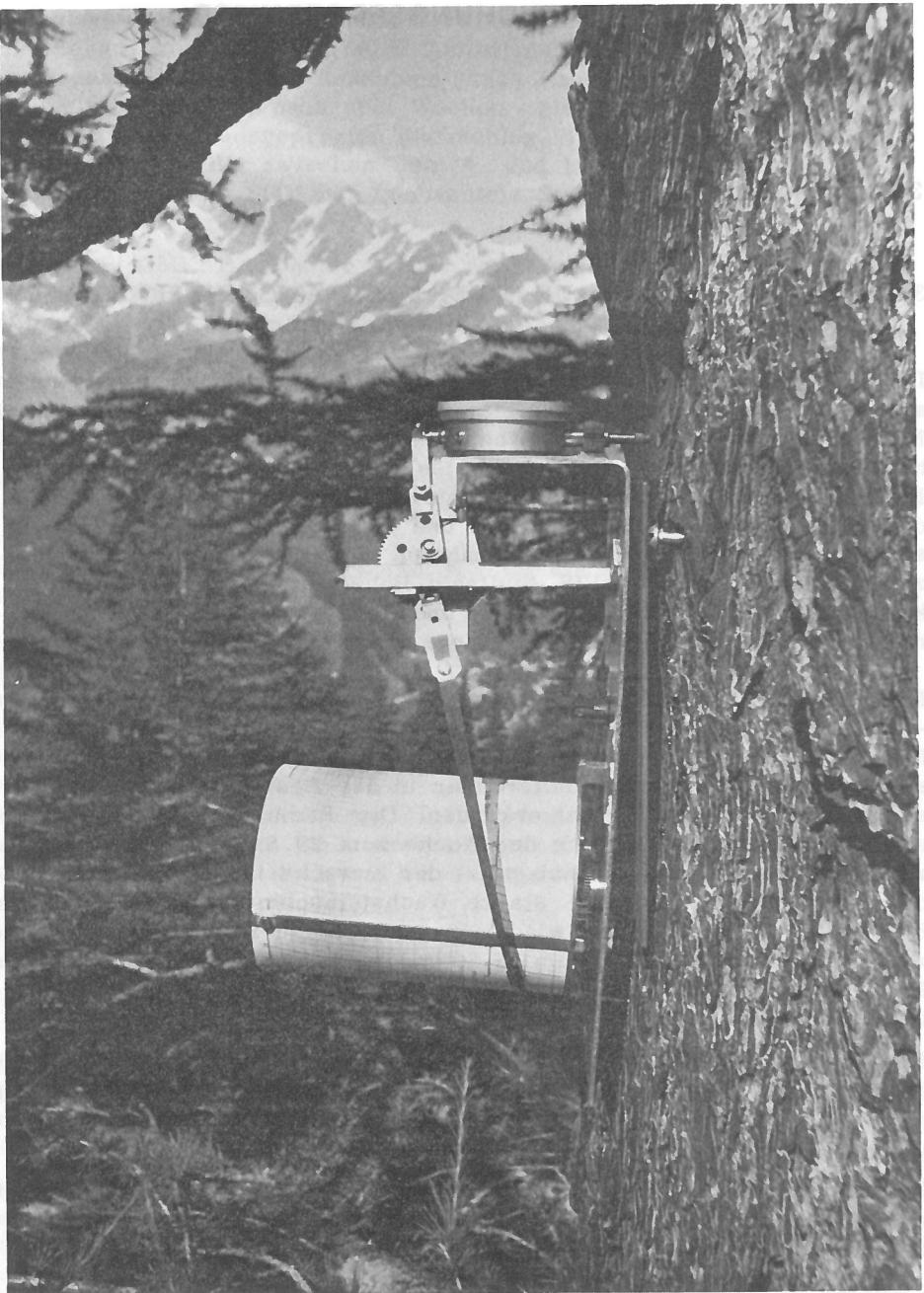
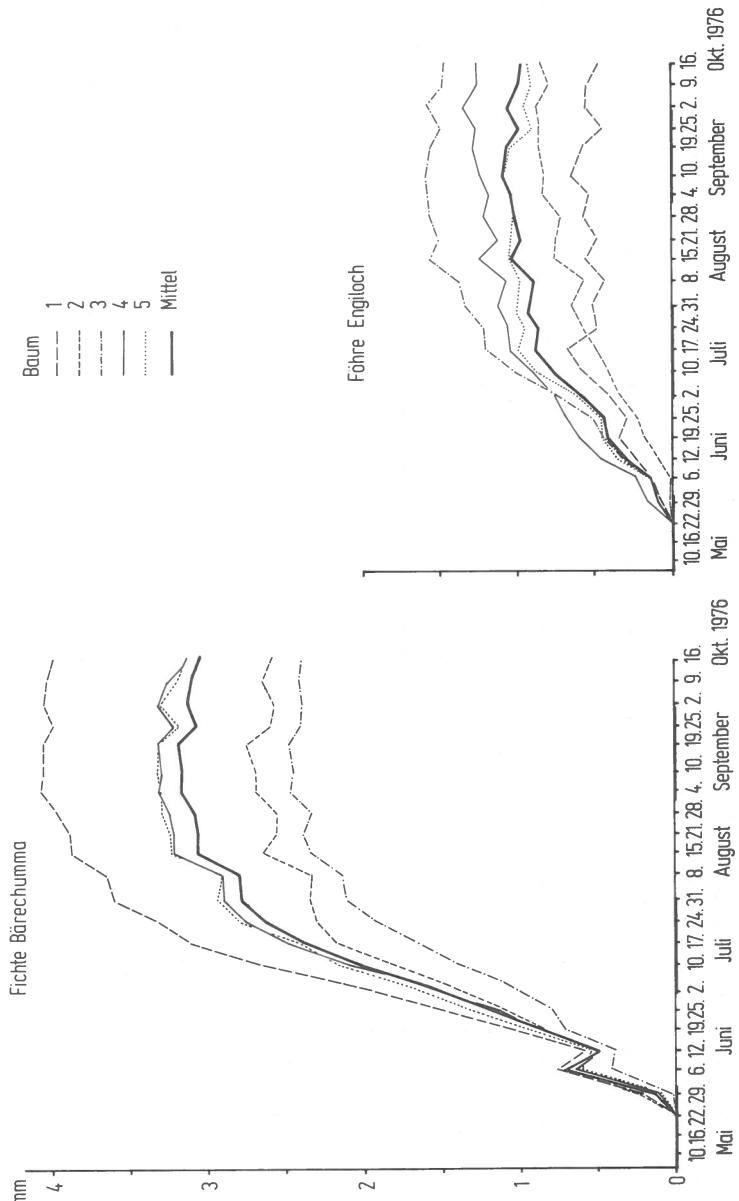


Abb. 5b: Dendrograph



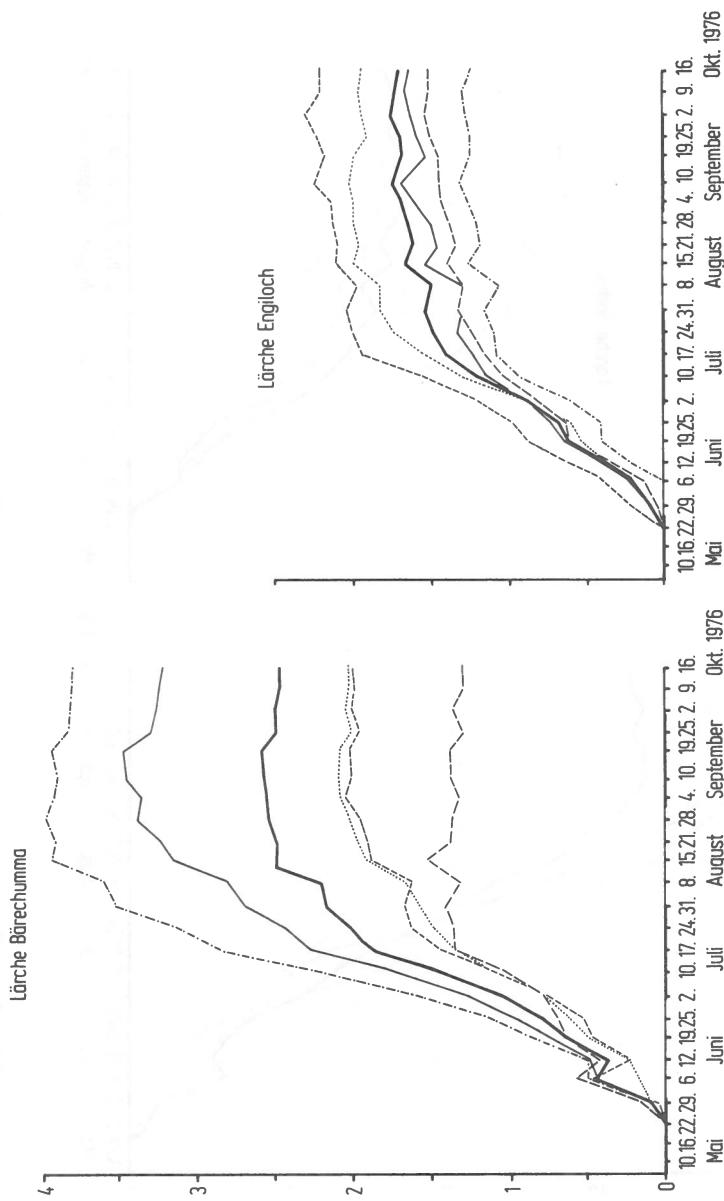


Abb. 6 b: Summationsdiagramme über den Wachstumsverlauf von Bäumen auf verschiedenen Standorten. Vegetationsperiode 1976.

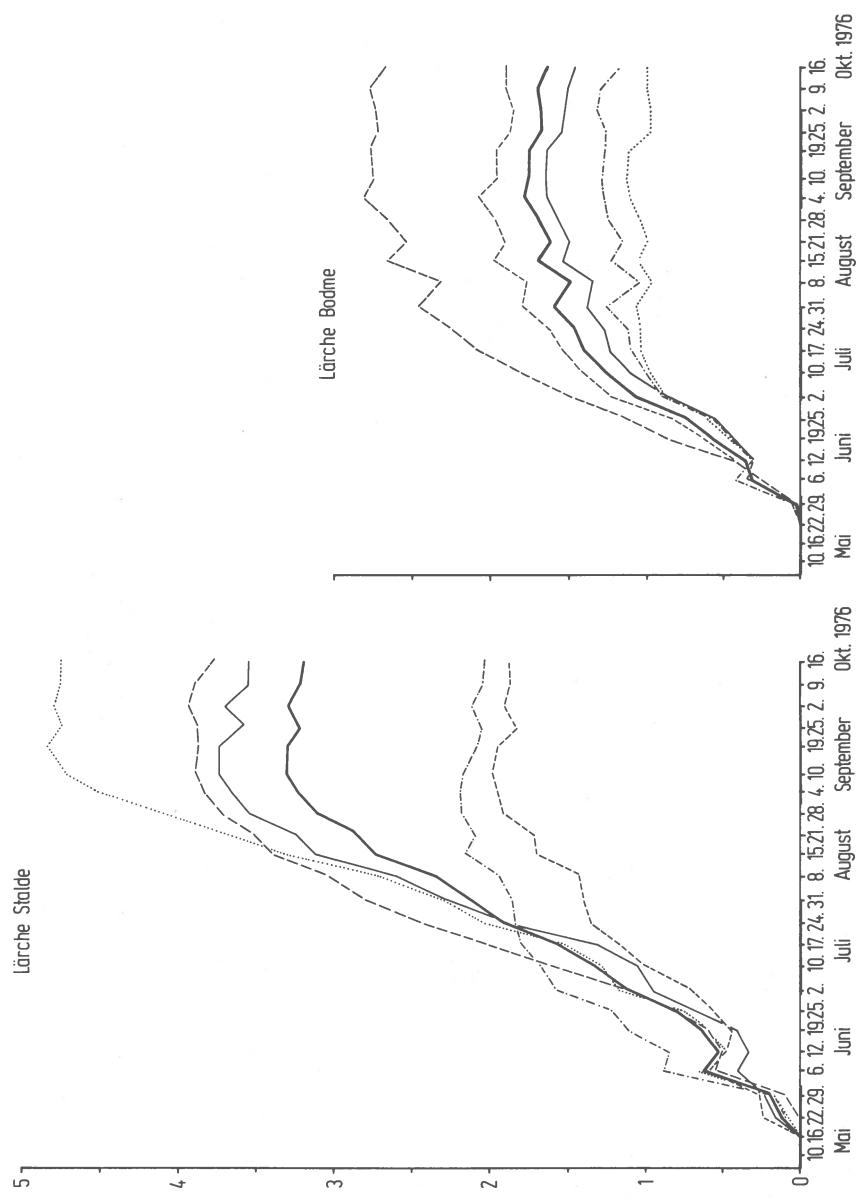


Abb. 6 c: Summationsdiagramme über den Wachstumsverlauf von Bäumen auf verschiedenen Standorten. Vegetationsperiode 1976.

Dies bedeutete den direkten Nachweis, daß Dendrochronologie über die Baumarten hinweg möglich ist. Allerdings muß der Standort mitberücksichtigt werden.

- Über das ganze Gebiet kann grundsätzlich der gleiche Verlauf festgestellt werden, doch sind Differenzierungen im Standortvergleich einer Baumart offensichtlich. Nicht unwesentliche Unterschiede ergeben sich beispielsweise im Vergleich von Lärche Stalde zu den anderen Stationen, obwohl sie nur 400 Höhenmeter auseinanderliegen.

Die Untersuchung des Wuchsverhaltens der einzelnen Bäume verschiedener Arten und Standorte legt den Schluß nahe, daß die arttypischen und individuellen Reaktionen offenbar überlagert werden von einem äußeren Einfluß, der mit zunehmender Entfernung des Standortes von der Waldgrenze abnimmt und im Klima zu suchen ist.

Standort- und artbedingte Einflüsse kommen mit Hilfe der prozentualen Zuwachskurven klar zum Ausdruck (Abb. 7). Das Wachstum wird dabei zu einem bestimmten Zeitpunkt in Prozenten des Gesamtjahreszuwachses dargestellt. Die Kurven drücken die Mittel je Baumart und Standort aus.

Deutlich heben sich hier die waldgrenznäheren Stationen von der entferntesten ab. Mit zunehmender Distanz zur Waldgrenze verzögert sich der Zeitpunkt des Erreichens eines bestimmten Prozentanteiles des Jahreszuwachses. Damit in Zusammenhang steht die Dauer der Wachstumszeit an den einzelnen Standorten. Während die waldgrenznahen Baumarten einen bestimmten Prozentanteil ihres Jahreszuwachses innerhalb einer Woche - in der Reihenfolge ihrer Entfernung von der Waldgrenze - erreichen, dauert dies an der unteren Tallage drei bis fünfeinhalb Wochen länger (Tabelle 1).

Auffallend ist das schnelle Wachstum bis 17.7., das bereits 70 - 80 % des Jahreszuwachses der waldgrenznahen, aber noch nicht die Hälfte der waldgrenzfernen Station erbringt.

Die kürzeren Vegetationszeiten dürften sich - durch die auftretenden Expositionsunterschiede - gegenüber Tallagen gleicher Höhe an den Hängen ergeben. Dadurch zeigt sich mit insgesamt drei Wochen Differenz eine zunehmend längere Wachstumszeit vom Nordhang (Bodme) über die gleich hoch gelegenen Tal- (Engiloch) und Südhangle (Bärechumma) zur tiefer liegenden unteren Tallage (Stalde). Ein durch warme Hangzonen, Kaltluft am Talgrund oder erhöhte Strahlungsintensität oberhalb des Nebels bedingtes allgemeines Vorausseilen der Hangstationen gegenüber den Tallagen kann nicht festgestellt werden.

In vorerst keinen direkten deutlichen Zusammenhang lassen sich die phänologischen Zustandsstufen der Lärche bringen. Die Dickenzunahme beginnt - mit Ausnahme von Stalde - mit dem Spreizen und Wachsen der Knospennadeln zu Büscheln, doch setzt das Wachstum aus, ehe die Lärchen vergilben. Die Andauer des Sommerkleides ist wiederum abhängig von der Entfernung zur Waldgrenze.

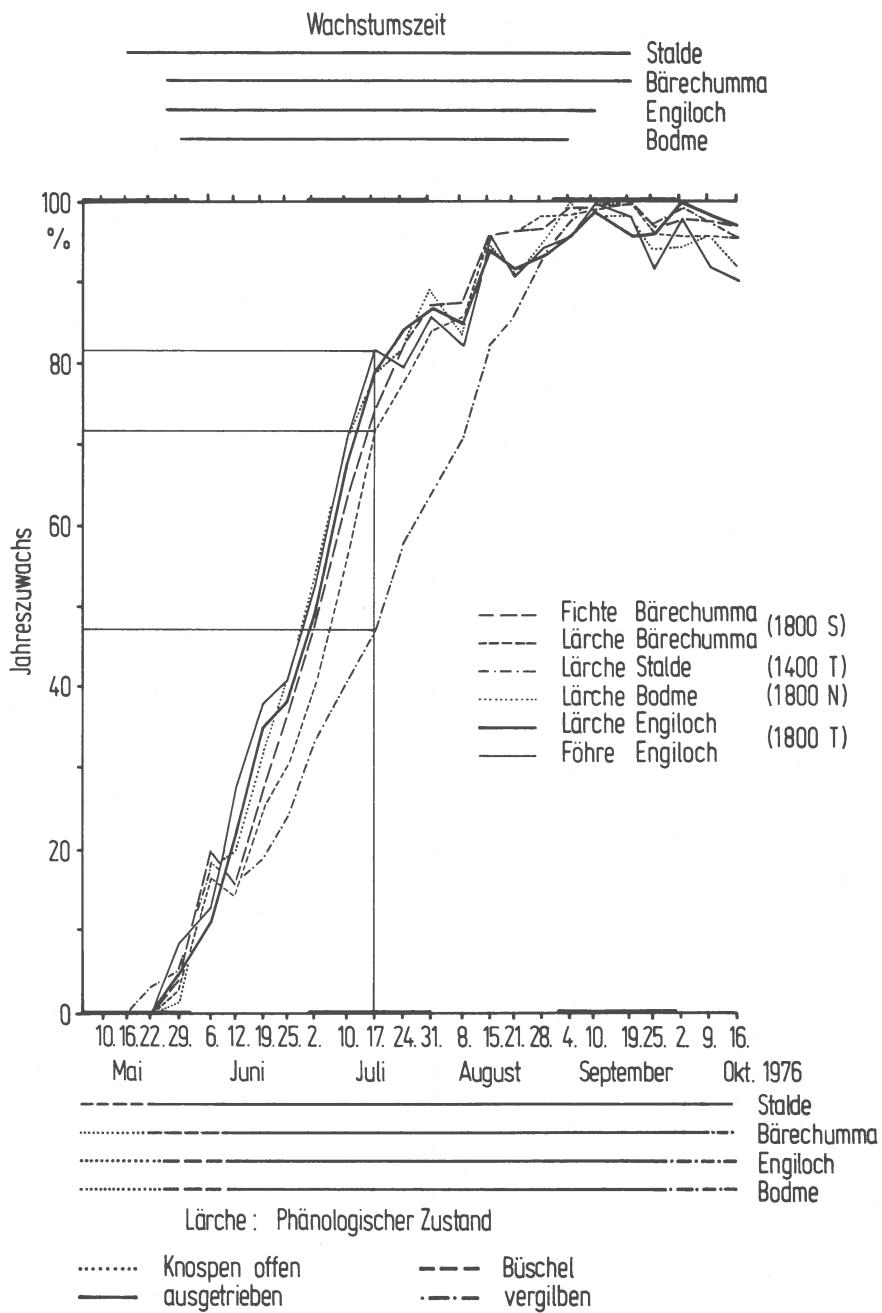


Abb. 7 : Prozentuale Zuwachskurven (der Mittel je Baumart und Standort), Wachstumszeit und Phänologischer Zustand 1976.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Bedingungen des Standortes sehr viel bedeutender sind als die arttypischen endogenen Faktoren.

Jahreszuwachs (%)	Wachstumszeit (Wochen)				Δ
	Bodme	Engiloch	Bärechumma	Stalde	
50	5 1/2	6 1/2	6 1/2	9 1/2	4
75	7	7 1/2	8 1/2	12 1/2	5 1/2
90	11	11 1/2	11 1/2	14 1/2	3 1/2
100	15	16	17	18	3

Tab.1: Anteil am Jahreszuwachs zu verschiedenen Zeiten der Vegetationsperiode 1976 an den untersuchten Standorten.

3.1.2 WACHSTUMSLEISTUNG

Durch die Zusammenfassung der jeweils gemessenen fünf Bäume je Standortseinheit zu einem Mittel lassen sich die Zuwachsbeträge verschiedener Baumarten und Standorte vergleichen (Abb. 8). Dadurch sollen individuelle Einflüsse, die aus Alter, Bestandesdichte und anderen, nicht faßbaren Faktoren resultieren, ausgeglichen werden und einen repräsentativen Ausdruck für eine Baumart eines Standortes ermöglichen. Mit Ausnahme von Lärche Stalde und Fichte Bärechumma zeigen alle Wachstumskurven am 17.7. einen markanten Punkt auf, nach dem der Zuwachs wesentlich geringer ausfällt.

Die den größten Jahreszuwachs aufweisenden Lärche Stalde und Fichte Bärechumma erfahren, obwohl sie letztlich etwa gleich große Jahrringe bilden, ein stark unterschiedliches Wachstum. Lärche Stalde wächst bis 8.8. in gleicher Intensität wie Lärche Bärechumma und setzt dies im Gegensatz zu letzteren unvermindert fort bis 10.9. Fichte Bärechumma zeigt demgegenüber bis 8.8. ein wesentlich stärkeres Wachstum und verhält sich danach wie Lärche Bärechumma.

Praktisch deckungsgleich sind die Summationskurven von Lärche Bodme und Engiloch. Gut damit vergleichbar ist der Kurvenverlauf von Bergföhre Engiloch, deren Wuchsleistung aber entschieden geringer ist. Sie liegt um 53 % unter dem Mittel aller Bäume und ist beispielsweise um 66 % geringer als Fichte Bärechumma. Noch um 22 % unter dem Mittel liegen die Lärchen von Bodme und Engiloch, während Lärche Bärechumma um 13 % und Fichte Bärechumma und Lärche Stalde um 42 % das Mittel übertreffen.

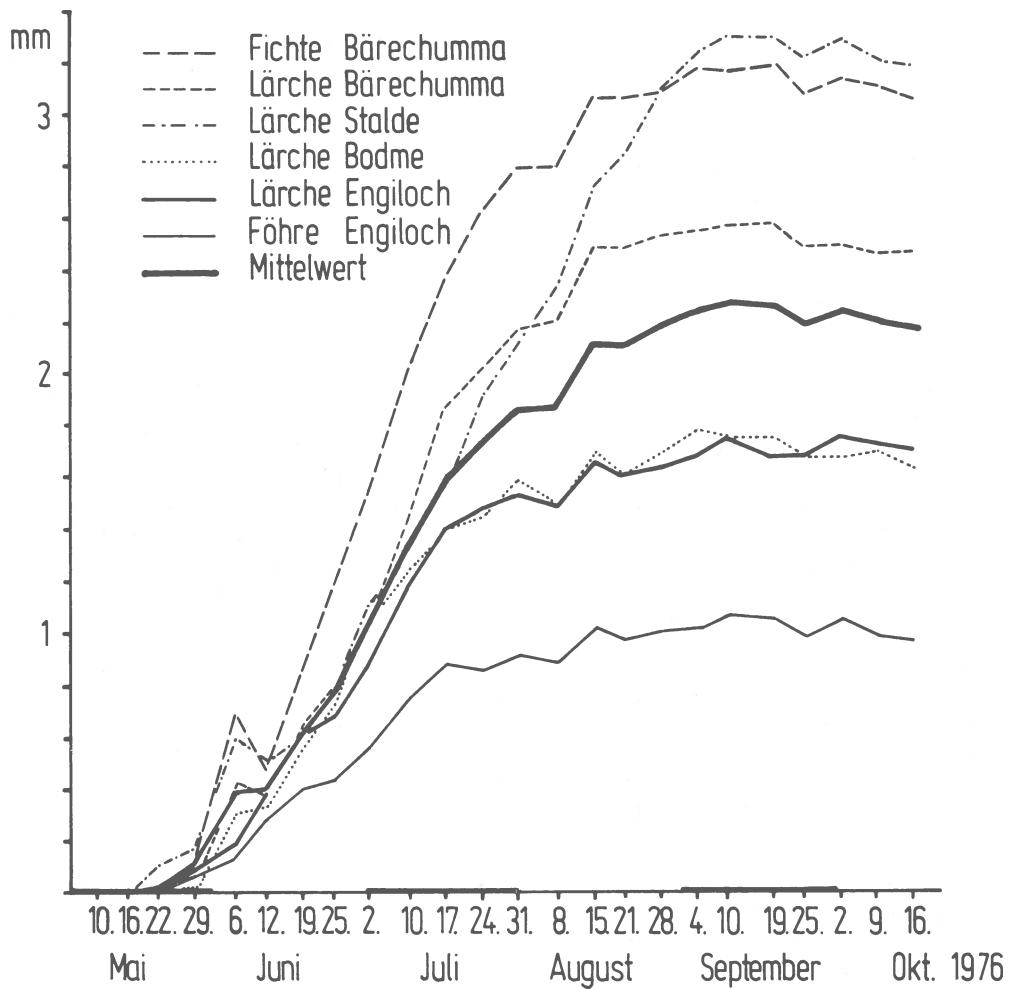


Abb. 8 : Wachstumsleistung je Baumart und Standort 1976 (Summationskurven).

Die in die Mittelkurven eingegangenen minimalen und maximalen Zuwachswerte der einzelnen Bäume können aus Tab. 2 ersehen werden. Im Mittel werden die deutlich kleinsten Jahrringe im Engiloch, die größten in Stalde und Bärechumma gebildet, wobei im Durchschnitt die breitesten von den Fichten und die schmalsten von den Bergföhren stammen. Den größten Schwankungsbereich der Zuwächse weisen die Lärchen auf, den kleinsten die Bergföhren.

Jahreszuwachs (mm)	Bärechumma Fichte	Stalde Lärche	Bodme Lärche	Engiloch Lärche	Bergföhre
kleinster Wert	2,48	1,53	1,99	1,13	1,31
größter Wert	4,07	3,97	4,84	2,81	2,29
Bereich	1,59	2,44	2,85	1,68	0,98
Mittel (aus 5 Bäumen)	3,19	2,58	3,30	1,78	1,75
					1,07

Tab. 2: Schwankungsbereich der Jahrringgrößen 1976

Zusammenfassend können einige Standort- und Wachstumsunterschiede festgehalten werden:

- Die Fichten weisen das größte, die Bergföhren das geringste Wachstum auf.
- Die an allen Standorten vorkommenden Lärchen geben insofern interessante Hinweise, als einerseits die Wachstumsbedingungen am Nordhang und in der oberen Tallage offenbar gleiche Auswirkungen zeigen, andererseits aber die südexponierte Hang- und die untere Tallage sich davon beträchtlich abheben.
- In deutlichem Zusammenhang mit der Distanz zur Waldgrenze steht die mittlere Wuchsleistung:

1800 m Nordhang	24,3 %	unter Lärchenmittel
1800 m Tallage	25,6 %	" "
1800 m Südhäng	9,7 %	über "
1400 m Tallage	40,3 %	" "

3.1.3 WACHSTUMSINTENSITÄT

Die Ermittlung des durchschnittlichen täglichen Zuwachses je Meßperiode führt zur Darstellung von Ratenkurven. Dabei wird die Intensität

des Wachstums aufgezeigt. Eine besondere Wertung erhält so die Zuwachsstärke in Relation zur Vorperiode, was den Kurvenverlauf schließlich bestimmt. Augenfällig wird die unterschiedliche Wachstumsintensität von Woche zu Woche und von Baum zu Baum. Wachstums- und Stillstandsperioden können deutlich auseinandergehalten werden.

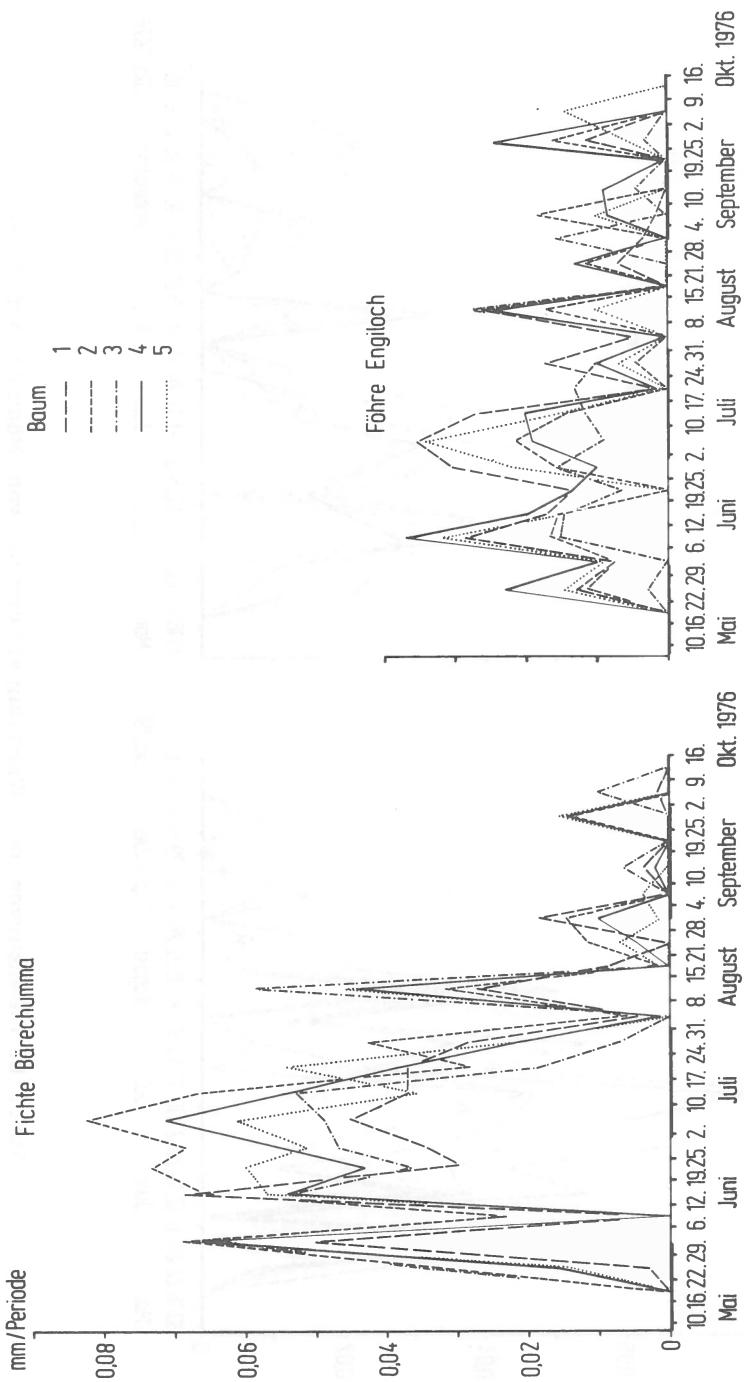
Die Übereinstimmung in den Gleichläufigkeiten ist sehr hoch und die Kurven der Einzelbäume liegen erstaunlich dicht beieinander (Abb. 9a-c). Größere Differenzen und Schwankungsbereiche zeigen einzig Lärche Stalde. Die individuellen Faktoren scheinen hier vermehrt ins Gewicht zu fallen.

Die Schwankungsbereiche der einzelnen Bäume, die aus Tab. 3 hervorgehen, erlauben eine Zweigliederung der Standorte ungeachtet der Baumarten. Die waldgrenznahen Stationen Bodme und Engiloch heben sich sowohl durch die täglichen und die mittleren Zuwächse pro Periode als auch durch die mittleren jährlichen Zuwächse (vgl. Tab. 2) deutlich ab von den entfernteren Stationen Bärechumma und Stalde.

mm	Bärechumma	Stalde	Bodme	Engiloch
	Fichte	Lärche	Lärche	Bergföhre
Täglicher Zuwachs:				
kleinster Wert	0,05	0,04	0,04	0,04
größter Wert	0,08	0,09	0,09	0,06
Bereich	0,03	0,05	0,05	0,02
Mittel	0,06	0,06	0,06	0,05
Mittlerer Perioden-Zuwachs:				
kleinster Wert	0,40	0,25	0,25	0,18
größter Wert	0,62	0,56	0,70	0,44
Bereich	0,22	0,31	0,44	0,26
Mittel	0,48	0,39	0,47	0,28

Tab. 3: Zuwachsschwankungen pro Meßperiode

Die aus jeweils fünf Einzelkurven entstandenen Mittel für jede Baumart eines Standortes (Abb. 10a, b) bilden die Grundlage für den Vergleich mit den meteorologischen Daten und der Erfassung von Kausalzusammenhängen in der Beziehung Jahrringwachstum - Klima.



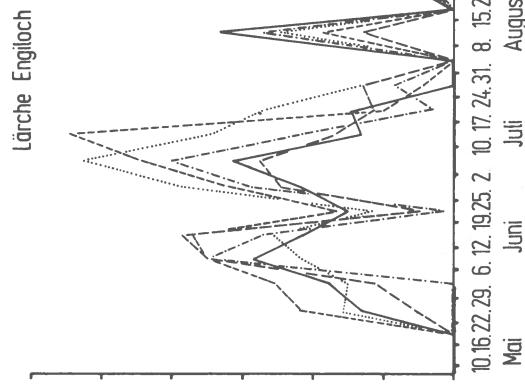
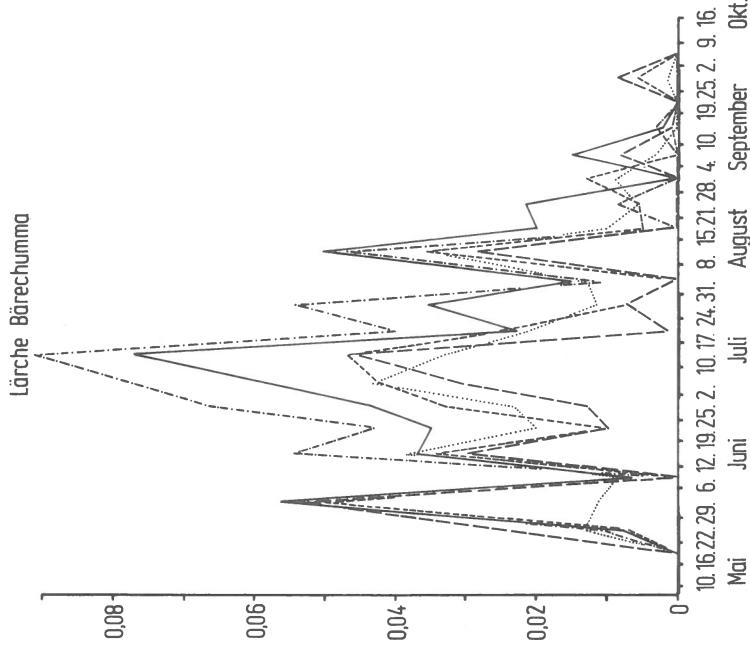


Abb. 9 b: Ratenkurven der Wachstumsintensität von Bäumen auf verschiedenen Standorten. Vegetationsperiode 1976.

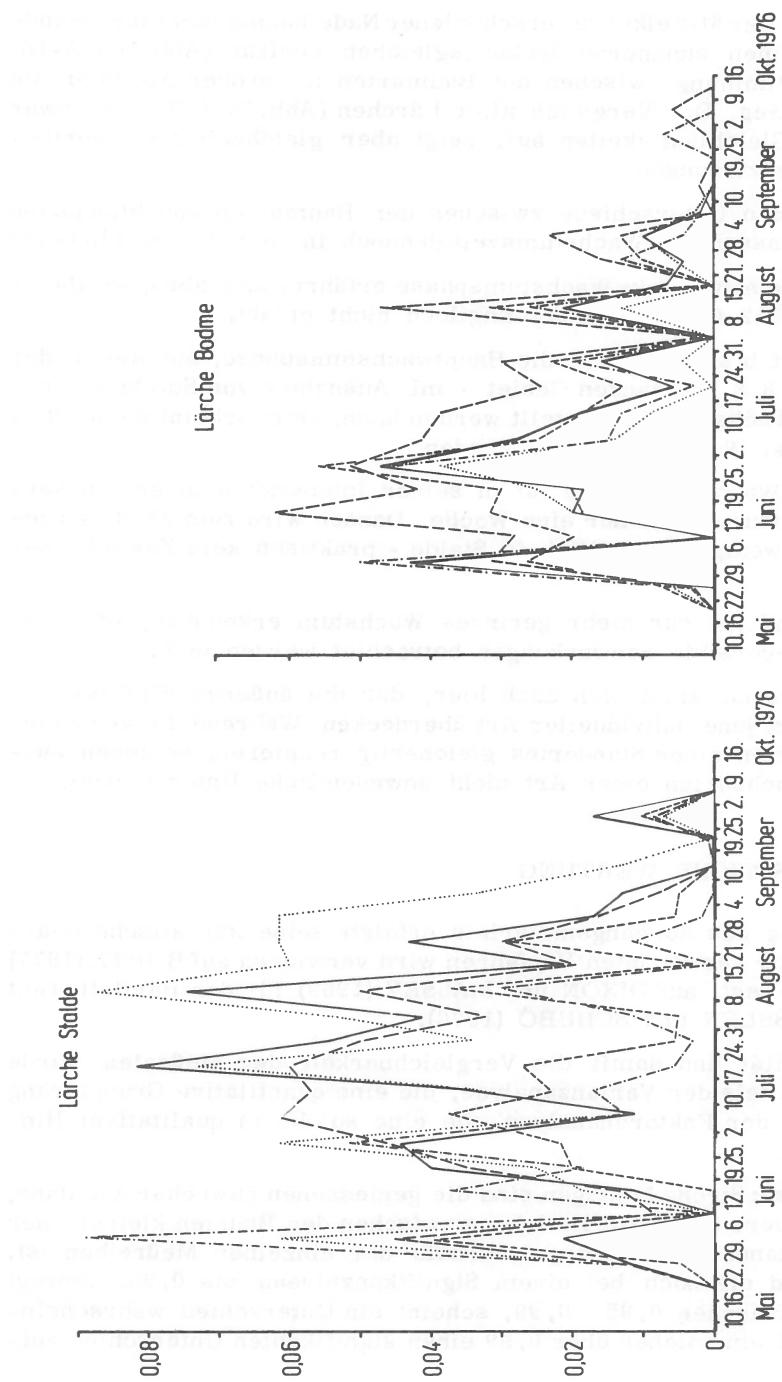


Abb. 9 c: Ratenkurven der Wachstumsintensität von Bäumen auf verschiedenen Standorten. Vegetationsperiode 1976.

Der Vergleich der Mittelkurve verschiedener Nadelbaumarten eines Standortes zeigt einen annähernd deckungsgleichen Verlauf (Abb.10a/A-B). Die Übereinstimmung zwischen den Baumarten ist größer als über die Standorte hinweg. Der Vergleich aller Lärchen (Abb.10b/C) weist zwar weitgehende Gleichläufigkeiten auf, zeigt aber gleichzeitig standortbedingte Differenzierungen.

Die auftretenden Unterschiede zwischen den Baumarten und Standorten (Abb. 10b/D) lassen die Wachstumszeit dennoch in vier Phasen gliedern:

- Die erste, relativ starke Wachstumsphase erfährt einen abrupten Rückschlag zum 12.6., der einzig Engiloch nicht erfaßt.
- Danach folgt bis zum 31.7. die Hauptwachstumsphase, auf die in der Woche zum 8.8. im ganzen Gebiet - mit Ausnahme von Stalde - praktisch kein Wachstum festgestellt werden kann. Dort scheint diese Phase erst zwei Wochen später zu enden.
- Der dritte Wachstumsschub ist in seiner Intensität dem ersten vergleichbar, dauert aber nur eine Woche. Danach wird zum 21.8. - wiederum am wenigsten deutlich in Stalde - praktisch kein Zuwachs registriert.
- Anschließend ist nur mehr geringes Wachstum erkennbar, das wohl eher als reversible Schwankungen betrachtet werden muß.

Zusammenfassend zeigt sich auch hier, daß die äußeren Einflüsse an einem Standort jene individueller Art überdecken. Während die verschiedenen Baumarten eines Standortes gleichartig reagieren, bestehen zwischen den Wuchsarten einer Art nicht unwesentliche Unterschiede.

3.1.4 STATISTISCHE WERTUNG

Zur Bewertung des Ausgangsmaterials erfolgte seine statistische Bearbeitung. Für die verwendeten Verfahren wird verwiesen auf BORTZ (1977) für den Wilk-Test, auf DIXON und MASSEY (1969) für den Bartlett-Test und auf GÄNSSLEN und SCHUBÖ (1976).

Die Homogenität und damit die Vergleichbarkeit der Meßdaten wurde untersucht mittels der Varianzanalyse, die eine quantitative Gruppierung und mit Hilfe der Faktorenanalyse, die eine solche in qualitativer Hinsicht erlaubt.

Varianzanalyse: Streng homogen sind die gemessenen Zuwachsgraten dann, wenn die mittlere Standardabweichung zwischen den Bäumen kleiner oder gleich der Standardabweichung innerhalb der einzelnen Meßreihen ist. Homogen sind sie noch bei einem Signifikanzniveau bis 0,95. Bewegt sich dieses zwischen 0,95 - 0,99, scheint ein Unterschied wahrscheinlich, während ein solches über 0,99 einen signifikanten Unterschied aufzeigt.

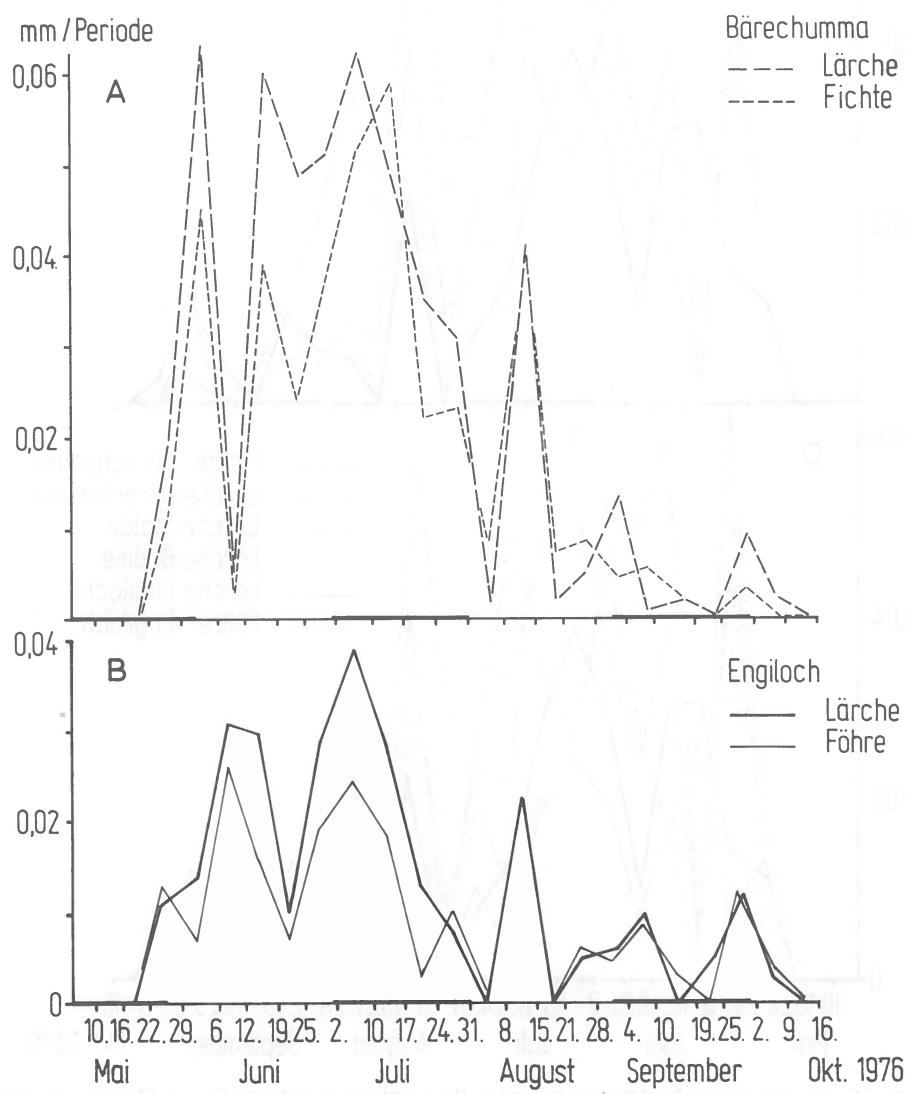


Abb. 10 a: Vergleich der mittleren Wachstumsintensität je Baumart und Standort. A - B gleicher Standort, gleiche Baumart.

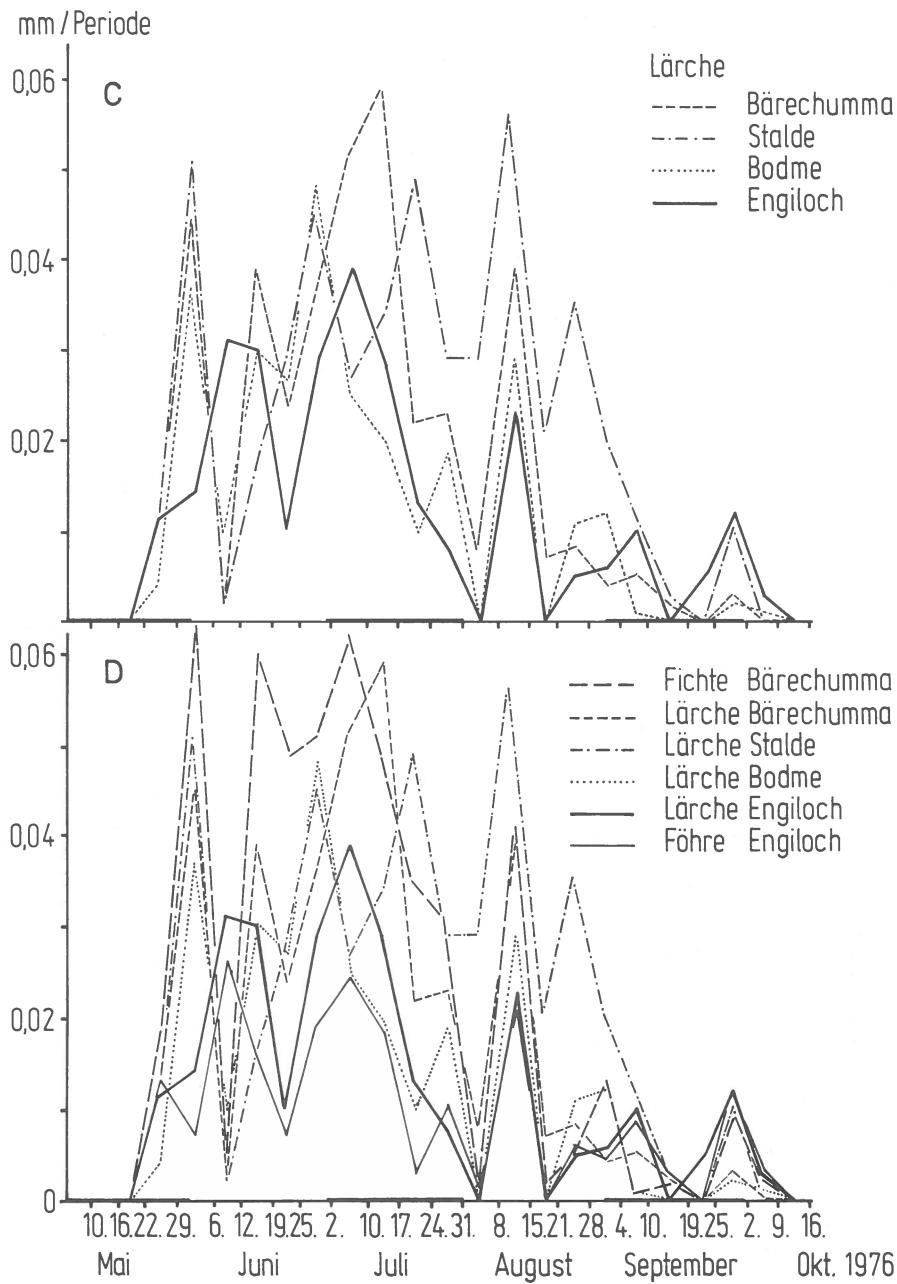


Abb. 10 b: Vergleich der mittleren Wachstumsintensität je Baumart und Standort. C verschiedene Standorte, gleiche Baumart; D sämtliche Standorte und Baumarten.

Faktorenanalyse: Die Einheitlichkeit einer Baumgruppe drückt sich in der rotierten Faktorladungsmatrix aus. Mit zunehmender Faktanzahl nimmt sie naturgemäß ab, zeigt aber gleichzeitig auf, welche Einzelbäume untereinander am besten vergleichbar sind.

Aufgrund dieser Analysen erscheinen die Gruppen Fichte Bärechumma, Lärche und Bergföhre Engiloch als streng homogen und Lärche Bodme und Lärche Bärechumma als homogen. Dagegen zeigt sich ein signifikanter Unterschied bei Lärche Stalde. Der qualitative Trend gruppiert die Bäume 4 + 5 / 3 / 1 + 2.

Obwohl hier eine Unterscheidung von Fichte und Bergföhre an verschiedenen Standorten nicht möglich ist, erscheint ihre Homogenität unabhängig von der Waldgrenznähe sehr hoch. Die Homogenität der Varianz des Lärchenzuwachses nimmt dagegen offenbar ab mit zunehmender Distanz zur Waldgrenze.

Die Vergleichbarkeit der Einzelkurven eines Standortes unter sich und zu ihrer Mittelkurve drückt sich in ihrer gegenseitigen Korrelation aus (Tab. 4 und Anhang).

Korrelationen r	Bärechumma		Stalde	Bodme	Engiloch	
	Fichte	Lärche	Lärche	Lärche	Lärche	Bergföhre
beste zweier EK	0,96	0,93	0,81	0,96	0,86	0,86
schlechteste zweier EK	0,82	0,63	0,40	0,68	0,71	0,39
Schwankungsbereich der EK untereinander	0,14	0,30	0,41	0,28	0,15	0,47
beste EK-MK	0,99	0,96	0,86	0,96	0,93	0,95
schlechteste EK-MK	0,93	0,85	0,61	0,90	0,86	0,65
Schwankungsbereich der EK zur MK	0,06	0,11	0,25	0,06	0,07	0,30

Tab. 4: Korrelationen (r) der Einzelmeßkurven (EK) untereinander und zur Mittelkurve (MK)

Deutlich abfallend erscheinen hier Bergföhre 3 Engiloch und Lärche 3 Stalde, die damit die Schwankungsbereiche der Einzel- und Mittelkurven unverhältnismäßig erweitern. Ihr etwas unterschiedlicher Wachstumsverlauf zeigt sich auch in den Abb. 6a-c und 9a-c.

Da die Mittelkurven zur Weiterbearbeitung herangezogen werden, inter-

essiert ihr Einfluß auf deren Korrelationsniveau. Dieses fällt für beide Gruppen nicht unter 0,8, womit sich eine Eliminierung der zwei Bäume vorerst nicht aufdrängt, zumal weitere Untersuchungen im Gang sind. Die restlichen Standortgruppen liegen durchwegs über 0,9, wobei auch hier Fichte Bärechumma in ihrer Einheitlichkeit vor den Lärchen steht.

3.2 Korrelation Dendrometermessungen - Klimawerte

3.2.1 EINFÜHRUNG

Das Jahrringwachstum im Mittel einer Baumart und eines Standortes und insbesondere der mittlere tägliche Zuwachs in den einzelnen Meßperioden - wie dies in den Ratenkurven in Kap. 3.1.3 und Abb. 10 dargestellt ist - bilden die Grundlage für den Vergleich mit den gleichzeitig erhobenen Klimawerten.

Diese direkte Korrelation gemessener klimatischer und dendrologischer Größen am eng umschriebenen Standort ermöglicht den Versuch, Hypothesen über kausale Zusammenhänge zu überprüfen. Dabei wird der unmittelbare wie auch der verzögerte Einfluß erfaßt. Die Analyse beschränkt sich nicht auf gezielt ausgewählte Abschnitte (damit hohe Korrelationen ermöglicht würden), sondern erstreckt sich über den ganzen Verlauf der Vegetationszeit. Erst danach können sinnvolle Differenzierungen untersucht werden, wie beispielsweise durch die Betrachtung aller Perioden mit geringem oder keinem Zuwachs und jenen mit hohen Wachstumsraten. Eine weitere Möglichkeit bestünde in der getrennten Betrachtung der Früh- und Spätsommerperioden, wobei sich hier aber die Frage nach dem Beginn der Spätholzbildung stellt. Dies kann erst anhand von Mikroschnitten an Bohrkernen der gemessenen Bäume beantwortet werden.

Durch die Ermittlung verschiedenartiger, sich zum Teil gegenseitig beeinflussender Klimafaktoren, soll das Klimagefüge soweit als möglich erfaßt werden. Nicht nur die Tagesmittel, sondern auch die gemessenen Einzelwerte werden betrachtet. Davon kommen hier insgesamt 25 Klimawerte zur Darstellung (Abb. 11 - 17). Ihre Bezeichnung setzt sich zusammen aus der Meßstation und dem dort ermittelten Klimaparameter:

BA	Bärechumma	1	Ablesung 07.30
BO	Bodme	2	Ablesung 13.30
EN	Engiloch	3	Ablesung 19.30
KR	Krummbach Engiloch		
SID	Simplon-Dorf		
ST	Stalde		

AB	Abfluß
B	Bewölkung
DDR	Dampfdruck
ESSD	Effektive Sonnenscheindauer
LF	Relative Luftfeuchtigkeit
LFA	Absolute Luftfeuchtigkeit
LT	Lufttemperatur
MA	Maximum
MI	Minimum
MT	Mittel
N	Niederschlag
PSSD	Potentielle Sonnenscheindauer
RSSD	Relative Sonnenscheindauer
SDE	Sättigungsdefizit
SDR	Sättigungsdruck
WG	Windgeschwindigkeit,

also z.B.

BALTMT	= Bärechumma: Lufttemperaturmittel
ENLF 3	= Engiloch: Relative Feuchte 19.30
SIDPSSD	= Simplon-Dorf: Potentielle Sonnenscheindauer.

Der Computer-Plot, der die Korrelationen der verschiedenen Klimawerte mit dem Zuwachs je Baumart und Standort darstellt, bringt sowohl die Mittel-, als auch die Extremwerte (Minimum und Maximum) des jeweiligen Klimaparameters pro Periode zum Ausdruck.

PERIODENMITTEL: Die einzelnen Tageswerte sind zum Mittel einer bestimmten Periode zusammengefaßt,

z.B. LFMT: Mittelwert der rel. Luftfeuchtigkeit pro Periode,
LTMA: mittlerer tägl. Maximalwert der Temperatur pro Periode.

PERIODENMINIMUM: tiefster Wert eines Klimafaktors in der Periode,
z.B. LFMT: tiefster Mittelwert der rel. Luftfeuchtigkeit pro Periode,
LTMA: tiefster Maximalwert der Lufttemperatur pro Periode.

PERIODENMAXIMUM: höchster Wert eines Klimafaktors in der Periode,
z.B. LFMT: höchster Mittelwert der rel. Luftfeuchtigkeit pro Periode,
LTMA: höchster Maximalwert der Lufttemperatur pro Periode.

Die übereinander angeordnete Darstellung erlaubt es, einen Klimawert in seinem Mittel, Minimum und Maximum und seinem Einfluß zwischen 0 bis 7 Tagen Verzögerung vergleichend zu betrachten.

Durch den Einbezug der Verzögerung kann der Einfluß der Witterung auf den Zuwachs nicht nur zwischen zwei Baummessungen untersucht, sondern auch jener der Vorperiode erfaßt werden.

Das Wettergeschehen einer Meßperiode und sein unmittelbarer Einfluß auf das Jahrringwachstum gehen aus Zeile 0 hervor. Die einzelnen Werte (der Tag der letzten Ablesung wird nicht einbezogen) drücken somit den unverzögerten Einfluß der Witterung aus und erscheinen als direkte Korrelationen.

Fortschreitend von 1 bis 7 Tage Verzögerung wird in der Art eines gleitenden Mittels jeweils der Vortag der letzten Messung nicht berücksichtigt, dafür aber der entsprechende der Vorperiode hinzugenommen. Somit ergibt sich bei einer Verzögerung von 7 Tagen - also in Zeile 7 - der Witterungseinfluß der Vorperiode auf das aktuelle Wachstum, entsprechend einer Reaktionszeit von einer Woche. Es zeigte sich, daß weitergehende Verzögerungen eine wesentliche Verschlechterung der Korrelationen bringt.

Nach zahlreichen Versuchen, Jahres- und Tagesschwankungen zu berücksichtigen, werden hier vorerst die Ergebnisse einer einfachen linearen und einer multiplen linearen Korrelation dargelegt. Die einfache Korrelation vergleicht den Baumring mit dem Klimawert, während die multiple Korrelation den Baumring sowohl mit dem Klimawert als auch mit dem quadrierten Klimawert vergleicht.

In der Computer-Darstellung (Abb.11 - 17) ist jedes Quadrat als Einheit = 1,0 ausgelegt. Eine Korrelation von $r = 0,5$ füllt also ein Quadrat zur Hälfte aus. Während die positive Korrelation von links her schwarz aufgetragen ist, beginnt eine negative in hellerem Ton (rot) rechts. Die multiple Korrelation überlagert die einfache und wird als Differenz (grün) hervorgehoben. Ein Block bringt 200 einfache und ebensoviele multiple Korrelationen zum Ausdruck. Insgesamt finden sich somit auf der Darstellung pro Baumart und Standort 1200 Korrelationen.

3.2.2 WITTERUNGSEINFLÜSSE AUF DAS JAHRRINGWACHSTUM WÄHREND DER GESAMTEN VEGETATIONSPERIODE

FICHTE BÄRECHUMMA (Abb. 11)

Über alle Verzögerungsbereiche sowie Mittel- und Extremwerte treten klar dominierend die Korrelationen der Temperatur und der Meßgrößen für den Wasserdampfgehalt der Luft hervor. In allen drei Blöcken, besonders aber durch Periodenmittel und -minimum, lässt sich eine Zweitteilung im Vergleich der Korrelationen verschiedener Klimaparameter erkennen.

Für die unverzögerte Beeinflussung, die bis vier Tage Verzögerung praktisch gleich bleibt, zeichnen die Temperatur und die damit zusammenhängenden Wasserdampfwerte (Absolute Feuchte, Dampfdruck, Sättigungsdruck, Sättigungsdefizit) verantwortlich. Bei verzögterer Wirkung zwischen fünf bis sieben Tagen treten dazu eine erhöhte Korrelation der Sonnenscheindauer, verbunden mit negativen Korrelationen der Bewölkung, des Niederschlags, der relativen Feuchtigkeitswerte (ohne Maximum) und der Windgeschwindigkeit. Dadurch ergibt sich im Zusammenwirken verschiedener Klimaparameter eine Optimierung, mit den höchsten Werten nach fünf bis sechs Tagen verzögter Wirkung:

hohe Temperaturwerte (T_{\max} , T_2 , T_3)
hohe Sonnenscheindauer
wenig Bewölkung
bescheidener Niederschlag
geringe relative Luftfeuchtigkeit
wenig Wind.

Im einzelnen ergeben die Klimaparameter interessante Aufschlüsse:

- Temperatur: obwohl die Werte nahe beieinander liegen, ist anfänglich (0 - 3 Tage Verzögerung) das Minimum (und der Morgenwert) leicht bedeutender, wird danach (3 - 4 Tage) vom Mittel und schließlich (5 - 7 Tage) vom Maximum (und Mittags- und Abendwert) abgelöst. Vermutlich kommt hier - als Hinweis auf Temperatursummen - zum Ausdruck, daß eine gewisse minimale Wärmemenge für das Wachstum notwendig ist. Das Mittel weist die besten Korrelationen zwischen 4 - 6 Tagen Verzögerung auf, mit dem höchsten Wert nach 5 Tagen.
- Wasserdampfweite: während der Sättigungsdruck in seinem Einfluß ziemlich gleich bleibt und den höchsten Wert bei 5 Tagen erreicht, nehmen absolute Feuchte, Dampfdruck und Sättigungsdefizit mit zunehmender Verzögerung in ihrer Bedeutung ab.

Der Abfluß, der ähnlich wie das Holzwachstum von verschiedenen Faktoren beeinflußt ist und deshalb gern zur direkten Korrelation herangezogen wird (vgl. Kap. 1.0), zeigt nur eine geringe Vergleichbarkeit. Erst in der multiplen Korrelation - im Periodenmaximum deutlich sichtbar - erhält er eine erhöhte Bedeutung, die bei einer Verzögerung von 4 - 7 Tagen schließlich eine hohe Übereinstimmung ergibt.

- Der Niederschlag, der einfach korreliert vernachlässigbar ist, erhält bei multipler Korrelation bei 0 - 4 Tagen Verzögerung - sowohl im Periodenminimum wie auch im Periodenmaximum erkennbar - an diesem südexponierten Standort für das Fichtenwachstum offenbar eine gewisse Bedeutung (vgl. Lärche Bärechumma).

LÄRCHE BÄRECHUMMA (Abb. 12)

Grundsätzlich lassen sich - mit vereinzelten Abweichungen - die gleichen Einflüsse der Witterung erkennen wie bei der Fichte desselben Standortes.

- Der Abfluß kann durch die noch tieferen einfachen Korrelationen nur schlecht mit dem Holzzuwachs verglichen werden, erhält aber in der multiplen Korrelation wiederum eine hohe Übereinstimmung.
- Interessanterweise korreliert der Niederschlag - mit Ausnahme des unverzögerten Wertes - im Gegensatz zur Fichte negativ. Neben dem eng begrenzten Standort treten offenbar arttypische Unterschiede in

Erscheinung. Die Fichte als Flachwurzler ist vermehrt auf Niederschlagswasser angewiesen als die Lärche, die als Tiefwurzler weiter in den Untergrund vordringen kann.

LÄRCHE STALDE (Abb.13)

Auch hier sind die Temperatur- und Sättigungswerte die dominierenden Faktoren. Mit zunehmender Verzögerung steigen die Korrelationen vorerst an und fallen zum Periodenende wieder zurück. Eine optimale Kombination verschiedener Parameter ergibt sich bei fünf bis sieben Tagen Verzögerung, mit den höchsten Werten nach sechs Tagen:

hohe Temperaturwerte
erhöhte Sonnenscheindauer
geringe Bewölkung
wenig bis kein Niederschlag
geringe relative Luftfeuchtigkeit
wenig Wind.

Die einzelnen Klimaparameter lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Temperatur: wiederum weisen anfänglich (0 - 3 Tage Verzögerung) das Minimum, dann (4 - 5 Tage) das Mittel und schließlich (6 - 7 Tage) das Maximum leicht höhere Werte auf. Das Mittel zeigt bis 6 Tage Verzögerung ansteigende Werte mit den besten Korrelationen aller Temperaturwerte bei 4 - 5 Tagen.
- Die Wasserdampfwrte erreichen zwischen 4 - 6 Tagen die besten Vergleichsgrößen.
- Mit dem Holzzuwachs nicht vergleichbar ist der Abfluß. In einfacher Korrelation ist er vernachlässigbar klein. Die anfänglich positive, nachher negative Korrelation (einfach und multipel) ist offenbar abhängig vom Niederschlag.

Durch die multiple Korrelation entsteht eine zweite Optimierung verschiedener Klimaparameter bei 2 - 4 Tagen verzögter Wirkung (Maximum meist nach 3 Tagen):

erhöhter Einfluß der Minimaltemperaturen (T_{\min} , T_1)
geringer/fehlender Sonnenschein
dichtere Bewölkung
vermehrter Niederschlag und erhöhter Abfluß
höhere relative Luftfeuchtigkeit (v.a. F_{\min} , F_2)
vermehrter Wind.

Diese Konstellation dürfte das in Regenperioden feststellbare reversible Quellen des Holzes ausdrücken und mit echtem Zuwachs nichts gemein haben.

BAFIM KORRELATION R R2

BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
19 PERIODEN

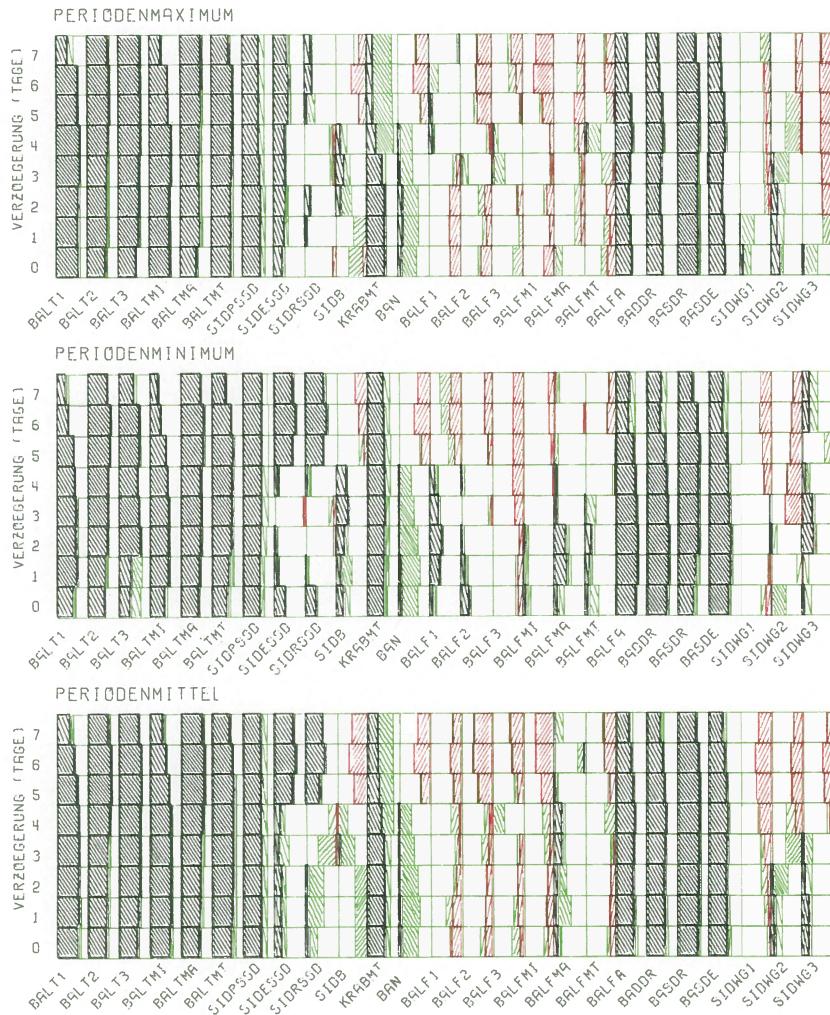


Abb.11: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Fichte Bärechumma (19 Perioden)

BALAM KORRELATION R R2

BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
19 PERIODEN

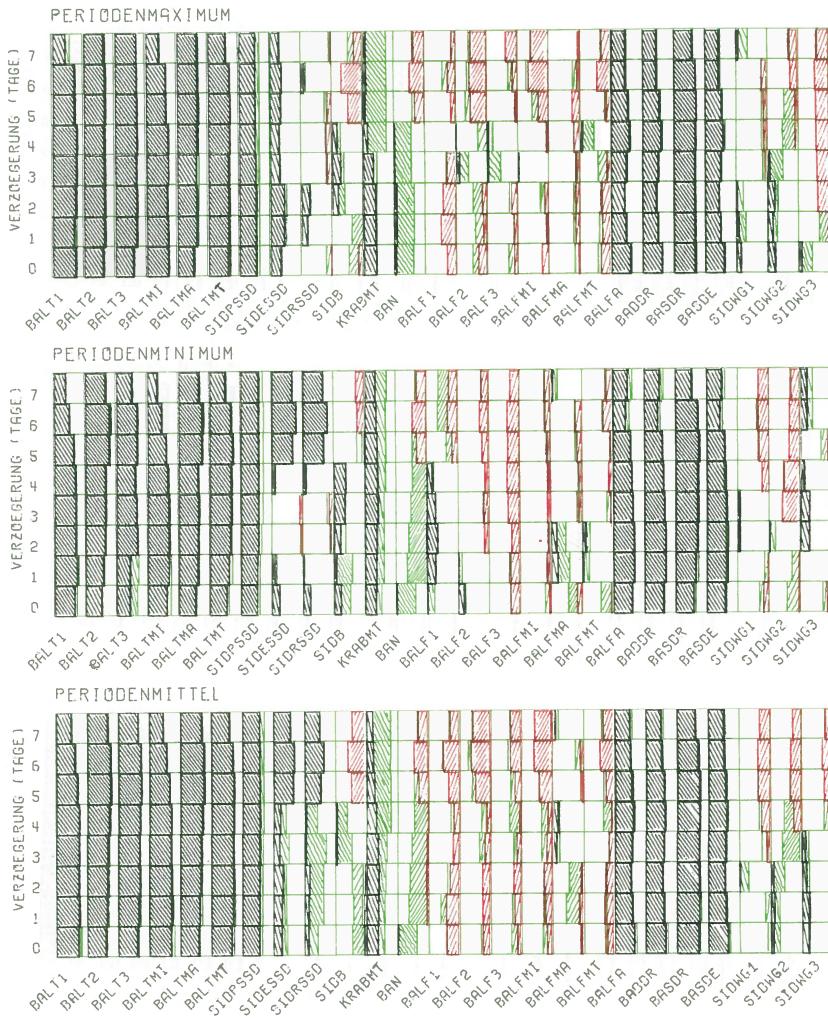


Abb.12: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:

Lärche Bärechumma (19 Perioden)

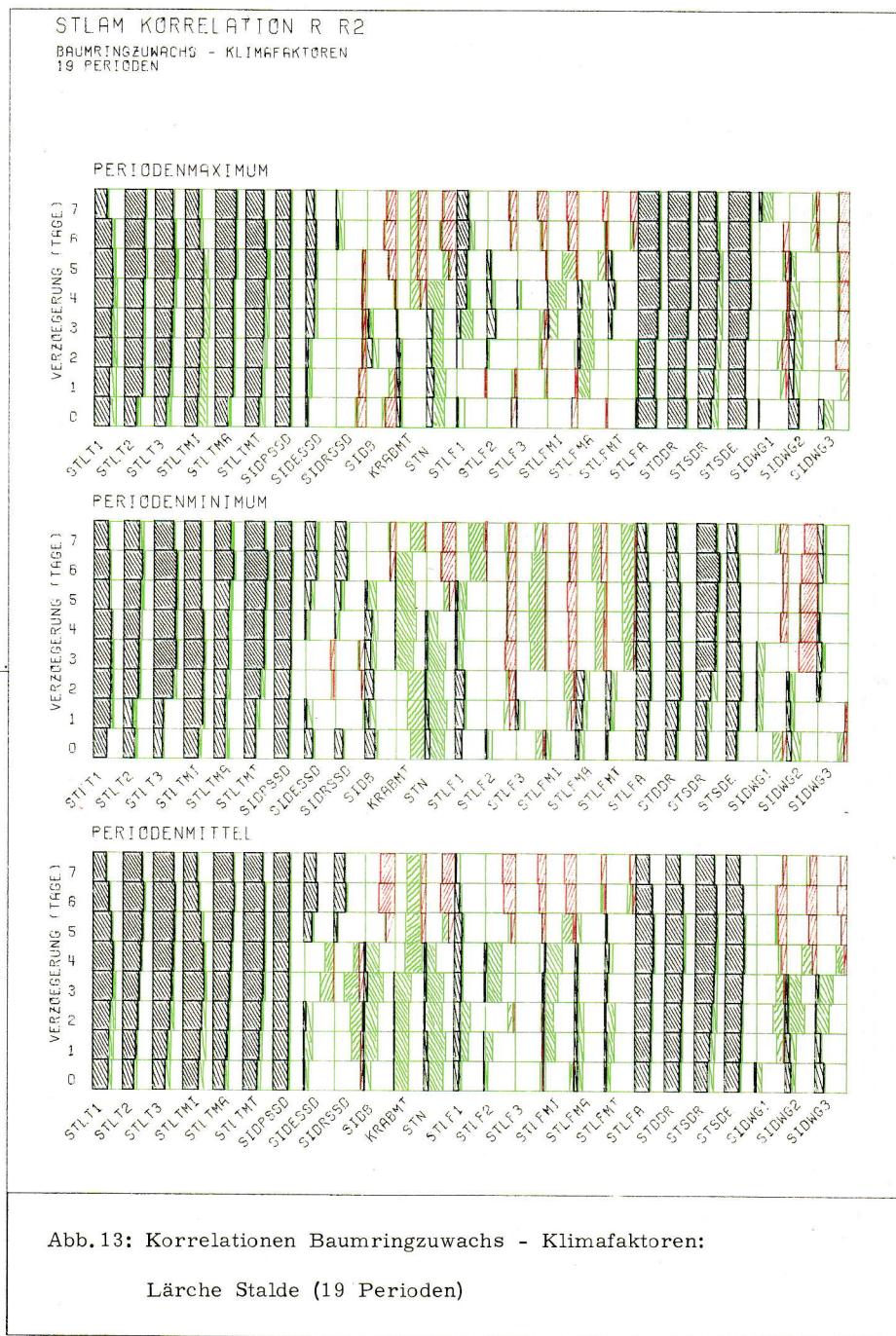


Abb. 13: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:

Lärche Stalde (19 Perioden)

BOLAM KORRELATION R R2

BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
19 PERIODEN

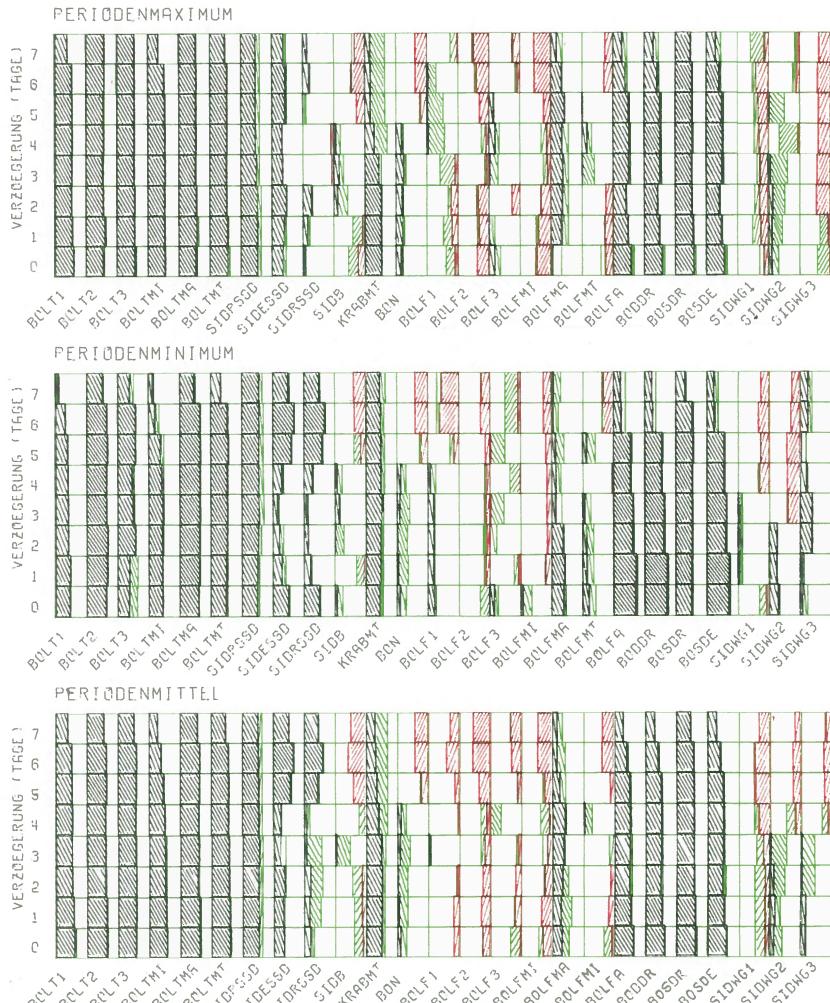
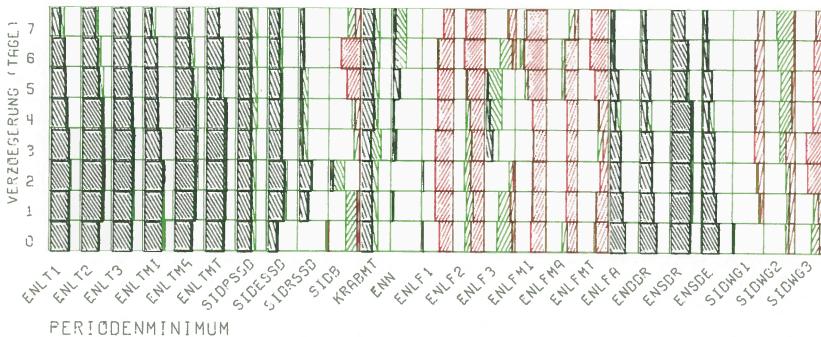


Abb.14: Korrelationen Baumringszuwachs - Klimafaktoren:
Lärche Bodme (19 Perioden)

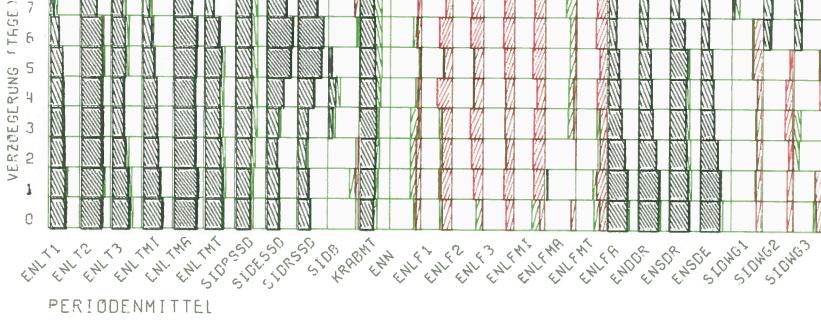
ENLAM KORRELATION R R2

BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
19 PERIODEN

PERIODENMAXIMUM



PERIODENMINIMUM



PERIODENMITTEL

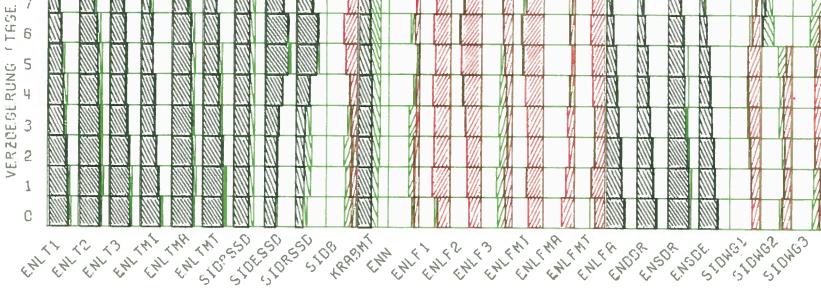


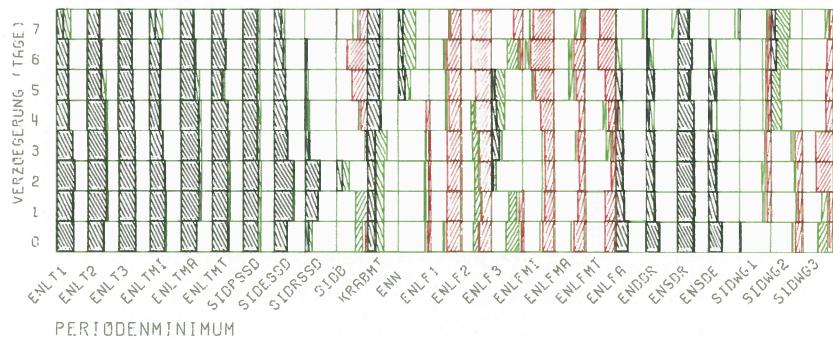
Abb. 15: Korrelationen Baumringszuwachs - Klimafaktoren:

Lärche Engiloch (19 Perioden)

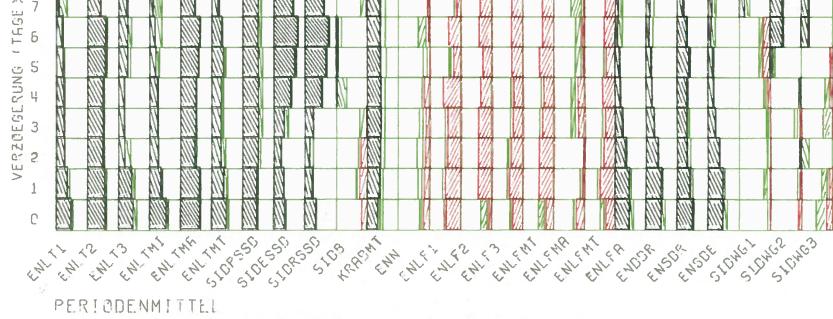
ENBFOM KORRELATION R R2

BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
19 PERIODEN

PERIODENMAXIMUM



PERIODENMINIMUM



PERIODENMITTEL

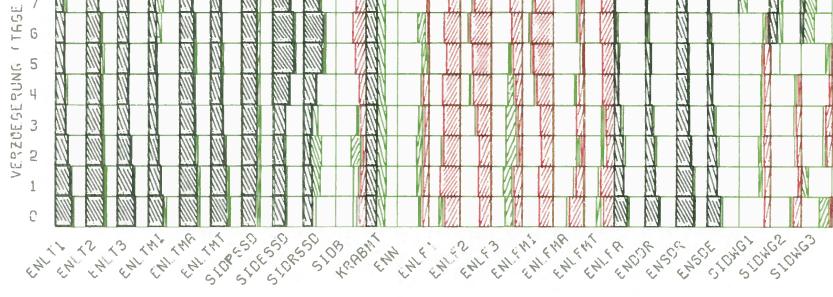


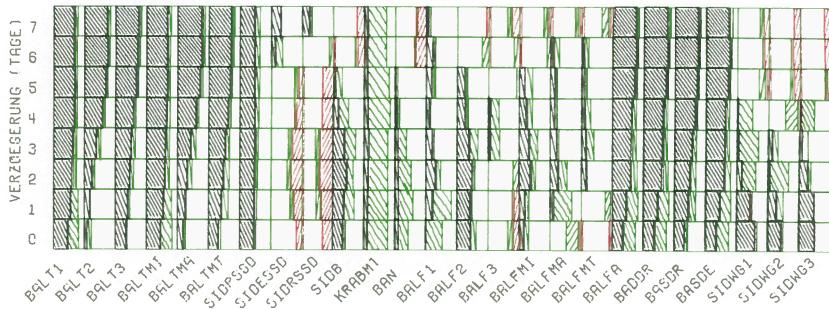
Abb. 16: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:

Bergföhre Engiloch (19 Perioden)

BAFIM KORRELATION R R2

BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
12 MINIMUMPERIODEN

PERIODENMITTEL



BAUMRINGZUWACHS - KLIMAFAKTOREN
12 MAXIMUMPERIODEN

PERIODENMITTEL

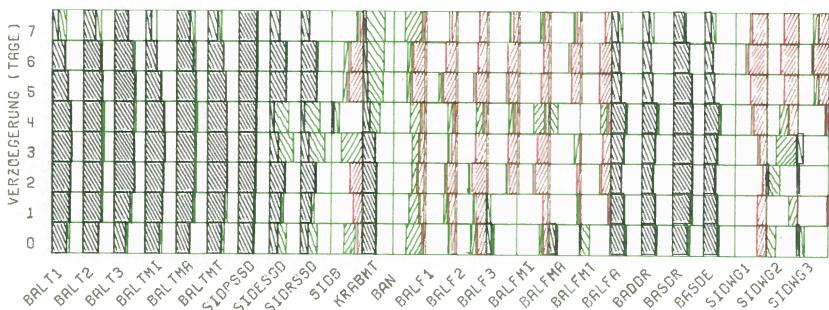


Abb.17: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:

Fichte Bärechumma (12 Minimum- und 12 Maximumperioden)

LÄRCHE BODME (Abb.14)

Die wiederum dominierenden Temperatur- und Sättigungswerte nehmen mit steigender Verzögerung (mit Ausnahme von T_2 und T_{\max}) stetig ab.

Die höchsten Korrelationen treten sowohl im Periodenmittel als auch bei unverzögerter Beeinflussung auf.

Neben der erhöhten Wirkung der Sonnenscheindauer bei fünf bis sieben Tagen Verzögerung gehen die hohen Temperaturgrößen (T_2 , T_{\max}) positiv und die Werte für Bewölkung, Niederschlag, relative Feuchte und Wind negativ korreliert einher. Daraus ergibt sich die gleiche Faktorenkombination wie bei den Stationen Bärechumma und Stalde mit den besten Korrelationswerten bei sechs Tagen Verzögerung. Aus dieser Konstellation darf wahrscheinlich geschlossen werden, daß die Bedeutung des ersten Maximums eine standortabhängige, diejenige des zweiten eine solche des ganzen Gebietes ist. In dieser Höhenlage und Exposition reagieren die Bäume offenbar auf wachstumsfördernde Witterungseinflüsse viel schneller als an den Standorten, die von der Waldgrenze weiter entfernt sind. Ein Zusammenhang mit der kürzeren Vegetationszeit scheint evident. Das zweite Maximum zeigt einen geringeren Einfluß und dürfte - ausgehend vom Zusammenhang mit der Sonnenscheindauer und verglichen mit den anderen Stationen - gebietsklimatisch wichtig sein. Die Bedeutung des Abflusses - unabhängig vom Niederschlag - nimmt einfach korreliert mit zunehmender Verzögerung ab, in der multiplen Korrelation hingegen zu. Seine Vergleichbarkeit mit dem Holzzuwachs bleibt daher nicht allzu groß.

LÄRCHE ENGILOCH (Abb.15)

Zur erneut deutlichen Dominanz der Temperatur- und Sättigungswerte, die ihre höchsten Korrelationen direkt und bei einem Tag Verzögerung aufzeigen und nachher kontinuierlich abnehmen, treten über den ganzen Bereich die negativ korrelierten Feuchtigkeitswerte hervor. Ihre Einflußgröße bleibt praktisch konstant. Einzig die minimalen Werte (F_{\min} , F_2) gehen einher mit der bis sechs Tagen Verzögerung zunehmenden Sonnenscheindauer und der damit verbundenen abnehmenden Bewölkung. Dadurch erscheint auch hier ein zweites Maximum, dessen Einfluß auf die Temperaturwerte aber nur mehr im Periodenminimum erkennbar ist und seine Bedeutung offenbar im makroklimatischen Bereich hat.

Der Abfluß - an diesem Standort für das ganze Talgebiet erfaßt - erhält als Vergleichsgröße zum Holzwachstum eine gewisse Bedeutung.

Gänzlich ohne Einfluß ist jedoch der Niederschlag.

BERGFÖHRE ENGILOCH (Abb. 16)

Die beeinflussenden Faktoren, die bei den Lärchen desselben Standortes aufscheinen, drücken sich hier noch verstärkt aus. Die höchsten Korrelationen für die Temperatur- und Sättigungswerte finden sich bei unverzögerter Beeinflussung. Wie am Standort Bodme zeigt sich auch hier sehr markant, daß mit abnehmender Distanz zur Waldgrenze die Reaktion der Bäume auf die Witterungseinflüsse schneller vor sich geht als an waldgrenzfernen Standorten und damit ein Zusammenhang zur Dauer der Vegetationszeit offensichtlich wird.

3.2.3 ERGEBNISSE

1. Der wesentlich beeinflussende und dominierende Klimafaktor ist die Temperatur. An den waldgrenzfernen Standorten kann eine Differenzierung in eine anfänglich etwas höhere Bedeutung der Minima, dann der Mittel und schließlich der Maxima erkannt werden. Im Schnitt dürfte mit der Angabe der Temperaturmittel die Beeinflussung über die gesamte Vegetationszeit gut erfaßt sein.
2. In mehr oder weniger starkem Zusammenhang mit der Temperatur stehend, spielen die Sättigungsgrößen (Absolute Feuchte, Dampfdruck, Sättigungsdefizit und besonders Sättigungsdruck) eine nicht unwesentliche Rolle. Das zur Transpiration direkt proportionale Sättigungsdefizit erhält aber keine dominierende Bedeutung.
3. Insgesamt zeigt sich eine Optimierung verschiedener Klimaparameter bei einer verzögerten Wirkung von fünf bis sechs Tagen. Diese Verzögerungszeit wird vor allem an den waldgrenzfernen Standorten festgestellt, während sie an den waldgrenznahen Stationen nur mehr als sekundäres Maximum erkannt werden kann.
4. Die der Waldgrenze näher gelegenen Stationen lassen bei einer Optimierung verschiedener Klimaparameter eine unverzögerte Beeinflussung der Witterung auf das Holzwachstum erkennen. Dadurch zeigt sich, daß eine rasche Umsetzung und eine schnellere Reaktion der Bäume notwendig ist und offensichtlich ein Zusammenhang zur kürzeren Vegetationszeit besteht.
5. Optimale Faktorkorrelationen in der Beziehung Klima - Jahrringwachstum ergeben sich bei:
 - hoher Sonnenscheindauer
 - höheren Temperaturen
 - größeren Sättigungswerten
 - geringer relativer Luftfeuchtigkeit

wenig Bewölkung
geringem Niederschlag
wenig Wind.

6. Als Schlechtwetterkombination tritt eine weitere Faktorenoptimierung (deutlich erkennbar an der waldgrenzfernsten Station durch die multiple Korrelation) bei drei Tagen verzögter Wirkung auf, die allerdings nicht eigentlichen Zuwachs, sondern das reversible Quellen des Holzes ausdrückt:

geringe Sonnenscheindauer
tiefere Temperaturen
dichte Bewölkung
vermehrter Niederschlag
erhöhter Abfluß
höhere relative Luftfeuchtigkeit
vermehrter Wind.

7. Der Niederschlag spielt im großen und ganzen gesehen keine bzw. eine nur geringe Rolle. Fichten an südexponierten, trockenen Standorten benötigen jedoch nach Trockenperioden, im Gegensatz zu Lärche, dringend Niederschläge.
8. Der Abfluß - als von verschiedenen Klimafaktoren beeinflußte Größe und deshalb oft zur Korrelation mit dem Jahrringwachstum herangezogen - zeigt immer eine gewisse Übereinstimmung. Die Vergleichbarkeit ist aber sehr unterschiedlich und gesamthaft betrachtet ungenügend, besonders wenn ausschließliche Abhängigkeiten vom Niederschlag, und positiv und negativ wechselnde Korrelationen auftreten.
9. Die potentielle Sonnenscheindauer - als Ausdruck für die Taglänge - zeigt durchwegs einen nicht unbedeutenden Einfluß. Da die Unterschiede über die ganze Vegetationszeit aber nicht stark genug hervortreten, kann diese Größe zur Erklärung wenig beitragen.
10. Der Wind tritt als nicht sehr bedeutender Faktor in Erscheinung und ist deshalb als Beeinflussende vermutlich vernachlässigbar. Mindestens erscheint es fragwürdig, ob der immense Aufwand einer stündlichen Auswertung an allen Standorten sinnvoll wäre.

3.2.4 WITTERUNGSEINFLÜSSE IN PERIODEN MINIMALEN UND MAXIMALEN ZUWACHSES

Der Versuch, die über die ganze Vegetationsperiode erfolgte Analyse der Beziehung Klima - Jahrringwachstum zu differenzieren, soll hier als Ausgangspunkt zu weiteren Untersuchungen, an einem Beispiel aufgezeigt werden.

Die Perioden geringen oder gar ausgebliebenen Wachstums werden dabei mit jenen verglichen, die hohen Zuwachs aufweisen. Dazu wurden die einzelnen Meßperioden gereiht und daraus einerseits die zwölf Perioden mit kleinem, anderseits jene zwölf mit hohem Zuwachs rangiert. Wegen der Relativität der Größen ergibt sich eine Überlappung. Der Vergleich mit den Klimawerten - eingeschlossen die Verzögerung bis sieben Tage - geschah in der gleichen Art wie in Kap. 3.2.2.

FICHTE BÄRECHUMMA (Abb.17)

Dargestellt sind nur die Periodenmittel der Perioden geringer (oben) und jener hoher Zuwächse (unten). Die Minimumperioden bringen klar die Dominanz der Temperatur- und Sättigungswerte zum Ausdruck. Ihre Bedeutung steigt mit zunehmender Verzögerung. Nach sechs bis sieben Tagen zeigt sich ansatzweise jene Optimierung der Klimaparameter, die in der Analyse der ganzen Vegetationsperiode festgestellt werden konnte. Auffallend sind dabei die hohen Sättigungswerte. Bei direkter und bis drei Tagen verzögter Wirkung sind vor allem durch die multiple Korrelation mit hohen Werten minimaler Temperatur (T_1 , T_{\min}), relativer Feuchte, von Bewölkung, Niederschlag und relativ viel Wind bei wenig Sonnenschein die Witterungseinflüsse ungünstiger Wachstumsbedingungen erkennbar.

In den Maximumperioden ergibt sich eine Optimierung in den besten Korrelationen der verschiedenen Klimaparameter nach zwei bis drei Tagen Verzögerung bei hohen Werten für Sonnenscheindauer, Temperatur, geringe Bewölkung, wenig Niederschlag und geringe relative Feuchte. Im Vergleich mit den anderen Stationen verkürzt sich diese Verzögerungszeit mit zunehmender Annäherung an die Waldgrenze auf null.

Zusammenfassend kommt durch die Minimum- und Maximumperioden zum Ausdruck, daß:

- optimale Witterungsbedingungen an waldgrenznahen Standorten zur unmittelbaren Wachstumsreaktion führen, diese sich aber mit zunehmender Waldgrenzentfernung verzögert,
- eine lange Verzögerungszeit bei ungünstigen Bedingungen eintritt und ein bestimmtes Minimum (Schwellenwert?, Temperatursumme?) erreicht werden muß.

3.3 Qualitative Interpretation der Meßdaten

In den Analysen zur Berechnung der Korrelationen in der Beziehung Jahrringwachstum - Klima kommt deutlich zum Ausdruck, daß dieses Gefüge sehr komplex und im Zusammenwirken der verschiedenen Klima-

faktoren recht kompliziert ist. Die Ergebnisse, die mittels einer einfachen und einer multiplen linearen Korrelation errechnet wurden, zeigen, daß die Temperatur der dominierende Faktor ist. Bei Vorliegen weiterer Meßjahre könnten die Resultate beispielsweise dadurch verfeinert und ihrem wirklichen Wert besser angenähert werden, indem nicht jeder Klimafaktor gleichartig in die Berechnung als erklärende einginge.

Basierend auf diesen Erkenntnissen und im Hinblick auf eine qualitative Aussage - ohne einer umfassenderen, späteren Analyse vorzugreifen - sollen hier die Temperatur- und Zuwachsverhältnisse an den Beobachtungsstandorten aufgezeigt werden. Erste Hinweise zum direkten Reaktionsverhalten Baumring - Klima scheinen doch schon erkennbar.

3.3.1 DIE TEMPERATURVERHÄLTNISSE DER BEOBUCHTUNGSSTANDORTE

Während sich im Verlaufe der Vegetationsperiode die Monatsmittel der Temperatur an den Meßstationen der verschiedenen Expositionen und Höhenlagen markant differenzieren, ergeben sich für die relative Feuchtigkeit nur sehr unwesentliche Unterschiede (Tab. 5). Interessanterweise stellt sich im Stationsvergleich heraus, daß die Werte der Südhanglage Bärechumma praktisch mit dem Gebietsmittel übereinstimmen.

1976	Bärechumma		Stalde		Bodme		Engiloch		Gebietsm.	
	Temp	Feuchte	T	F	T	F	T	F	T	F
Mai	7,2	68	8,8	68	6,5	68	6,4	68	7,2	68
Juni	11,5	70	12,7	74	11,3	68	10,7	66	11,5	70
Juli	12,6	68	13,7	70	12,2	70	11,8	69	12,6	69
August	9,9	72	11,5	76	9,7	70	9,7	72	10,2	73
September	6,2	81	7,9	80	5,7	80	5,4	83	6,3	81
MITTEL	9,5	72	10,9	74	9,1	71	8,8	72	9,6	72

Tab. 5: Monatsmittel von Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und relativer Luftfeuchtigkeit (%).

Im Durchschnitt unterscheidet sich die untere Tallage Stalde (1400 m) von der

südexponierten Hanglage Bärechumma (1800 m)	um + 1,4°C,
nordexponierten Hanglage Bodme (1800 m)	um + 1,8°C,
oberen Tallage Engiloch (1800 m)	um + 2,1°C.

Die Temperaturunterschiede einzelner Monatsmittel an den verschiedenen Meßstationen schwanken zwischen 0° und 2,5°C und bringen Gradienten zwischen 0,3° und 0,6°C/100 m (Mittel: 0,45°C/100 m) zum Ausdruck (Tab. 6).

Ein Vergleich mit den Tabellen 2 und 3 zeigt auf, daß sich für den Jahrringzuwachs eine übereinstimmende Reihung der Standorte ergibt. Die Lärchen der oberen Tallage, der Waldgrenze am nächsten gelegen und mit dem geringsten Wärmeangebot versehen, weisen sowohl den kleinsten mittleren Zuwachs pro Periode (0,26 mm) wie auch das kleinste Jahreszuwachstotal (1,75 mm) aus. Danach folgen die nordexponierte Hanglage (0,28 mm und 1,78 mm) und die südexponierte Hanglage (0,39 mm und 2,58 mm) vor der unteren Tallage (0,47 mm und 3,30 mm). Zunehmende Entfernung von der Waldgrenze geht somit mit vermehrtem Wärmeangebot und größerem Jahrringwachstum einher.

3.3.2 TEMPERATURVERLAUF UND JAHRRINGWACHSTUM

Die festgestellten Übereinstimmungen weiträumiger Natur im Wachstum verschiedener Nadelbaumarten an unterschiedlichen Standorten sind - wie die erfolgten Untersuchungen ergeben - klimatisch gesteuert und vom Temperaturfaktor dominiert. Der direkte qualitative Vergleich der Klimawerte innerhalb einer Meßperiode mit der Art der Wachstumsreaktion kann deshalb vorerst auf die Temperatur beschränkt werden.

Die in den Abb. 9a-c und 10a, b aufscheinenden Wachstumsschwankungen, die großmehrheitlich gleichgerichtet sind, aber verschieden stark sein können, drücken in ihrem Kurvenbild Zunahme und Rückgang des Wachstums aus. Die geringen Wachstumsraten, die teilweise bis zu einer eigentlichen Stagnation reichen können, lassen sich in unterschiedlicher Stärke an allen Stationen erkennen. So zeigen beispielsweise an den waldgrenznäheren Standorten in den Perioden auf den 8.8. und den 21.8. nur wenige Bäume einen Zuwachs auf, während am waldgrenzfernsten Standort lediglich eine Wachstumshemmung feststellbar ist.

Für Wachstum und Stagnation scheint sowohl das Temperaturmittel wie auch das Temperaturminimum verantwortlich zu sein. Eine Sichtung des Datenmaterials zeigt, daß in der Hauptwachstumsphase offenbar ein Schwellenwert von 5°C von besonderer Bedeutung ist. Wird dieser Wert vom Temperaturminimum unterschritten, kann eine Wachstumshemmung

		A: TEMPERATUREN-MONATSMITTEL : DIFFERENZEN																								
1976		Bärechumma					Stalde					Bodme					Engiloch									
		V	VI	VII	IIX	IX	M	V	VI	VII	IIX	IX	M	V	VI	VII	IIX	IX	M	V	VI	VII	IIX	IX	M	
Bärechumma	V							1,6						0,7						0,8						
	VI							1,2						0,2						0,8						
	VII							1,1						0,4						0,8						
	IIX							1,6						0,2						0,2						
	IX							1,7						0,5						0,8						
	M							1,4						0,4						0,7						
Stalde	V	0,4												2,3						2,4						
	VI	0,3												1,4						2,0						
	VII	0,3												1,5						1,9						
	IIX	0,4												1,8						1,8						
	IX	0,4												2,2						2,5						
	M	0,4												1,8						2,1						
Bodme	V							0,6												0,1						
	VI							0,4												0,6						
	VII							0,4												0,4						
	IIX							0,5												0,0						
	IX							0,6												0,3						
	M							0,5												0,3						
Engiloch	V							0,6																		
	VI							0,5																		
	VII							0,5																		
	IIX							0,5																		
	IX							0,6																		
	M							0,5																		

Tab. 6: Differenzen der Temperatur-Monatsmittel und -Gradienten ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$) zwischen den Stationen.

festgestellt werden. Diese verstrt sich bei mehrmaligem Ereignen bis zu einer Wachstumsstagnation und tritt je nach Gre der Temperaturminima auch ein, wenn das Temperaturmittel gegener der Vorperiode zunimmt.

Vielleicht ernet sich hier eine interessante Parallele zu GENSLER (1946), der den 5°C -Wert der Tagesmitteltemperatur zur thermischen Umschreibung der Vegetationszeit untersuchte.

Bedeutend ist auch die He - respektive das Mittel - der Temperaturminima wrend einer Periode. Allgemein tiefe Minimumtemperaturen beeintrtigen das Wachstum scheinbar ebenso wie ein einmaliges Auftreten eines tiefen Minimums in einer Periode mit heren Werten.

Die durch die quantitativen Analysen festgestellte Verzerungswirkung von bis zu einer Woche in Abhigkeit von der Waldgrenzentfernung bestigt sich durch das Temperaturminimum. Dieses ist offenbar als eigentlich steuernder Minimumfaktor anzusehen.

Als Beispiel soll die Station Brechumma angefrt werden (Tab. 7):

- Nach einem ersten Wachstumsschub wird der Zuwachs auf den 12.6. sehr stark verringert, obwohl das T_{mit} gegener der Vorperiode um $4,0^{\circ}\text{C}$ ansteigt. Zwischen dem 2. und 6.6. aber - dies wirkt sich auf den Zuwachs der laufenden Periode offensichtlich nicht aus - bleibt das T_{min} wrend allen fnf Tagen unter 5°C . Die Verzerung um rund eine Periode wird hier offenkundig.
- Im nachfolgenden Hauptwachstumsschub, der in der Periode zum 8.8. eine markante Stagnation aufweist (und eventuell das Ende der Frholzbildung aufzeigen knnte) lassen sich kleine Zuwachsperioden erkennen und in Zusammenhang mit der Temperatur sehen:

Zum 24.6. nimmt das Wachstum gegener der Vorperiode etwas ab, obwohl das T_{mit} gleich bleibt und das Mittel der T_{min} zunimmt. Offenbar wird diese Verringerung des Zuwachses durch das T_{min} am 18.6. (mit Verzerung von einer Periode) ausgelt.

Das gegener der Vorperiode markant geringe Wachstum zum 24.7. geht einher mit einer Abnahme des T_{mit} um $3,5^{\circ}\text{C}$ und mglicherweise dem unverzerten Einflu eines $T_{\text{min}} < 5^{\circ}\text{C}$ am 23.7. Dieses wirkt sich zusammen mit dem Rckgang des Mittels der T_{min} auf den neuerlich geringeren Zuwachs zum 30.7. aus. Die T_{mit} bleiben bis zum 8.8. praktisch gleich, wogegen das Mittel der T_{min} erneut abnimmt und sich am 2. und 3.8. $T_{\text{min}} \leq 5^{\circ}\text{C}$ finden.

- Der dritte Wachstumsschub zum 15.8. bei zwar abnehmendem T_{mit} (das damit aber immer noch in der gleichen Größenordnung wie in den drei Vorperioden bleibt), aber bei ansteigendem Mittel der T_{min} und bei keinem Temperaturwert unter 5°C, wird zum 21.8. bei deutlich sinkendem T_{mit} um 1,5°C und um 1,3°C tiefer liegendem T_{min} -Mittel beendet.
- Der fortan nur mehr geringe Zuwachs findet zum 10. und 19.9. seinen Abschluß (vgl. Abb. 6 und 7). Die folgenden Zuwachsschwankungen dürften dann auf reversibles Quellen und Schwinden des Holzes bei erhöhter Feuchtigkeit (Anstieg der Periodenmittel auf über 80 %) und vermehrten Niederschlag zurückzuführen sein.

Perioden und Wachstumsphasen	Wachstum				Temperatur-			
	Lärche EK	Fichte MK	Mittel EK	Mittel MK	°C	Mittel der Minima °C	Min Anz	5°C Tg Datum
1: 22.5.76					8,7	5,3		
2: 29.5.76	+	+	+	+	5,8	2,3		
3: 6.6.76	+	+	+	+	7,4	4,3		
4: 12.6.76	-	-	-	-	11,4	7,0	5	2.-6.
5: 19.6.76	+	+	+	+	13,0	9,4		
6: 25.6.76	-	-	-	-	13,0	8,7	1	18.
7: 2.7.76	+	+	+	+	13,4	9,3		
8: 10.7.76	+	+	+	+	13,7	9,8		
9: 17.7.76	+	+	+	-	14,5	11,1		
10: 24.7.76	-	-	-	-	11,0	8,6	1	23.
11: 31.7.76	+	=	-	-	10,8	7,7	1	23.
12: 8.8.76	-	-	-	-	11,0	6,6	2	2.-3.
13: 15.8.76	+	+	+	+	10,4	7,7		
14: 21.8.76	-	-	-	-	8,9	6,4		
15: 28.8.76	+	=	+	+	10,1	6,3		
16: 4.9.76	+	-	+	+	7,9	5,6		
17: 10.9.76	+	=	-	-	6,8	4,6		
18: 19.9.76	+	-	+	+	4,1	1,7		

Tab. 7: Wachstumsverlauf und Temperaturwerte an der Station Bärechumma (+ Wachstumszunahme, - Wachstumsverringerung, = gleichbleibend gegenüber Vorperiode, EK = Einzelkurve, MK = Mittelkurve).

Im Vergleich (Tab. 7) der Temperaturen (Temperaturmittel, Temperaturminima und Mittel der Temperaturminima sowie Anzahl der Tage mit

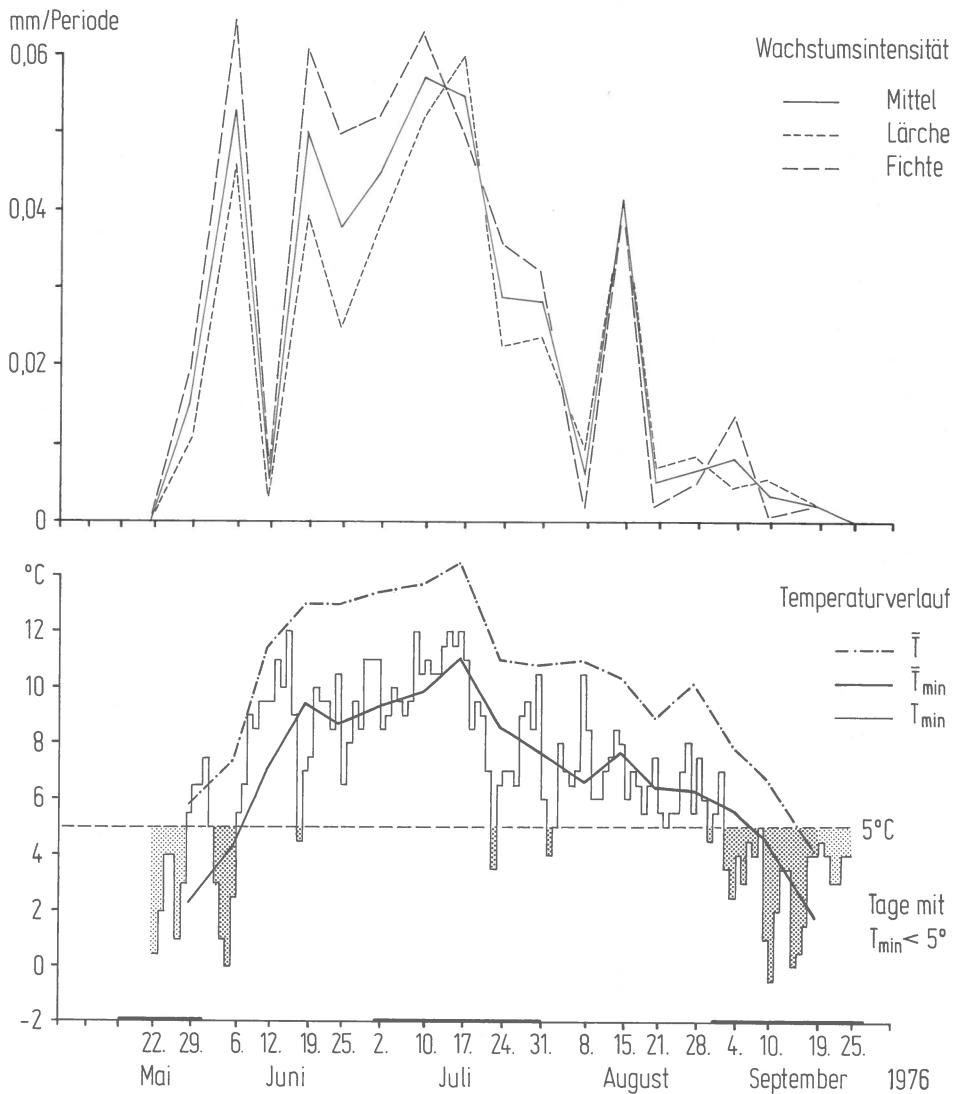


Abb. 18: Baumringzuwachs in Abhangigkeit vom Temperaturverlauf
(Station Barechumma 1976)

Minima $\leq 5^{\circ}\text{C}$) mit der Wachstumsintensität (Abb. 10a) kommt der starke Zusammenhang augenfällig zum Ausdruck (Abb. 18).

Der Wachstumsverlauf lässt sich durch einen einzigen oder durch ein kombiniertes Zusammenwirken dieser zwei oder drei Faktoren weitgehend erklären. So wird das Baumringwachstum der Lärchen und Fichten Bärechumma zu mindestens 80 % - als Gebietsmittel betrachtet (vgl. Kap. 3.3.1) zu fast 90 % - durch diese drei Größen bestimmt. In der Stärke des jeweiligen Einflusses und der überlagernden Wirkung eines einzelnen Faktors sind Unterschiede zu erkennen. Diese Größen sind nicht sinnvoll trennbar, denn wie der Baum insgesamt einem System sich gegenseitig beeinflussender Faktoren ausgesetzt ist, sind diese Größen untereinander verknüpft. Aus ihrem Zusammenwirken resultiert die Reaktion des Baumes.

Es bleibt zu betonen, daß nicht diese Faktoren allein für das Pflanzenwachstum und insbesondere den Baumringzuwachs verantwortlich, aber offenbar die dominierenden Größen sind.

3.3.3 ERGEBNISSE

- Die Temperaturverhältnisse, die in Abhängigkeit stehen zur Entfernung von der Waldgrenze, finden eine Übereinstimmung in der Größe des Jahrringzuwachses an jenen Standorten.
- Die Dominanz der Temperatur in der Beeinflussung des Jahrringzuwachses ist hauptsächlich in seinen Minimumwerten zu suchen und wird erst in zweiter Linie durch den Verlauf des Mittels ausgedrückt.
- Die Verzögerung von rund einer Woche in der Beeinflussung des Wachstums wird bestätigt.
- Offenbar erhält der Wert von 5°C insofern eine Bedeutung, als dessen Unterschreitung durch das Temperaturminimum eine Wachstums- hemmung oder gar eine Stagnation zur Folge hat. Diese können auch durch allgemein tiefe Minimumtemperaturen eintreten.

4.0 DISKUSSION UND AUSBLICK

Die an insgesamt dreißig Bäumen dreier Nadelbaumarten auf vier nach Exposition, Höhenlage und Waldgrenz entfernung unterschiedlichen Standorten durchgeführten Dendrometermessungen und die im Bestandesgefüge direkt erhobenen Klimadaten brachten folgendes Ergebnis:

- 4.1 Der Wachstumsverlauf über eine Vegetationsperiode zeigt sowohl unter verschiedenen Bäumen einer Art am gleichen und an verschiedenen Standorten als auch über die Baumarten hinweg ein übereinstimmendes Verhalten.

Darin liegt der direkte Nachweis, daß Dendrochronologie zwischen verschiedenen Nadelbaumarten (unter Berücksichtigung des Standortes) möglich ist.

Dennoch sind die individuellen Zuwachsgrößen derart unterschiedlich, daß ein einzelner Baum nicht als repräsentativ für seine Art und seinen Standort gelten kann. Die Ursachen könnten allenfalls mit der Grundwasserversorgung zusammenhängen.

Deutlich kommt auch zum Ausdruck, daß der Standorteinfluß weit bedeutender ist als arttypische endogene oder individuelle Faktoren. In Abhängigkeit von der Waldgrenzfernheit sind Unterschiede sowohl im Wachstumsverlauf, wie auch in der Wachstumsintensität und in der Wuchsleistung erkennbar. Der Zuwachs der Lärchen an der oberen Tallage ist beispielsweise dreimal geringer als an der 400 m tiefer gelegenen Station.

- 4.2 Die überlagernde äußere Einflußgröße zeigt sich im Klima. Als dominierender Faktor tritt dabei die Temperatur hervor, wobei insbesondere das Temperaturminimum bedeutend erscheint.

Die seit langem und immer wieder in der Literatur aufgestellte Hypothese, wonach in Hochlagen die Temperatur zum Minimumfaktor wird, kann durch die direkten Messungen bestätigt werden.

Die Temperaturauswirkungen lassen sich an allen Stationen direkt nachweisen. Ein Kaltlufteinbruch beispielsweise führt an den waldgrenznahen Standorten zu tieferen Temperaturen und damit zu größeren Zuwachseinbußen als an den entfernteren Beobachtungsstellen. Zwischen Waldgrenznähe, Temperaturangebot und Größe des Jahrringzuwachses besteht ein offensichtlicher Zusammenhang.

Eine Abhängigkeit von der Dauer der Vegetationszeit erscheint in der Verzögerung der Zuwachsbeeinflussung durch die Witterung, die mit zunehmender Waldgrenzfernheit ansteigt. Während die waldgrenznahen Standorte unverzögerte Wachstumsreaktionen zeigen, wird die Reaktionszeit für die entfernteren Stationen bis zu einer Woche verzögert.

Bedeutung erhält offenbar der 5°C-Wert, dessen Unterschreitung sich offensichtlich wachstumshemmend auswirkt. Dieser Schwellenwert würde sich als Ansatzpunkt für eine pflanzenphysiologische Untersuchung eignen.

Die übrigen Klimafaktoren sind in ihrem Einfluß auf das Jahrringwachstum von untergeordneter Bedeutung, insbesondere spielen Niederschlag und Feuchtigkeit nur eine geringe Rolle.

A

SCHÖNWETTER

SCHWACHER
GRADIENTWIND

WENIG
BEWÖLKUNG

HOHE
SONNENSCHEINDAUER

GERINGER
NIEDERSCHLAG

HOHE
TEMPERATUREN

GERINGE
RELATIVE FEUCHTE

STARKE
VERDUNSTUNG

KRÄFTIGE
LOKALWINDE

B

SCHLECHTWETTER

STARKER
GRADIENTWIND

DICHE
BEWÖLKUNG

GERINGE
SONNENSCHEINDAUER

VERMEHRTER
NIEDERSCHLAG

TIEFERE
TEMPERATUREN

HÖHERE
RELATIVE FEUCHTE

SCHWACHE
VERDUNSTUNG

HÖHERER
ABFLUSS

SCHWACHE
LOKALWINDE

Der zum Teil von gleichen Faktoren wie das Jahrringwachstum mitbestimmte Gebiets-Abfluß kann nicht als Vergleichsgröße herangezogen werden.

Bei einer Optimierung verschiedener Klimaparameter ergibt sich für den Jahrringzuwachs das Beziehungsgefüge (A), für reversible Quellungen im Holz das Beziehungsgefüge (B).

ZUSAMMENFASSUNG

Beziehungen zwischen Jahrringwachstum von Nadelbaumarten und Klimafaktoren an verschiedenen Standorten im Gebiet des Simplonpasses (Wallis, Schweiz):

An vier Beobachtungsstationen im subalpinen Bereich werden während der Vegetationsperiode klimatologische und dendrologische Messungen durchgeführt. Die Standorte von Lärche (*Larix decidua*), Fichte (*Picea excelsa*) und von aufrechter Bergföhre (*Pinus montana* Miller, ssp. *arborea* Tubeuf) unterscheiden sich durch Exposition, Höhenlage und Waldgrenz-entfernung.

Als wichtigste Ergebnisse der Untersuchungen sind zu nennen:

- Der Wachstumsverlauf ist weiträumig vergleichbar und weist Übereinstimmungen auf, die nicht nur innerhalb einer Baumart am selben und an verschiedenen Standorten, sondern auch zwischen den Baumarten offensichtlich sind.
- Damit hängt der direkte Nachweis zusammen, daß Dendrochronologie unter verschiedenen Nadelbaumarten möglich ist.
- Einzelbäume können jedoch nicht als repräsentativ für die Baumart und den Standort gelten.
- Die Bedingungen des Standortes für das Jahrringwachstum sind sehr viel bedeutender als die arttypischen endogenen oder individuellen Faktoren und können im überprägenden Einfluß des Klimas erkannt werden.
- Die direkten Messungen zeigen Zusammenhänge in der Beeinflussung des Jahrringzuwachses durch die Witterung auf. Der dominierende Faktor im komplexen Klimagefüge und in der Beziehung Jahrringwachstum - Klima ist die Temperatur. Je nach Entfernung von der Waldgrenze treten Verzögerungen in der Beeinflussung von bis zu einer Woche auf. Durch das Unterschreiten des 5°C-Wertes wirkt sich das Temperaturminimum offenbar wachstumshemmend aus. Alle anderen Faktoren, insbesondere der Niederschlag und die Feuchtigkeit treten in den Hintergrund.

- Die bekannte Hypothese, wonach in Hochlagen die Temperatur als limitierende Wertgröße auftritt, kann messend bestätigt werden.
- Der Abfluß kann, obwohl von gleichen Faktoren beeinflußt, nicht als brauchbare Vergleichsgröße zum Jahrringwachstum herangezogen werden.

SUMMARY

Relations between the growth of the annual rings of conifers and climatic factors in various habitats in the area of the Simplon Pass (Valais, Switzerland):

At four observation stations in the Alpine region climatological and dendrological measurements have been taken during the growing period. The habitats of larch (*Larix decidua*), spruce (*Picea excelsa*) and pine (*Pinus montana* ssp. *arborea*) vary on account of aspect, altitude and distance from the timber-line.

The most important result of previous investigations have been so far:

- The process of growth is comparable in a large area and does not only correspond within one species in the same or various habitats but also within various species of trees.
- That is connected with the direct proof that dendrochronology is possible within various species of trees.
- Single trees cannot be regarded as representative for a specific species of tree or a specific habitat.
- The conditions of a certain habitat for the growth of annual rings are much more important than the typical endogene or individual factors of a certain species and they can be recognized in the modifying influence of the climate.
- Direct measurements show relations between weather and its influence on the growth of annual rings. The predominant factor in the complex climatic structure and in the relationship between the growth of annual rings and the climate is temperature. As temperature remains below 5°C the minimum temperature has a growth-retarding effect. All the other factors, especially precipitation and humidity become less significant.
- The well-known hypothesis, according to which in more elevated regions temperature represents a limiting factor, can be proved by measurements.

- Though runoff is destined by the same factors it cannot be considered as a useful value which is comparable to the growth of annual rings.

RÉSUMÉ

Relations entre la croissance des cernes de conifères et des facteurs climatiques à différentes habitats dans la région du col du Simplon (Valais, Suisse):

Pendant la période végétale des mesures climatologiques et dendrologiques ont été effectuées à quatre stations d'observation dans la zone subalpine. Les habitats de mélèzes (*Larix decidua* Miller), d'épicéas (*Picea excelsa*) de pins (*Pinus montana* Miller, ssp. *arborea* Tubeuf) se distinguent dans l'exposition, l'altitude et la distance de la limite d'arbres.

Voilà les résultats les plus importants des recherches effectuées jusqu'à présent:

- Le développement de la croissance peut être comparé et montre des concordances non seulement dans la même espèce d'arbres au même et au différents habitats, mais entre les différentes espèces d'arbres.
- Par cela la preuve directe est fournie que la dendrochronologie entre différentes espèces de conifères est possible.
- Mais, un seul arbre ne peut toutefois pas représenter une espèce d'arbre ou un habitat entier.
- Les conditions de l'habitat concernant la croissance des cernes sont beaucoup plus important que les éléments endogènes ou individuels typiques d'une espèce. Ils peuvent être reconnus dans l'influence dominant du climat.
- Les mesures directes montrent des connexions de la croissance des cernes avec les influences atmosphériques. La température est le facteur dominant dans la structure complexe du climat. Dépendant de la distance de la limite d'arbres, on remarque des retards de l'influence jusqu'à une semaine. Par son abaissement sous la valeur de 5°C, le minimum de température effectue une influence négative, gênant la croissance. Tous les autres facteurs, particulièrement la précipitation et l'humidité passent au second plan.
- L'hypothèse bien connue que la température aux lieux élevés soit la valeur limitant la croissance, peut être confirmée par les mesurages.
- L'écoulement ne peut être confirmé comme valeur utilisable à la croissance des cernes, bien qu'il soit influencé par pareils facteurs.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1 : Untersuchungsgebiet Simplon-Süd
- Abb. 2 : Waldkarte
- Abb. 3 : Profile Krummbachtal Simplon-Süd
- Abb. 4 : Wetterstation im Bestand.
a) Wetterhütte, Regen- und Windmesser
b) Meßinstrumente in der Wetterhütte
- Abb. 5 : a) Dendrometer
b) Dendrograph
- Abb. 6 a - c: Summationsdiagramme über den Wachstumsverlauf von Bäumen auf verschiedenen Standorten. Vegetationsperiode 1976.
- Abb. 7 : Prozentuale Zuwachskurven (der Mittel je Baumart und Standort), Wachstumszeit und Phänologischer Zustand 1976.
- Abb. 8 : Wachstumsleistung je Baumart und Standort 1976 (Summationskurven).
- Abb. 9 a - c: Ratenkurven der Wachstumsintensität (= durchschnittlicher täglicher Zuwachs je Meßperiode) von Bäumen auf verschiedenen Standorten. Vegetationsperiode 1976.
- Abb. 10 a: Vergleich der mittleren Wachstumsintensität bei gleichen Standorten und Baumarten
- Abb. 10 b: Vergleich der mittleren Wachstumsintensität bei verschiedenen Standorten und Baumarten.
- Abb. 11: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Fichte Bärechumma (19 Perioden)
- Abb. 12: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Lärche Bärechumma (19 Perioden)
- Abb. 13: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Lärche Stalde (19 Perioden)
- Abb. 14: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Lärche Bodme (19 Perioden)
- Abb. 15: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Lärche Engiloch (19 Perioden)
- Abb. 16: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Bergföhre Engiloch (19 Perioden)

Abb.17: Korrelationen Baumringzuwachs - Klimafaktoren:
Fichte Bärechumma (12 Minimum- und 12 Maximumperioden).

Abb.18: Baumringzuwachs in Abhängigkeit vom Temperaturverlauf
(Station Bärechumma 1976).

LITERATURVERZEICHNIS

- ANTEVS E., 1925: The big tree as climatic measure. Washington.
- ARNOLD P., 1947: Der Simplon. Zur Geschichte des Passes und des Dorfes. Eggerberg.
- ARTMANN A., 1949: Jahrringchronologische und -klimatologische Untersuchungen an der Zirbe und anderen Bäumen des Hochgebirges. Diss. Univ. München.
- BECHERER A., 1972: Führer durch die Flora der Schweiz. Basel.
- BECKER B. und GIERTZ-SIEBENLIST V., 1970: Eine über 1100-jährige mitteleuropäische Tannenchronologie. Flora 159, 310-346.
- BORTZ J., 1977: Lehrbuch der Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg, New York.
- BRAY S. R. and STRUIK G. S., 1963: Forest growth and glacial chronology in Eastern British Columbia, and their relation to recent climatic trends. Canadian Journal of Botany, 41/7, 1245-1271, Ottawa.
- BREHME K., 1951: Jahrringchronologische und -klimatologische Untersuchungen an Hochgebirgslärchen des Berchtesgadener Landes. Zeitschr. f. Weltforstwirtsch. 14 (3/4), 65-80, Berlin-Grünwald.
- BROCKMANN-JEROSCH H., 1919: Baumgrenze und Klimacharakter. Beitrag Geobot. Landesaufn. 6, Zürich.
- CIESLAR A., 1907: Einige Beziehungen zwischen Holzzuwachs und Witterung. Cbl. ges. Forstwes. 33, Wien.
- CONRAD V., 1936: Die klimatischen Elemente und ihre Abhängigkeit von terrestrischen Einflüssen. In: Handb. der Klimatologie, Bd. I, Teil B, Berlin.
- DAUBENMIRE R. F., 1945: An improved type of precision dendrometer. Ecology 26/1, 97-98, Brooklyn.

- DIXON W.J. and MASSEY F.J., 1969: Introduction to statistical Analysis. Tokyo.
- ERLANDSSON S., 1936: Dendro-chronological studies. Stockholms Högsk. geokron. Inst. 23, Uppsala.
- FIEDLER F. und WENK G., 1973: Der jahreszeitliche Ablauf des Dickenwachstums von Fichten und Kiefern und seine Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. Wiss. Zeitschr. Techn. Univ. 22/3, 531-535, Dresden.
- FLIRI F., 1978: Aufgaben und Methoden, Möglichkeiten und Grenzen einer synoptischen Klimatologie der Alpen. Beitr. z. Quartär- und Landschaftsforschung, 125-142, Wien.
- FLURY P., 1927: Über den Einfluß von Trockenperioden auf das Bestandeswachstum. Mitt. Schw. Zentralanst. f. forstl. Versuchswesen 14, Zürich.
- FRITTS H.C., 1976: Tree rings and climate. London.
- GÄNSSLEN H. und SCHUBÖ W., 1976: Einfache und komplexe statistische Analyse, UTB 274, München - Basel.
- GASSNER G. und CHRISTIANSEN-WENIGER F., 1942: Dendroklimatologische Untersuchungen über die Jahrringentwicklung der Kiefern in Anatolien. Nova acta Leopoldina, NF 12/80, Halle.
- GEER DE G., 1936: Jahrringe und Jahrestemperaturen. Geogr. Ann. 18, Stockholm.
- GEISSLER H., 1970: Instrumente zur Messung des Dickenwachstums von Waldbäumen im Jahresablauf. Wiss. Zeitschr. Techn. Univ. 19/6, 1589-1596, Dresden.
- GEISSLER H., 1971: Vorläufige Ergebnisse von Mikrodendrometermessungen an Eichen und Buchen. Wiss. Zeitschr. Techn. Univ. 20/4, 1175-1182, Dresden.
- GENSLER G.A., 1946: Der Begriff der Vegetationszeit. 1-142, Samedan-St. Moritz.
- GIERTZ-SIEBENLIST V., 1977: Der gegenwärtige Stand einer Jahrringchronologie aus dem obersten Ötztal. Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa (Hg: B. Frenzel), S. 25-27, Wiesbaden.
- HESS E., 1942: Die natürlichen Waldgrenzen im Wallis. Bull. Muri-thienne 59, 50-65, St. Maurice.
- HESS H.E., LANDOLT E., HIRZEL R., 1967: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Basel, Stuttgart.

- HUBER B. und GIERTZ-SIEBENLIST V., 1969: Unsere tausendjährige Eichenchronologie durchschnittlich 57 (10-150)-fach belegt. Sitzber. Österr. Akad. Wiss. 178/1-4, 37-42, Wien.
- JACCARD P., 1934: Zuwachsschwankungen bei einheimischen Nadelhölzern. Schw. Zeitschr. f. Forstwesen 3, Zürich.
- JATZEWITSCH W., 1961: Zur klimatologischen Auswertung von Jahrringkurven. Forstw. Cbl., 80, 175-190, Hamburg, Berlin.
- KELLER P., 1935: Pollenanalytische Untersuchungen an Mooren im Wallis. Vierteljahrsschr. Nat. f. Ges. Zürich, 80, 17-74, Zürich.
- KÖPPEN W., 1888: Über die Ableitung wahrer Tagesmittel aus den Beobachtungsstunden 8 am, 2 pm und 8 pm. Ann. Hydrographie u. Maritimen Meteorologie, 341-354.
- KÜTTEL M., 1979: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte und zum Gletscherrückzug in den westlichen Schweizer Alpen. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 89/1-2, 9-62, Wetzikon.
- KÜTTEL M. und MÜLLER H.-N., 1977: Gletscher-, vegetations- und klimageschichtliche Untersuchungen im Simplongebiet. Führer ALPQUA 77, 42-49, Zürich.
- LAMARCHE V. C. and FRITTS H. C., 1971: Tree rings, glacial advance, and climate in the alps. - Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeol. VII/1-2, Innsbruck.
- LARCHER W., 1976: Ökologie der Pflanzen. UTB 232, Stuttgart.
- LENZ O., SCHÄR E., SCHWEINGRUBER F. H., 1976: Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und Jahrringbreiten von Holz. Holzforschung 30/4, 114-123, Berlin.
- L' HERTIER P., 1972: Réflexions sur le Hasard. Bull. Hist. et Scient. de l' Auvergne 85/632, 191-200, Clermont-Ferrant.
- MÄDER F., SCHÜEPP M., URFER C., 1971: Berechnung der Tagesmittel der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit. Manus. MZA, Zürich.
- MAISCH J., 1976: Klimatologische Ausdeutung von Jahrringbreitenschwankungen an der alpinen Waldgrenze. H.A., Manus. Univ. Hohenheim, Stuttgart.
- MARIÉTAN L., 1956: Le mélèze an Valais. Bull. Murithienne 73, 86-91, Sion.

- MATTHEWS S. A., 1976: "Little Ice Age" palaeotemperatures from high altitude tree growth in S. Norway. *Nature* 264/5583, 243-245.
- MEYER K. A., 1955: Frühere Verbreitung der Holzarten und einstige Waldgrenzen im Kanton Wallis, IV. Oberwallis. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers. wes.* 31/3, 563-668, Zürich.
- MÜLLER H.-N., 1974: Dendro- (Xylo-) Chronologie-Climatologie: Une possibilité de chronologie postglaciaire? Recherches fondamentales dans la région du glacier du Rossboden, Simplon (Valais). *Congr. Int. Glac. Soc. Courmayeur.*
- MÜLLER H.-N., 1975 a: Untersuchungen ehemaliger Gletscherstände im Roßbodengebiet, Simplon VS. DA, Manus. Univ. Zürich.
- MÜLLER H.-N., 1975 b: Fossile Böden (fAh) in Moränen (Gäli Egg, Roßbodengebiet, Simplon VS). *Bull. Murithienne* 92, 21-31, Sion.
- MÜLLER-STOLL H., 1951: Vergleichende Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jahrringfolge von Holzart, Standort und Klima. *Biol. Bot.* 122, Stuttgart.
- QUERVAIN DE M., 1957: Ein neuer Tagbogenschreiber. *La Météorologie* IV/45-46, 371-377, Paris.
- ROBERT J-F., 1975: Une antique goudronnerie forestière. *Foklore suisse*, 65/1, 1-11, Basel.
- RÖTHLISBERGER F., 1976: Gletscher- und Klimaschwankungen im Raum Zermatt, Ferpècle und Arolla. *Diss. Univ. Zürich; Die Alpen* 52/3-4, Bern.
- SUTER E., 1961: Beiträge zu vergleichenden Untersuchungen über die Abhängigkeit des Dickenzuwachses der Bäume von Holzart, Standort und Klima. *Diss. Univ. Zürich, Aarau.*
- SCHMID E., 1950: Vegetationskarten der Schweiz im Maßstab 1:200 000, Bl. 3: Berner-Oberland-Wallis-Genf, Hg. SNG Bern.
- SCHWARZ F., 1899: Dickenwachstum und Holzqualität von *Pinus sylvestris*. Bern.
- SCHWEINGRUBER F. H. und SCHÄR E., 1976: Röntgenuntersuchungen an Jahrringen. *NZZ* Nr. 180, 4. 8. 1976, S. 34, Zürich.
- TRENDELENBURG R., 1955: Das Holz als Rohstoff. 2. A., Hg. H. Mayer-Wegelin, München.

- VISCHER D. und SEVRUK B., 1975: Die Fehler der Niederschlagsmessung. Mitt. EAFV 51, 151-170, Zürich.
- WALTER H., 1940: Die Jahresringe der Bäume als Mittel zur Feststellung der Niederschlagsverhältnisse in der Vergangenheit, insbesondere in Deutsch-Südwestafrika. Naturwissenschaften 28, 607-612.
- ZENKLUSEN E., 1965: Aus Simplons alten Tagen-. Niedergampel.

ANHANG

STATISTISCHE AUSWERTUNG DER DENDROMETER-MESSUNGEN

1. BÄRECHUMMA FICHTE 1976

1. Varianzanalyse

Anzahl Beobachtungen: 19

Baum	Arith. Mittel	Standardabw.	Min.	Max.	Zuwachs (mm)	
					Ø	Jahressumme pro Periode
Fi 1	0,21	0,20	0	0,60	0,21	3,95
2	0,32	0,29	0	0,83	0,33	6,17
3	0,24	0,24	0	0,64	0,24	4,48
4	0,25	0,25	0	0,71	0,25	4,81
5	0,25	0,25	0	0,64	0,25	4,77
Mittel	0,25	0,24	0	0,63	0,25	4,83

BARTLETT-Test: Um Varianz-Homogenität zu erreichen, mußte keine Gruppe eliminiert werden.

Mittlere Standardabweichung innerhalb der Gruppen: 0,2496 bei 90 Freiheitsgraden

Mittlere Standardabweichung zwischen den Gruppen: 0,1884 bei 4 Freiheitsgraden

Die Gruppen sind streng homogen.

2. Korrelationen

Fichte	1	2	3	4	5	Mittel
1	0,842	0,815	0,903	0,887	0,928	
2		0,840	0,932	0,888	0,950	
3			0,925	0,857	0,930	
4				0,956	0,990	
5					0,964	

3. Faktorenanalyse (ohne Mittel)

WILK-Test: 120,6285 bei 10 Freiheitsgraden

Fichte	Rotierte Faktorladungsmatrix		Kommunalitäten
	Faktor 1	Faktor 2	
1	0,933		0,871
2	0,945		0,893
3	0,931		0,867
4	0,990		0,980
5	0,964		0,929

2. BÄRECHUMMA LÄRCHE 1976

1. Varianzanalyse

Anzahl Beobachtungen: 19

Baum	Arith. Mittel	Standardabw.	Min.	Max.	Zuwachs (mm)		Jahressumme pro Periode
					Ø	pro Periode	
Lä 1	0,13	0,17	0	0,53	0,13		2,52
2	0,17	0,18	0	0,51	0,17		3,21
3	0,29	0,30	0	0,91	0,29		5,58
4	0,26	0,23	0	0,77	0,26		4,96
5	0,16	0,13	0	0,43	0,16		2,97
Mittel	0,20	0,19	0	0,59	0,20		3,85

BARTLETT-Test: Um Varianz-Homogenität zu erreichen, wurde eliminiert: Lä 3.

Mittlere Standardabweichung innerhalb der Gruppen: 0,1784 bei 72 Freiheitsgraden

Mittlere Standardabweichung zwischen den Gruppen: 0,2452 bei 3 Freiheitsgraden

Signifikanzniveau: 0,861.

2. Korrelationen

Lärche	1	2	3	4	5	Mittel
1		0,861	0,742	0,972	0,629	0,865
2			0,864	0,868	0,783	0,946
3				0,930	0,816	0,962
4					0,765	0,959
5						0,853

3. Faktorenanalyse

(ohne Mittel)

WILK-Test: 89,9394 bei 10 Freiheitsgraden

Lärche	Rotierte Faktorladungsmatrix		Kommunalitäten
	Faktor 1	Faktor 2	
1	0,875	0,100	0,765
2	0,953	0,050	0,908
3	0,949	0,000	0,901
4	0,950	0,000	0,902
5	0,867	0,000	0,751

3. STALDE LÄRCHE 1976

1. Varianzanalyse

Anzahl Beobachtungen: 19

Baum	Arith. Mittel	Standardab.	Min.	Max.	$\bar{\phi}$	Zuwachs (mm) Jahressumme pro Periode
Lä 1	0,29	0,21	0	0,61	0,29	5,48
2	0,14	0,14	0	0,41	0,14	2,64
3	0,16	0,22	0	0,89	0,16	2,98
4	0,27	0,24	0	0,81	0,27	5,20
5	0,37	0,26	0	0,87	0,37	7,01
Mittel	0,25	0,17	0	0,56	0,25	4,67

BARTLETT-Test: Um Varianz-Homogenität zu erreichen, mußte keine Gruppe eliminiert werden.

Mittlere Standardabweichung innerhalb der Gruppen: 0,2190 bei 90 Freiheitsgraden

Mittlere Standardabweichung zwischen den Gruppen: 0,4197 bei 4 Freiheitsgraden

Signifikanzniveau: 0,992.

2. Korrelationen

Lärche	1	2	3	4	5	Mittel
1		0,806	0,398	0,755	0,561	0,862
2			0,578	0,555	0,555	0,836
3				0,177	0,365	0,613
4					0,775	0,838
5						0,846

3. Faktorenanalyse

(ohne Mittel)

WILK-Test: 52,0868 bei 10 Freiheitsgraden

Lärche	Rotierte Faktorladungsmatrix			Kommunalitäten
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	
1	0,368	0,151	- 0,888	0,947
2	0,250	0,450	- 0,796	0,901
3	0,110	0,953	- 0,215	0,968
4	0,800	- 0,068	- 0,534	0,929
5	0,919	0,264	- 0,210	0,958

4. BODME LÄRCHE 1976

1. Varianzanalyse

Anzahl Beobachtungen: 19

Baum	Arith. Mittel	Standardabw.	Min.	Max.	Zuwachs (mm)	
					Ø	Jahressumme pro Periode
Lä 1	0,23	0,20	0	0,62	0,23	4,39
2	0,16	0,15	0	0,56	0,16	3,04
3	0,12	0,15	0	0,50	0,12	2,35
4	0,13	0,14	0	0,47	0,13	2,46
5	0,10	0,12	0	0,39	0,10	1,84
Mittel	0,15	0,14	0	0,48	0,15	2,82

BARTLETT-Test: Um Varianz-Homogenität zu erreichen, mußte keine Gruppe eliminiert werden.

Mittlere Standardabweichung innerhalb der Gruppen: 0,1539 bei 90 Freiheitsgraden

Mittlere Standardabweichung zwischen den Gruppen: 0,2243 bei 4 Freiheitsgraden

Signifikanzniveau: 0,916

2. Korrelationen

Lärche	1	2	3	4	5	Mittel
1		0,909	0,685	0,773	0,701	0,893
2			0,830	0,872	0,835	0,960
3				0,960	0,920	0,929
4					0,913	0,961
5						0,921

3. Faktorenanalyse

(ohne Mittel)

WILK-Test: 116,8537 bei 10 Freiheitsgraden

Lärche	Rotierte Faktorladungsmatrix		Kommunalitäten
	Faktor 1	Faktor 2	
1	0,867	0,000	0,751
2	0,951	0,000	0,904
3	0,944	0,000	0,891
4	0,969	0,000	0,939
5	0,938	0,000	0,879

5. ENGILOCH LÄRCHE 1976

1. Varianzanalyse

Anzahl Beobachtungen: 19

Baum	Arith. Mittel	Standardabw.	Min.	Max.	Zuwachs (mm)	
					Ø	Jahressumme pro Periode
1	0,12	0,11	0	0,39	0,12	2,26
2	0,17	0,16	0	0,54	0,17	3,26
3	0,11	0,13	0	0,40	0,11	2,11
4	0,13	0,10	0	0,33	0,13	2,48
5	0,15	0,15	0	0,53	0,15	2,90
Mittel	0,14	0,12	0	0,39	0,14	2,61

BARTLETT-Test: Um Varianz-Homogenität zu erreichen, mußte keine Gruppe eliminiert werden.

Mittlere Standardabweichung innerhalb der Gruppen: 0,1351 bei 90 Freiheitsgraden

Mittlere Standardabweichung zwischen den Gruppen: 0,1086 bei 4 Freiheitsgraden

Die Gruppen sind streng homogen.

2. Korrelationen

Lärche	1	2	3	4	5	Mittel
1		0,763	0,864	0,711	0,747	0,895
2			0,763	0,716	0,841	0,916
3				0,795	0,811	0,930
4					0,739	0,859
5						0,924

3. Faktorenanalyse

(ohne Mittel)

WILK-Test: 72,6025 bei 10 Freiheitsgraden

Lärche	Rotierte Faktorladungsmatrix		Kommunalitäten
	Faktor 1	Faktor 2	
1	0,903		0,815
2	0,902		0,813
3	0,936		0,876
4	0,873		0,761
5	0,914		0,836

6. ENGILOCH BERGFÖHRE 1976

1. Varianzanalyse

Anzahl Beobachtungen: 19

Baum	Arith. Mittel	Standardabw.	Min.	Max.	Zuwachs (mm)	
					Ø	Jahressumme pro Periode
B' fö 1	0,12	0,12	0	0,35	0,12	2,32
2	0,08	0,08	0	0,21	0,08	1,53
3	0,08	0,08	0	0,27	0,08	1,45
4	0,11	0,10	0	0,37	0,11	2,12
5	0,09	0,11	0	0,34	0,09	1,67
Mittel	0,10	0,08	0	0,26	0,10	1,85

BARTLETT-Test: Um Varianz-Homogenität zu erreichen, mußte keine Gruppe eliminiert werden.

Mittlere Standardabweichung innerhalb der Gruppen: 0,0969 bei 90 Freiheitsgraden

Mittlere Standardabweichung zwischen den Gruppen: 0,0876 bei 4 Freiheitsgraden

Die Gruppen sind streng homogen.

2. Korrelationen

Bergföhre	1	2	3	4	5	Mittel
1		0,764	0,622	0,774	0,858	0,947
2			0,395	0,763	0,834	0,874
3				0,477	0,393	0,650
4					0,767	0,889
5						0,913

3. Faktorenanalyse

(ohne Mittel)

WILK-Test: 63,2034 bei 10 Freiheitsgraden

Bergföhre	Rotierte Faktorladungsmatrix		Kommunalitäten
	Faktor 1	Faktor 2	
1	0,808	0,487	0,890
2	0,913	0,164	0,861
3	0,226	0,967	0,986
4	0,840	0,309	0,802
5	0,932	0,183	0,903

